



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ – UNIFAP

ANDRÉ OLIVEIRA QUEIROZ

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE COMO
PRÁTICA DE SUSTENTABILIDADE NA UNIVERSIDADE FEDERAL
DO AMAPÁ**

MACAPÁ - AP

2016

ANDRÉ OLIVEIRA QUEIROZ

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE COMO
PRÁTICA DE SUSTENTABILIDADE NA UNIVERSIDADE FEDERAL
DO AMAPÁ**

Monografia apresentada à banca examinadora da Universidade Federal do Amapá - UNIFAP, como requisito para obtenção do título de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Alaan Ubaiara Brito.

MACAPÁ - AP

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá

621.47

Q3s Queiroz, André Oliveira.

Sistemas fotovoltaicos conectados à rede como prática de sustentabilidade na Universidade Federal do Amapá / André Oliveira Queiroz; orientador, Alaan Ubaiara Brito. -- Macapá, 2016.

119 p.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica.

1. Administração pública. 2. Sustentabilidade. 3. Sistemas de energia fotovoltaica. I. Brito, Alaan Ubaiara, orientador. II. Fundação Universidade Federal do Amapá. III. Título.

ANDRÉ OLIVEIRA QUEIROZ

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE COMO
PRÁTICA DE SUSTENTABILIDADE NA UNIVERSIDADE FEDERAL
DO AMAPÁ**

Monografia apresentada à banca examinadora da Universidade Federal do Amapá -
UNIFAP, como requisito para obtenção do título de Graduação em Engenharia
Elétrica.

Data de aprovação: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Alaan Ubaiara Brito.

Avaliador: Prof. Me. André de Oliveira Ferreira

Avaliador: Prof. Me. Coracy da Silva Fonseca

MACAPÁ - AP

2016

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela sabedoria e saúde dada a mim, por todos estes anos, permitindo a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Arnaldo e Lúcia. Obrigado pelo amor, carinho, paciência e apoio ao longo de toda minha vida.

Ao professor Alaan Ubaiara, meu orientador. Obrigado pela colaboração, paciência e por ter aceitado me orientar e transmitir seus conhecimentos para o desenvolvimento deste trabalho. Os ensinamentos obtidos ao longo desta jornada contribuíram para meu crescimento profissional e pessoal.

À minha namorada Luanda, que mesmo nos momentos mais difíceis sempre esteve ao meu lado me apoiando e motivando para seguir em frente. Sem você este momento não seria possível.

E aos familiares, amigos e professores que de alguma forma contribuíram para que obtivesse êxito em meus sonhos e concluísse mais esta etapa em minha vida.

RESUMO

A Sustentabilidade, nos últimos anos mostra-se uma realidade cada vez mais presente e acessível à Administração Pública, isto deve-se, entre diversos fatores, à inclusão deste tema na legislação aplicada ao setor. Este trabalho tem por finalidade analisar, por meio de estudo de caso, os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede como prática de sustentabilidade na UNIFAP. Foram consideradas a relação entre sustentabilidade, energia solar fotovoltaica e a legislação vigente relacionada ao tema, dentre as quais destacam-se o Decreto 7.746/2012, o Projeto de Logística Sustentável e o Sistema de Compensação de Energia Elétrica regulamentado pelas resoluções 482/12 e 687/15 da ANEEL. Analisou-se dados solarimétricos do Estado do Amapá e dados geográficos do Campus Marco Zero do Equador. Escolheu-se como local de implantação do projeto piloto o Estacionamento da Reitoria. Realizou-se o projeto, a simulação computacional, a análise orçamentária e econômica do sistema fotovoltaico. Os resultados apontam para a possibilidade de instalação de 2,192MWp de Geração Distribuída Fotovoltaica no campus, com geração de 3.092MWp.ano. e um projeto piloto com potência instalada de 161,28kWp, custo de implantação estimado em R\$1.061.734,40 e economia anual de R\$ 82.199,28. Conclui-se, com a elaboração deste estudo, que a UNIFAP terá mecanismos e conhecimento técnico suficiente para prover recursos para este projeto e para futuros projetos na área, dada a contribuição para o desenvolvimento sustentável da instituição e o motivador financeiro informados.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Administração Pública. Legislação aplicada. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. Projeto Piloto.

ABSTRACT

Sustainability in recent years shown a reality ever more present and accessible to the public service, this is due, among many factors, the inclusion of this issue in the legislation applied to the sector. This work aims to analyze, through a case study, the Photovoltaic Systems On-Grid as a practice of sustainability in UNIFAP. Were considered the relationship between sustainability, photovoltaic solar energy and the current legislation related to the subject, among which we highlight the Decree 7.746 / 2012, the Sustainable Logistics Project and the Compensation System Electricity regulated by Resolutions 482/12 and 687/15 ANEEL. It analyzed data solarimetric the State of Amapá and geographic data of Campus Marco Zero do Equador. Was chosen as the site of the pilot project implementation the Parking Rectory. Held design, computer simulation, the budget and economic analysis of the PV system. The results point to the possibility of Photovoltaic Distributed Generation 2,192MWp facility on campus, generating 3.092MWp.ano. and a pilot project with installed capacity of 161,28kWp, estimated implementation cost of R\$ 1,061,734.40 and annual savings of R\$ 82,199.28. Is concluded with the preparation of this study, which will UNIFAP mechanisms and sufficient technical knowledge to provide funds for this project and future projects in the area, given the contribution to the sustainable development of the institution and the financial motivator informed.

Keywords: Sustainability. Public administration. Applied legislation. Photovoltaic Systems On-grid. Pilot project.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Matriz Energética Brasileira.	23
Figura 2 - Organização de um Sistema Fotovoltaico Autônomo.	28
Figura 3 - Organização de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.	28
Figura 4 - Evolução das células fotovoltaicas.	29
Figura 5 - Curva $V \times I$ característica de um módulo fotovoltaico	30
Figura 6 - Módulos Fotovoltaicos conectados em série	31
Figura 7 - Módulos Fotovoltaicos conectados em paralelo.	32
Figura 8 - Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com medidor bidirecional.	34
Figura 9 - Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com medidor bidirecional e medidor no gerador fotovoltaico.	35
Figura 10 - Equipamentos de proteção e manobra utilizados em SFCR.	35
Figura 11 - Circuito básico de um inversor comutado pela rede.	36
Figura 12 - Circuito básico de um inversor autocomutado.	37
Figura 13 - Irradiação diária média mensal [$\text{kWh}/\text{m}^2.\text{dia}$].	51
Figura 14 - Projeto da subestação com linhas subterrâneas da Reitoria	56
Figura 15 - Especificações em Planta Baixa do local adotado.	57
Figura 16 - Vista ampliada em Planta Baixa do Estacionamento da Reitoria.	58
Figura 17 - Estacionamento da Reitoria em Perspectiva Cavaleira.	59
Figura 18 - Projeção da implantação dos módulos fotovoltaicos em Perspectiva Cavaleira.	59
Figura 19 - Posicionamento dos módulos e medidas da instalação no estacionamento.	62
Figura 20 - Configuração do Sistema Fotovoltaico.	69
Figura 21 - Diagrama da conexão do SFCR à rede elétrica da concessionária.	70
Figura 22 - Conexão dos inversores ao transformador.	70
Figura 23 - Resultados obtidos na simulação do <i>software</i> PVsyst.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Máxima eficiência fotovoltaica.....	30
Tabela 2 - Fatores de correção da irradiação solar segundo uma inclinação (B) e orientação (Y) para geradores fotovoltaicos localizados na cidade de Macapá.	38
Tabela 3 - Análise de Edificações aptas para implantação de SFCR.	53
Tabela 4 - Análise de Transformadores e Subestações próximas às edificações selecionadas.	55
Tabela 5 - Levantamento do número de módulos na horizontal.....	61
Tabela 6 - Levantamento do número de módulos na vertical.....	61
Tabela 7 - Total de módulos e Potência Total de Geração Distribuída do Estacionamento.....	62
Tabela 8 - FDI utilizado no sistema fotovoltaico.	64
Tabela 9 - Análise do número de módulos fotovoltaicos conectados em série.	66
Tabela 10 - Análise do número de arranjos fotovoltaicos conectados em paralelo em cada inversor.....	67
Tabela 11 - Análise do número de arranjos fotovoltaicos conectados em paralelo por conjunto.....	67
Tabela 12 - Análise da máxima corrente suportada pelo Inversor	68
Tabela 13 - Resultados obtidos na simulação do <i>software</i> SAM.....	75
Tabela 14 - Resultados obtidos na simulação do <i>software</i> PV*SOL.	76
Tabela 15 - Comparação entre as Taxas de Desempenho obtidas.	77
Tabela 16 - Projeção da energia a ser produzida no Campus Marco Zero do Equador.....	80
Tabela 17 - Análise da energia produzida no Estacionamento da Reitoria.	81
Tabela 18 - Estimativa do preço do Wp instalado.	82
Tabela 19 - Estimativa do Preço do Wp Instalado segundo câmbio atual.....	82
Tabela 20 - Análise Econômica do Campus Marco Zero do Equador.....	84
Tabela 21 - Análise Econômica do Projeto Piloto.....	84
Tabela 22 - Economia anual proporcionada pela eliminação de multa de demanda excedente.....	85
Tabela 23 - Valores de <i>Payback</i> estimados.	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Níveis de tensão considerados para conexão de centrais geradoras.	41
Quadro 2 - Requisitos de Proteção de Microgeração.....	42
Quadro 3 - Requisitos de Proteção de Minigeração.....	43
Quadro 4 - Descrição das funções de proteção.	43
Quadro 5 - Ajustes Recomendados das Proteções de Microgeração pela CEA.	44
Quadro 6 - Ajustes Recomendados das Proteções de Minigeração pela CEA.	45

LISTA DE SIGLAS, ABREVIACÕES E ACRÔNIMOS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BIG - Banco de Informações de Geração

CEA - Companhia Elétrica do Amapá

CISAP - Comissão Interministerial de Sustentabilidade na Administração Pública

IFES - Instituições Federais de Ensino Superior

NTD - Normas Técnicas de Distribuição

PES - Projeto Esplanada Sustentável

PLS - Plano de Logística Sustentável

PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

SFCR - Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

SLTI - Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação

UNIFAP - Fundação Universidade Federal do Amapá

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 1 - A SUSTENTABILIDADE E OS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE.....	19
1.1 PRÍNCÍPIOS NORTEADORES E ASPECTOS LEGAIS DA SUSTENTABILIDADE	19
1.1.1 Decreto nº 7.746/2012.....	21
1.1.2 Instrução Normativa 10/2012 - SLTI.....	22
1.1.3 Projeto Esplanada Sustentável	22
1.2 SUSTENTABILIDADE E A ENERGIA ELÉTRICA.....	23
1.3 POLÍTICAS DE SUSTENTABILIDADE, ENERGIA ELÉTRICA E O MEIO AMBIENTE	24
1.4 PRINCÍPIOS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	26
1.5 BENEFÍCIOS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	33
1.6 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	34
1.7 PRINCÍPIOS LEGAIS DE IMPLANTAÇÃO DE SFCR'S.....	38
1.7.1 NTD 08 - CEA	39
1.7.2 NTD 09 - CEA	40
1.7.3 Módulo 3 - PRODIST.....	40
1.8 REQUISITOS DE INSTALAÇÃO E SEGURANÇA.....	41
1.8.1 Dispositivo de Seccionamento Visível (DSV)	43
1.8.2 Dispositivos de Proteção contra Surto (DPS).....	43
1.8.3 Parametrização dos Equipamentos de Proteção	44
1.8.4 Funcionamento da segurança	45
CAPÍTULO 2 - ESTUDO DE CASO DO CAMPUS MARCO ZERO DA UNIFAP	47
2.1 EXEMPLOS DE INICIATIVAS DE SUSTENTABILIDADE NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA.....	47

2.1.1 Relatórios de Gestão do Exercício UNIFAP 2013 e 2014	48
2.1.2 Projeto de Desenvolvimento de Ações de Sustentabilidade e Racionalização de Gastos UNIFAP - 2014.....	49
2.1.3 Proposta de Resolução de Acadêmicos do Curso de Ciências Ambientais da UNIFAP - 2015	49
2.2 INCENTIVOS FINANCEIROS PARA IMPLANTAÇÃO DE SFCR	49
2.2.1 Resoluções Normativas nº 482/2012 e nº 687/2015 da ANEEL.....	50
2.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA.....	50
2.3.1 Avaliação do recurso solar do Amapá	50
2.3.2 Avaliação Geográfica do Campus Marco Zero.....	52
2.3.3 Avaliação das instalações elétricas do Campus Marco Zero	54
2.3.4 Escolha do local para implantação do Projeto Piloto.....	56
2.4 ELABORAÇÃO DE PROJETO PILOTO	58
2.4.1 Área de Implantação do Projeto	58
2.4.2 Módulo Fotovoltaico escolhido	60
2.4.3 Avaliação do Potencial de Geração Distribuída Fotovoltaica	60
2.4.4 Inversor Conectado à Rede escolhido.....	63
2.4.5 Análise de aplicação do Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI).....	63
2.4.6 Configuração do Gerador Fotovoltaico.....	64
2.4.7 Representação do Sistema Fotovoltaico	68
2.4.8 Conexão à Rede da concessionária.....	69
CAPITULO 3 - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL, ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA E ECÔNOMICA DO PROJETO PILOTO	72
3.1 ANÁLISE VIA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	72
3.1.1 Simulação pelo <i>software</i> SAM.....	72
3.1.2 Simulação pelo <i>software</i> PVsyst	74
3.1.3 Simulação pelo <i>software</i> PV*SOL 2016 (R4)	75
3.1.4 Comparação dos resultados.....	75

3.2 CORREÇÃO DA POTÊNCIA DE GERAÇÃO DO SFCR.....	77
3.3 ENERGIA PRODUZIDA PELO SFCR	79
3.4 PROJEÇÃO DA ENERGIA PRODUZIDA PARA O CAMPUS MARCO ZERO....	80
3.5 PROJEÇÃO DA ENERGIA PRODUZIDA PARA O PROJETO PILOTO	80
3.6 ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA DO SFCR	81
3.7 ANÁLISE ECONÔMICA DO SFCR	83
3.8 RESULTADOS OBTIDOS	86
CONCLUSÃO.....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
ANEXOS	96
ANEXO 01 - DIAGRAMA DO PROCESSO ADMINISTRATIVO PARA ACESSO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA CONCESSIONÁRIA.....	96
ANEXO 02 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE CONEXÃO DE MICROGERAÇÃO ATRAVÉS DE INVERSOR À REDE DE BAIXA TENSÃO.....	97
ANEXO 03 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE CONEXÃO DE MINIGERAÇÃO ATRAVÉS DE INVERSOR À REDE DE MÉDIA TENSÃO	98
ANEXO 04 - DESCRIÇÃO TÉCNICA DO MEDIDOR BIDIRECIONAL HOMOLOGADO NA NTD 09 - CEA.....	99
ANEXO 05 - PROTEÇÕES MÍNIMAS NECESSÁRIAS PARA O PONTO DE CONEXÃO DA CENTRAL GERADORA	100
ANEXO 06 - PLANTA BAIXA DO CAMPUS MARCO ZERO DO EQUADOR DA UNIFAP	101
ANEXO 07 - FATURA DE ENERGIA DO CAMPUS MARCO ZERO DO EQUADOR DA UNIFAP	102
ANEXO 08 - DESENHOS TÉCNICOS DO PADRÃO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA À UNIFAP	104
ANEXO 09 - DESENHOS TÉCNICOS DO PADRÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DA UNIFAP	108
ANEXO 10 - QUADRO DE DIMENSIONAMENTO DA SUBESTAÇÃO ABAIXADORA DA REITORIA	110

ANEXO 11 - CATÁLOGO DO MÓDULO FOTOVOLTAICO ESCOLHIDO.....	112
ANEXO 12 - CATÁLOGO DO INVERSOR ESCOLHIDO	114
ANEXO 13 - ORÇAMENTO PROPOSTO PELAS EMPRESAS NACIONAIS	116

INTRODUÇÃO

Os Sistemas Fotovoltaicos, nos últimos anos, tem se transformado em uma realidade cada vez mais acessível. Este fato decorre do preço dos módulos fotovoltaicos que vem decaindo com o avanço tecnológico e ascensão do mercado consumidor.

Nakabayashi (2014) afirma que uma maior participação das fontes de energia renováveis na matriz energética tem sido incentivada em nível mundial, e uma série de políticas públicas vêm sendo adotadas por diferentes países a fim de se buscar maior segurança energética e sustentabilidade. Neste contexto, segundo o autor, a energia solar fotovoltaica desempenha, potencialmente, um papel importante na evolução da participação de fontes alternativas na matriz energética mundial, visto sua abundância e ampla disponibilidade na superfície terrestre.

No cenário brasileiro foram criadas leis, decretos e resoluções que incentivam o uso de fontes energéticas renováveis não convencionais e subsidiam a implantação desta tecnologia em órgãos públicos, dentre os quais pode-se citar como exemplo o Decreto 7.746/12, que institui a Comissão Interministerial de Sustentabilidade na Administração Pública (CISAP) e que, dentre as diversas atribuições, estabelece a redução de impactos ambientais, inovação tecnológica e a sustentabilidade em obras e serviços de engenharia e as Resoluções 482/12 e 687/15 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que regulamentam o sistema de compensação de energia no Brasil.

No âmbito das Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) houve a implantação de legislação referente a sustentabilidade e geração de energia provinda de fontes de energia renováveis não convencionais. Pode-se citar como exemplo a Instrução Normativa 10/2012 da Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação (SLTI) e o Projeto Esplanada Sustentável (PES).

Neste contexto, a presente pesquisa tem como objetivo geral avaliar o uso de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede como Prática de Sustentabilidade na Universidade Federal do Amapá (UNIFAP) tendo como estudo de caso o Campus Marco Zero do Equador. Como objetivos específicos tem-se:

- Abordar legislação vigente que incentiva e subsidia a sustentabilidade na administração pública e a energia solar fotovoltaica.

- Avaliar o Potencial de Geração Elétrica, advinda de Energia Solar Fotovoltaica, do Campus Marco Zero do Equador. Considerando para análise áreas ociosas de edificações, de forma que a implantação da tecnologia gere impactos ambientais nulos ou reduzidos.
- Elaborar o projeto de um sistema piloto para ser implantado no Campus Marco Zero do Equador.
- Realizar análise orçamentária e econômica do sistema piloto.

A proposta de elaboração da presente pesquisa justifica-se pela necessidade de se elaborar uma política interna na UNIFAP que aborde os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) como prática de sustentabilidade e de se incluir esta medida no Projeto de Logística Sustentável (PLS) da instituição.

No documento denominado "Relatório de Gestão do Exercício 2013" elaborado em 2013, a universidade afirma que assumiu o compromisso de adotar práticas de consumo sustentável aderindo ao "Projeto Esplanada Sustentável" e, em contrapartida, elaborou o projeto intitulado "Projeto de Desenvolvimento de Ações de Sustentabilidade e Racionalizações de gastos" de acordo com a legislação específica vigente.

Este projeto interno, em sua última versão de 2014, não contemplou a implantação de energias renováveis como prática de sustentabilidade, ao contrário do que está acontecendo nos PLS's do Ministério do Meio Ambiente e de universidades federais como, por exemplo, do Ceará, de Goiás, de Roraima, do Pará.

Em 2015, o documento "Relatório de Gestão do Exercício de 2014" afirmou que a UNIFAP vem construindo a política de sustentabilidade conforme estabelecido no Decreto N° 7.746 e na Instrução Normativa N° 10, de 12/11/2012 e que dentre diversas ações, investe na infraestrutura da energia, medida essa que garantirá melhor eficiência e economia.

Dado este cenário favorável e a necessidade de se aprimorar o desenvolvimento sustentável da instituição sugere-se a inclusão dos SFCR's como prática de sustentabilidade. Um dos fatores que motiva esta escolha deve-se ao fato da produção de eletricidade desta fonte não depender de combustíveis fósseis, os quais representam uma das principais fontes de energia elétrica do planeta e são um

dos principais fatores responsável pelas mudanças climáticas observadas no planeta.

A atual matriz energética mundial ainda depende, em quase 80%, de combustíveis fósseis, cuja queima contribui para o rápido aumento da concentração de "gases estufa" na atmosfera e, consequentemente, elevação da temperatura da Terra. (REIS; SANTOS, 2014)

A prioridade por SFCR's, em relação a outras fontes não convencionais, dá-se pelo fato de que estes podem ser implantados em modelo de Geração Distribuída, deste modo adaptar-se facilmente a arquitetura e infraestrutura existente, gerando impactos ambientais bastante reduzidos ou nulos, além de serem considerados uma forma de produção de energia limpa e renovável.

Sendo assim este estudo segue com o intuito de coletar dados sobre sustentabilidade, benefícios ambientais proporcionados pela tecnologia fotovoltaica e incentivos legais existentes para aquisição da tecnologia, para que seja elaborado um projeto piloto pioneiro eficaz, capaz de implantar o desenvolvimento sustentável na instituição e fomentar futuros trabalhos, projetos e pesquisas na área, para difundir este sistema no estado do Amapá.

A metodologia utilizada nesta pesquisa, foi de um Estudo de Caso da UNIFAP, realizado no campus Marco Zero do Equador. O qual foi de natureza prática e ocorreu mediante visitas técnicas efetuadas por todo o Campus; análise documental dos arquivos obtidos na universidade, setores de engenharia e de fontes terceiras; pesquisa de campo quantitativa; observações *in loco* para coleta de dados e obtenção de resultados com base em *softwares* simuladores disponíveis na literatura.

Teve-se como métodos adotados:

- Pesquisa bibliográfica e documental do tema proposto, o que possibilitou uma melhor compreensão do assunto;
- Revisão bibliográfica através de análise e sistematização de informações encontradas em literatura disponível sobre o tema, regulamentos e normas técnicas do setor, sites e fornecedores especializados, teses (artigos, dissertações) publicadas relacionadas ao tema em questão, entre outras fontes.

- Análise sobre a temática e legislação vigente aplicada a Sustentabilidade, Administração Pública Federal e Sistemas de Micro e Minigeração conectados a Rede Elétrica.
- Verificação do recurso solar local utilizando *softwares* de irradiação solar que já possuam banco de dados da cidade de Macapá-AP disponível.
- Levantamento de dados para estimativa do Potencial de Geração Distribuída Fotovoltaica do Campus Marco Zero do Equador através de visitas técnicas nas proximidades de edificações do Campus e ao departamento "Assessoria Especial de Engenharia", responsável da instituição por estas questões.
- Avaliação do Potencial de Geração Distribuída Fotovoltaica do Campus Marco Zero do Equador através de análise de plantas baixas, utilização de *software* de desenho técnico e *softwares* computacionais para elaboração de tabelas e gráficos.
- Escolha do local para implantação do projeto piloto, levando-se em consideração o ponto de maior consumo de energia elétrica e a maior visibilidade do projeto.
- Desenvolvimento do projeto piloto de um sistema fotovoltaico conectado a rede, conforme técnicas e métodos consolidados na literatura e embasados em normas técnicas brasileiras e normas técnicas da concessionária local de energia elétrica.
- Análise econômica financeira do projeto, considerando-se estimativa de orçamento através dos custos totais do sistema e a tarifação atual cobrada pela concessionária local de energia.

A monografia segue estruturada em três capítulos mais a conclusão, conforme descrição a seguir:

Capítulo 1 – Neste capítulo abordou-se a descrição dos princípios norteadores e aspectos legais da sustentabilidade; da relação entre a sustentabilidade e a energia elétrica; da relação entre energia elétrica e meio ambiente; descreveu-se os princípios de funcionamento da energia solar fotovoltaica e dos SFCR's; os princípios legais de implantação aplicados a estes sistemas e os requisitos de instalação e segurança exigidos.

Capítulo 2 – No segundo capítulo apresentou-se os exemplos de iniciativas de sustentabilidade na administração pública; o levantamento das atividades exercidas nos últimos anos na UNIFAP, referente a questões sustentáveis; os incentivos financeiros da implantação do sistema; a análise de viabilidade técnica da tecnologia fotovoltaica, contemplando a avaliação do recurso solar disponível no Estado do Amapá e a avaliação geográfica e das instalações elétricas do Campus Marco Zero; e houve a elaboração do projeto piloto do sistema.

Capítulo 3 – Neste capítulo foram apresentados os resultados de simulações computacionais para verificar o desempenho do SFCR; utilizados os fatores de correção para calcular a potência de geração do SFCR; efetuada a modelagem matemática da energia produzida pelo sistema fotovoltaico; obtida a projeção da energia produzida para o Campus Marco Zero e para o Projeto Piloto; realizada a análise orçamentária do SFCR do Estacionamento da Reitoria e a análise econômica do sistema baseada na economia proporcionada pelo sistema em funcionamento e apresentados os resultados obtidos com a realização deste estudo.

Conclusão – Na conclusão foram realizadas as considerações finais sobre o trabalho desenvolvido, analisando a proposta inicial do trabalho, a sustentabilidade, a legislação vigente e os retornos que o sistema fotovoltaico conectado à rede proporciona e os resultados obtidos com a realização do estudo de caso. Além de apresentar algumas sugestões de trabalhos futuros e as referências bibliográficas utilizadas para esta pesquisa.

CAPÍTULO 1 - A SUSTENTABILIDADE E OS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE.

A Sustentabilidade tem sido um tema amplamente discutido na sociedade, tendo em vista as mudanças climáticas e ambientais que ocorrem todos os anos em nosso planeta. Tais mudanças atribuem-se, dentre diversos fatores, ao modo de vida do homem moderno que está sendo menos sustentável com o passar do tempo. Desta forma governos e iniciativa privada investem cada vez mais em medidas e políticas que visem o tão desejado desenvolvimento sustentável¹.

Neste aspecto houve o desenvolvimento de leis, decretos, regulamentos, normas técnicas e diversas ferramentas e mecanismos que viabilizam o processo produtivo da mão-de-obra técnica administrativa para a elaboração de projetos efetivos na área que tornem a sustentabilidade uma realidade acessível.

Antes da elaboração destes projetos torna-se necessário que a importância da sustentabilidade em nossa sociedade e os benefícios dela advindos seja algo claro e bem assimilado por todos os membros deste processo.

Uma das formas que pode-se compreender a importância da sustentabilidade é a partir da constatação dos ganhos ou preservação da qualidade de vida proporcionada ao ser humano.

1.1 PRINCÍPIOS NORTEADORES E ASPECTOS LEGAIS DA SUSTENTABILIDADE

Diversos princípios e práticas de sustentabilidade vem sendo difundidas pelo mundo, as quais reforçam o compromisso de instituições com o meio ambiente. Nesta pesquisa serão analisados os princípios e práticas de sustentabilidade condizentes com a produção e consumo de energia elétrica, gestão de recursos naturais em órgãos públicos e nas instituições federais de ensino superior.

Em um aspecto global pode-se tomar como referência a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável realizada em 2012, denominada

¹ Desenvolvimento sustentável é o modelo que prevê a integração entre economia, sociedade e meio ambiente. Em outras palavras, é a noção de que o crescimento econômico deve levar em consideração a inclusão social e a proteção ambiental (RIO+20, 2012).

de Rio+20, que em seu documento final, denominado "The Future we want" ou em português "O futuro que queremos" definiu o compromisso global de adoção de sustentabilidade nas IFES conforme verifica-se em seu artigo 234 e 235.

234. Encorajamos fortemente as instituições de ensino a considerarem a adoção de boas práticas em gestão da sustentabilidade em seus campi e em suas comunidades, com a participação ativa dos alunos, professores e parceiros locais, e ensinando o desenvolvimento sustentável como um componente integrado a todas as disciplinas.

235. Ressaltamos a importância de apoiar instituições de ensino, especialmente instituições de ensino superior em países em desenvolvimento, para efeitos de investigação e inovação para o desenvolvimento sustentável, nomeadamente no domínio da educação, para desenvolver programas de qualidade e inovadores, incluindo o empreendedorismo e formação profissional habilidades, profissional, formação técnica, profissional e aprendizagem ao longo da vida, orientada para preencher as lacunas de competências para promover os objetivos nacionais de desenvolvimento sustentável. (Rio+20, 2012).

No âmbito nacional, nos últimos anos, houve várias iniciativas governamentais elaboradas com o intuito de colaborar com o desenvolvimento sustentável. Dentre as diversas iniciativas pode-se citar o Plano Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), instituído pela Lei nº 10.438/2002, que foi elaborado com o intuito de promover a diversificação da Matriz Energética Brasileira, aumentando a segurança no abastecimento e reduzindo a emissão de gases do efeito estufa.

A Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC), instituído pela Lei nº 12.187/2009, que visa incentivar o desenvolvimento e aprimoramento de ações de mitigação no Brasil, colaborando com o esforço mundial de redução de emissões de gases do efeito estufa, bem como buscar, dentre diversas metas, manter elevada a participação de energia renovável na matriz elétrica.

A Lei nº 12.349/2010 que altera o Art. 3º da Lei nº 8.666/1993 com a inclusão da Promoção do Desenvolvimento Nacional Sustentável como objetivo das licitações. A Instrução Normativa nº 1/2010 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG) que estabelece critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras na Administração Pública Federal.

A Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P), instituída pela Portaria nº 217/2008 do Ministério do Meio Ambiente (MMA), que, segundo própria cartilha, é um programa de gestão que visa promover a responsabilidade socioambiental e

inserir critérios de sustentabilidade nas atividades da administração pública. A inserção desses critérios envolve mudanças comportamentais e transformações nas ações públicas relacionadas às prioridades de investimentos, compras e contratação de serviços pelo governo, construções sustentáveis, gerenciamento de resíduos sólidos e uso racional dos recursos naturais e bens públicos. Segundo tópico 8 - "Sugestões de Ações para Implantação" a A3P também sugere o estudo de viabilidade de utilização de energia solar em prédios.

E outras mais específicas que relacionam sustentabilidade, administração pública e os setores de engenharia como por exemplo: o Decreto nº 7.746/2012, a Instrução Normativa Nº 10/2012 da Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação (SLTI) e o Projeto Esplanada Sustentável.

1.1.1 Decreto nº 7.746/2012

Publicado em 5 de junho de 2012, pela presidenta da república Dilma Rousseff, estabelece critérios, práticas e diretrizes para a promoção do desenvolvimento nacional sustentável nas contratações realizadas pela administração pública federal e institui a Comissão Interministerial de Sustentabilidade na Administração Pública (CISAP).

Em seu artigo 4º verifica-se que a CISAP tem por objetivo fornecer diretrizes que proporcionem menor impacto sobre recursos naturais como flora, fauna, ar, solo e água, maior eficiência na utilização de recursos naturais como água e energia e uso de inovações que reduzam a pressão sobre recursos naturais.

Em seu artigo 6º institui inovação tecnológica e a sustentabilidade em obras e serviços de engenharia.

Art. 6º As especificações e demais exigências do projeto básico ou executivo para contratação de obras e serviços de engenharia devem ser elaboradas, nos termos do art. 12 da Lei nº 8.666, de 1993, de modo a proporcionar a economia da manutenção e operacionalização da edificação e a redução do consumo de energia e água, por meio de tecnologias, práticas e materiais que reduzam o impacto ambiental. (Decreto nº 7.746, 2012)

E em seu artigo 16º decreta que a administração pública federal direta, autárquica e fundacional e as empresas estatais dependentes deverão elaborar e

implementar Planos de Gestão de Logística Sustentável, no prazo estipulado pela Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação (SLTI).

1.1.2 Instrução Normativa 10/2012 - SLTI

Publicada em 12 de novembro de 2012, estabelece regras para elaboração dos Planos de Gestão de Logística Sustentável (PLS) de que trata o art. 16, do Decreto nº 7.746, de 5 de junho de 2012, e dá outras providências.

Art. 3º Os PLS são ferramentas de planejamento com objetivos e responsabilidades definidas, ações, metas, prazos de execução e mecanismos de monitoramento e avaliação, que permite ao órgão ou entidade estabelecer práticas de sustentabilidade e racionalização de gastos e processos na Administração Pública. (IN 10/2012 - SLTI, 2012)

Decreta no artigo 8º que as praticas de sustentabilidade deverão abranger, entre diversos temas, a energia elétrica; as compras e contratações sustentáveis, compreendendo as obras. O que significa um grande avanço para o setor de Engenharia Elétrica em relação à sustentabilidade na administração pública.

1.1.3 Projeto Esplanada Sustentável

Instituído em 6 de junho de 2012 pela Portaria Interministerial nº 244, o Projeto Esplanada Sustentável (PES) tem por objetivo principal incentivar órgãos e instituições públicas federais a adotarem modelo de gestão organizacional e de processos estruturado na implementação de ações voltadas ao uso racional de recursos naturais, promovendo a sustentabilidade ambiental e socioeconômica na Administração Pública Federal.

Em sua Cláusula Segunda, Parágrafo Terceiro, institui os seguintes objetivos: promover a sustentabilidade ambiental, econômica e social na Administração Pública Federal; melhorar a qualidade do gasto público pela eliminação do desperdício e pela melhoria contínua da gestão dos processos; incentivar a implementação de ações de eficiência energética nas edificações públicas; estimular ações para o consumo racional dos recursos naturais e bens públicos.

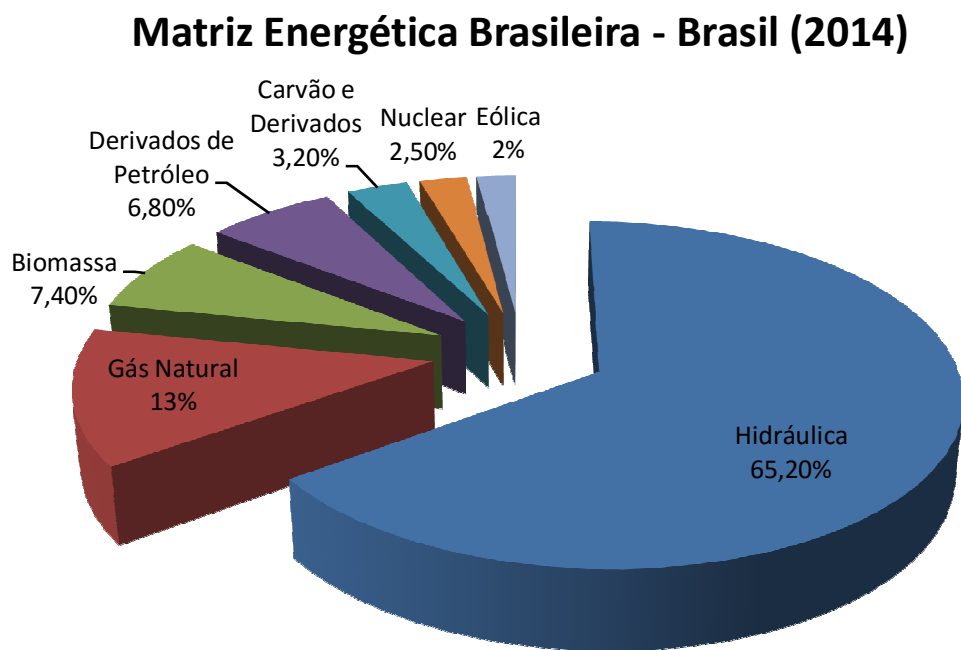
1.2 SUSTENTABILIDADE E A ENERGIA ELÉTRICA

Observando-se o setor nacional de energia elétrica percebe-se que, na maioria dos casos, por muitos anos a sustentabilidade não recebeu a devida atenção, sendo o modelo atual de produção de energia elétrica, em sua predominância, ainda não sustentável.

Reis e Santos (2014) afirmam que, relacionado às características globais de problemas de emissões atmosféricas, o Brasil poderia ser considerado um exemplo se não ocorressem sérios problemas ambientais e sociais associados às grandes hidrelétricas e à geração termoeletrica.

O Balanço Energético Nacional (BEN) 2015 permite perceber a distribuição das fontes primárias energéticas utilizadas na matriz elétrica brasileira conforme exposto na figura 1.

Figura 1 - Matriz Energética Brasileira.



Geração hidráulica em 2014: 407,2 TWh

Geração total em 2014: 624,3 TWh

Fonte: Adaptado de (Balanço Energético Nacional, 2015).

Ainda que em menor parte, a produção de energia por usinas termoeletricas, presente em diversos estados brasileiros, é um dos principais fatores negativos que contribuem para a falta de sustentabilidade. Goldemberg (2010) afirma que existem três problemas que mostram que o desenvolvimento atual baseado no consumo de combustíveis fósseis não é sustentável: Exaustão das reservas; Segurança de abastecimento e Impactos Ambientais.

O autor conclui que uma das soluções para a exaustão dos combustíveis e os problemas decorrentes do seu uso (segurança de abastecimento e impactos ambientais) pode ser a utilização crescente de energias renováveis.

As fontes de energias renováveis podem ser definidas como aquelas cuja reposição pela natureza ocorre em período condizente com sua utilização energética (como no caso das águas dos rios, marés, irradiação solar, ventos) ou cujo manejo, pelo homem, pode ser efetuado de forma compatível com as necessidades de sua utilização energética (como no caso da biomassa). Reis e Santos (2014) afirmam que a maioria dessas fontes apresentam características que permitem modelagem aproximadas, estatísticas e estocásticas em períodos compatíveis com a operação das usinas elétricas e inferiores à vida útil delas. Tais fontes podem ser usadas para produzir eletricidade principalmente através de usinas hidrelétricas, eólicas, solar-fotovoltaicas e centrais termelétricas.

Hinrichs e Kleinbach (2008) afirmam que os recursos energéticos renováveis oferecem muitas vantagens para um mundo carente de energia, visto a possibilidade de poderem ser usados de diversas maneiras, gerando problemas ambientais mínimos.

Desta forma pode-se concluir que uma das formas de se obter e aprimorar um modelo de desenvolvimento sustentável em qualquer instituição pública ou privada dá-se pelo fato de se consumir energia elétrica advindas de fontes de energia renováveis.

1.3 POLÍTICAS DE SUSTENTABILIDADE, ENERGIA ELÉTRICA E O MEIO AMBIENTE

Políticas de sustentabilidade são deveres e obrigações de diversos setores da sociedade e com o setor elétrico essa realidade não é diferente. Segundo Reis e Santos (2014) a energia elétrica deve, certamente, considerar as constatações e

recomendações voltadas à construção de um modelo sustentável de desenvolvimento para o setor de energia, estabelecidas com base na avaliação das relações da energia com o meio ambiente e o desenvolvimento, e no conceito de sustentabilidade. Desta forma deve-se:

- Diminuir o uso de combustíveis fósseis e aumentar a utilização de tecnologias, combustíveis e recursos renováveis, com o intuito de construir uma matriz energética renovável a longo prazo.
- Promover o desenvolvimento tecnológico do setor energético na busca de eficiência e, sobretudo, de alternativas ambientalmente benéficas ou menos impactantes.
- Estabelecer políticas energéticas voltadas a favorecer a formação de mercados para as tecnologias ambientalmente benéficas ou de menor impacto ambiental, além de incentivar sua utilização como substitutas das alternativas não sustentáveis.

Assim fica claro que as energias renováveis são uma boa, senão a melhor, opção para desenvolvimento sustentável para as instituições. A gama de opções de tecnologias renováveis é extensa, porém, comercialmente, e para desenvolvimento de projetos de pequeno porte, duas tecnologias ganham principal destaque: a energia eólica e a energia solar.

Devido a questões de especificidades geográficas da região do estado do Amapá, principalmente da Universidade Federal do Amapá, a energia solar fotovoltaica torna-se mais viável e por esta questão técnica este estudo se restringirá a esta forma de geração de energia.

É importante citar que para qualquer forma de produção de energia é necessária uma modificação no meio ambiente onde esse sistema será implantando. Atualmente discute-se sobre o conceito de energia limpa, pois até o presente momento a exploração de qualquer fonte de energia provoca alterações no meio ambiente e, conseqüentemente, impactos ambientais.

Reis e Santos (2014) afirmam que o setor energético produz impactos ambientais em toda sua cadeia de processamento e transformação, desde a captura de recursos naturais básicos para seus processos de produção, até seus usos finais por variados tipos de consumidores. Segundo os autores, do ponto de vista global, a

energia tem participação significativa nos principais problemas ambientais da atualidade.

Para Goldemberg (2010) o consumo de energia pelo homem é a principal origem de grande parte dos impactos ambientais, em todos os níveis. Em uma escala micro, desencadeou, por exemplo, doenças respiratórias, com o uso primitivo de lenha. A nível macro é a principal fonte das emissões de gases de efeito estufa, que intensifica as mudanças climáticas e causa perda de biodiversidade.

Neste aspecto, a energia solar é uma forma de produção de energia elétrica que pode ser considerada renovável e limpa, pois os impactos ambientais gerados por este tipo de tecnologia restringem-se, em sua maioria, na fabricação dos módulos solares, nos equipamentos de controle e nos sistemas de baterias.

Villalva e Gazoli (2012) relatam que a energia solar fotovoltaica é limpa pelo fato de sua produção não gerar resíduos sólidos, não emitir poluentes para a atmosfera, e quando comparadas aos combustíveis fósseis, apresentam impactos ambientais relativamente reduzidos.

E considerando casos mais globais, Reis e Santos (2014) afirmam que não há razão para acreditar que a utilização em larga escala de sistemas fotovoltaicos implicará em grandes danos ao meio ambiente se todos os cuidados possíveis forem tomados de forma antecipada. Segundo os autores alguns métodos de fabricação de células fotovoltaicas utilizam materiais perigosos, contudo os riscos podem ser reduzidos a níveis baixos se técnicas modernas de minimização e reciclagem de sobras forem empregadas durante a fabricação. A destruição dos módulos que contêm cádmio ou outros metais pesados poderia criar danos ao meio ambiente, no entanto, ao serem descartados, podem ser economicamente reciclados, minimizando os problemas de destruição. Para sistemas solares fotovoltaicos de grande porte, desenvolvidos para operar em paralelo com os sistemas de potência (rede em CA), os autores afirmam que pode-se eventualmente considerar como impacto ambiental a perda do uso do espaço preenchido pelo sistema para outras finalidades, mas isso dependerá muito da localização do sistema e, obviamente, da área ocupada.

1.4 PRINCÍPIOS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar origina a movimentação dos ventos, marés, os ciclos da água, a fotossíntese dos vegetais e, por intermédio dela, ocorreu a formação dos combustíveis fósseis. A radiação solar apresenta-se então como a responsável por quase todas as fontes energéticas utilizadas pela humanidade, sendo ainda a principal fonte de energia primária renovável, na escala terrestre de tempo, disponível no planeta.

A energia solar propaga-se para a Terra por meio de radiação eletromagnética que, a partir do limite superior da atmosfera, sofre uma série de reflexões, dispersões e absorções em seu percurso até o solo. Os níveis de radiação solar em um plano horizontal na superfície da Terra variam com as flutuações climáticas, especialmente com as estações do ano, e também de acordo com a região, sobretudo por causa das diferenças de latitude, das condições meteorológicas e das altitudes. (REIS e SANTOS, 2014).

Villalva e Gazoli (2012) constatarem que a superfície da Terra recebe anualmente uma quantidade de energia solar, nas formas de luz e calor, suficiente para suprir milhares de vezes as necessidades mundiais durante o mesmo período, sendo aproveitada apenas uma pequena parcela dessa energia.

A radiação que atinge uma superfície horizontal do solo é composta por raios solares que chegam de todas as direções e são absorvidos, espalhados e refletidos pelas moléculas de ar, vapor, poeira e nuvens. (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

A radiação solar pode ser aproveitada de diversas maneiras, como iluminação, climatização de ambientes, aquecimento de fluidos, conversão em energia elétrica pelo efeito térmico ou fotovoltaico. A presente pesquisa limita-se a conversão de energia pelo efeito fotovoltaico.

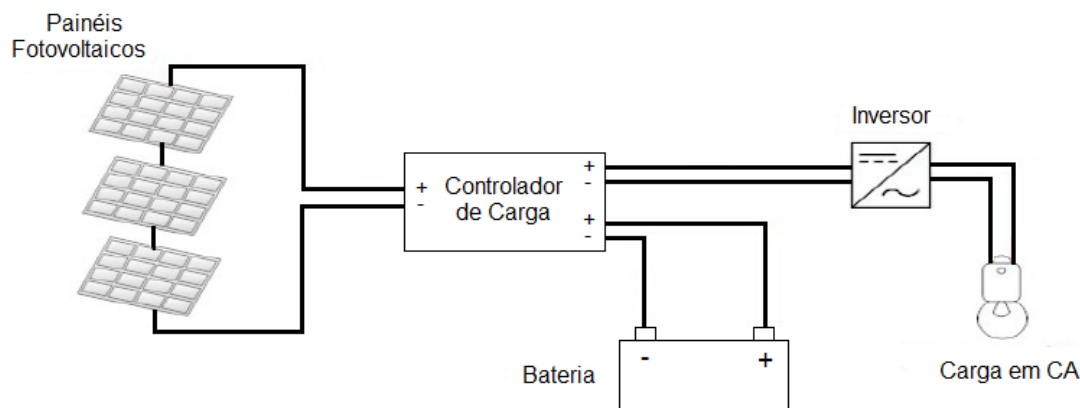
A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental deste processo (PINHO e GALDINO, 2014).

Os Sistemas Fotovoltaicos são sistemas que captam a luz solar e produzem corrente elétrica, a qual é coletada e processada por dispositivos conversores e controladores, podendo ser armazenada em baterias ou mesmo ser utilizada diretamente à rede elétrica.

Os componentes de um sistema fotovoltaico dependem da aplicação a ser utilizada, como por exemplo: sistemas autônomos com armazenamento, sistemas

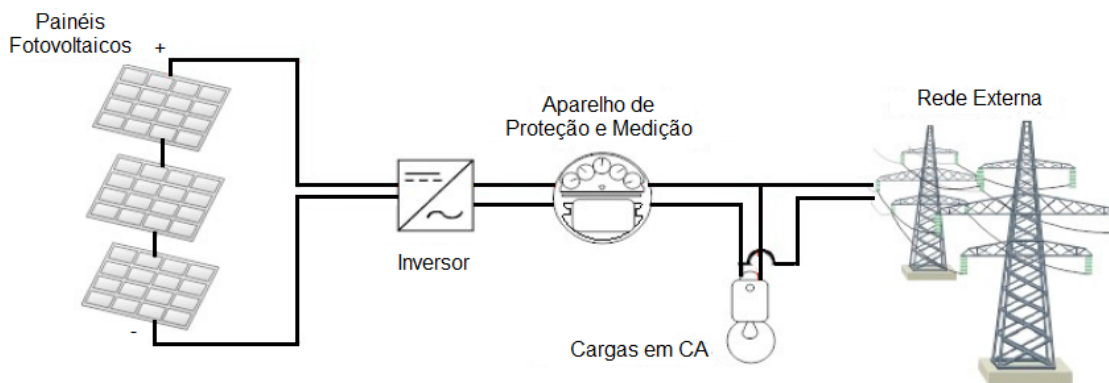
autônomos sem armazenamento ou sistemas conectados a rede elétrica, portanto variam de acordo com a instalação pretendida. Os principais componentes a ser utilizados são: os módulos fotovoltaicos, baterias, controladores de carga, inversores, entre outros responsáveis pela implantação da infraestrutura do sistema, conforme verifica-se na Figura 2 e Figura 3.

Figura 2 - Organização de um Sistema Fotovoltaico Autônomo.



Fonte: Adaptado de (Serrão, 2010).

Figura 3 - Organização de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.



Fonte: Adaptado de (Serrão, 2010).

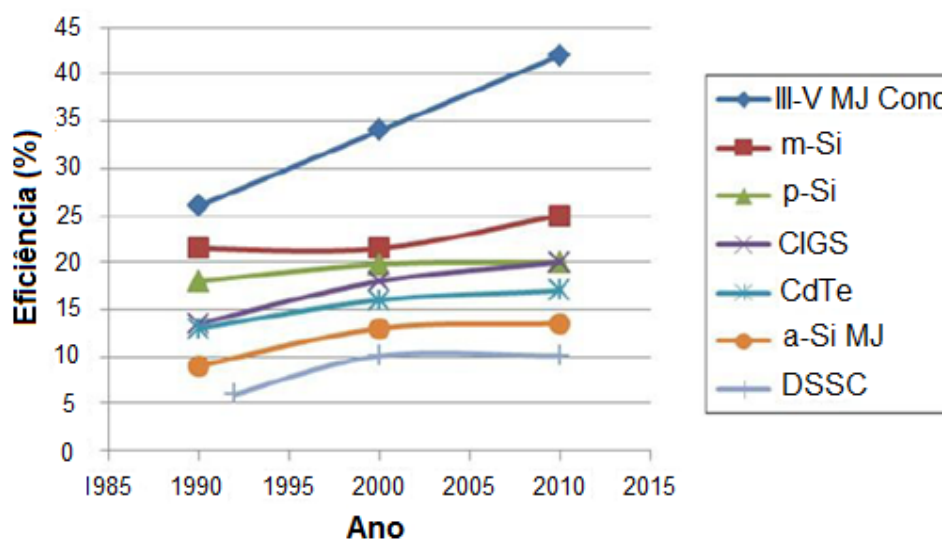
Segundo Zilles et al. (2012) a conversão direta da luz solar em eletricidade está gradativamente se difundindo no país e isso se deve ao incremento da eficiência de conversão e à redução de custos. De acordo com os dados do Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL, em março de 2016, há 37 empreendimentos de geração solar fotovoltaica em operação no país, o que totaliza 26.916kW de Potência Outorgada, e 60 empreendimentos com construção não

iniciada, o que totalizará um acréscimo de 1.736.810kW de Potência Outorgada na matriz energética brasileira nos próximos anos.

Em relação ao estado do Amapá o BIG - ANEEL, em março de 2016, ainda não houve nenhuma usina solar fotovoltaica cadastrada em seu banco de dados.

Quanto aos módulos fotovoltaicos, componentes principais deste sistema, seu rendimento vem aumentando com o decorrer do tempo. Pinho e Galdino (2014) elaboraram um gráfico de evolução da eficiência, nos últimos anos, das células que utilizam as principais tecnologias de conversão fotovoltaica, este pode ser verificado na Figura 4.

Figura 4 - Evolução das células fotovoltaicas.



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014).

Onde "III-V MJ Conc" representa as células com Concentradores Multijunção, "m-Si" são as células de silício monocristalino, "p-Si" são as células de silício policristalino, "CIGS" são as células de disseleneto de cobre, índio e gálio, "CdTe" são as células de telureto de cádmio, "a-Si MJ" são as células de multijunção com silício amorfo e "DSSC" são as células sensibilizadas por corante.

Green et al. (2015) elaboraram a versão 46 da "Solar cell efficiency tables" ou em português "Tabelas de Eficiência das células solares" na qual é possível verificar a eficiência das células e módulos solares para o ano de 2015, conforme exposto na tabela 1.

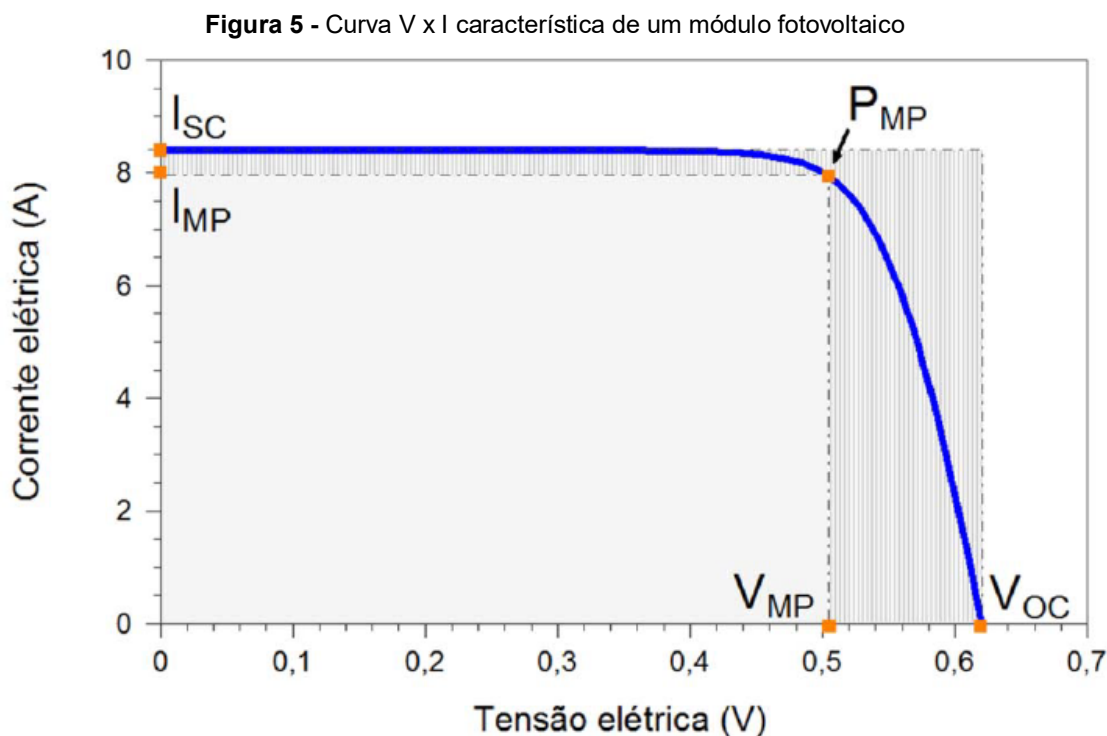
Tabela 1 - Máxima eficiência fotovoltaica.

Material	Eficiência da célula (%)	Eficiência do módulo (%)
Célula Multijunção V	$38,8 \pm 1,2$	-
Silício monocristalino	$25,6 \pm 0,5$	$22,9 \pm 0,6$
Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio	$21,0 \pm 0,6$	$17,5 \pm 0,5$
Telureto de Cádmio	$21,0 \pm 0,4$	$17,5 \pm 0,7$
Silício multicristalino	$20,8 \pm 0,5$	$18,5 \pm 0,4$
Silício amorfo multijunção (filmes finos)	$13,6 \pm 0,4$	$12,3 \pm 0,3$
Célula sensibilizada por corante	$11,9 \pm 0,4$	-

Fonte: Adaptado de (GREEN et al., 2015).

Analizando a figura 4 e a tabela 1 é possível verificar que as células com concentrados de multijunção (III-V MJ Conc) possuem maior rendimento, mas seu custo ainda é elevado e não competitivo comercialmente, fazendo com que, segundo Pinho e Galdino (2014), as tecnologias de primeira geração (silício mono e multicristalino) representem mais de 85% do mercado, por serem consideradas uma tecnologia mais consolidada e confiável, além de possuir a melhor eficiência disponível comercialmente.

A curva característica de um módulo fotovoltaico pode ser representada na Figura 5.

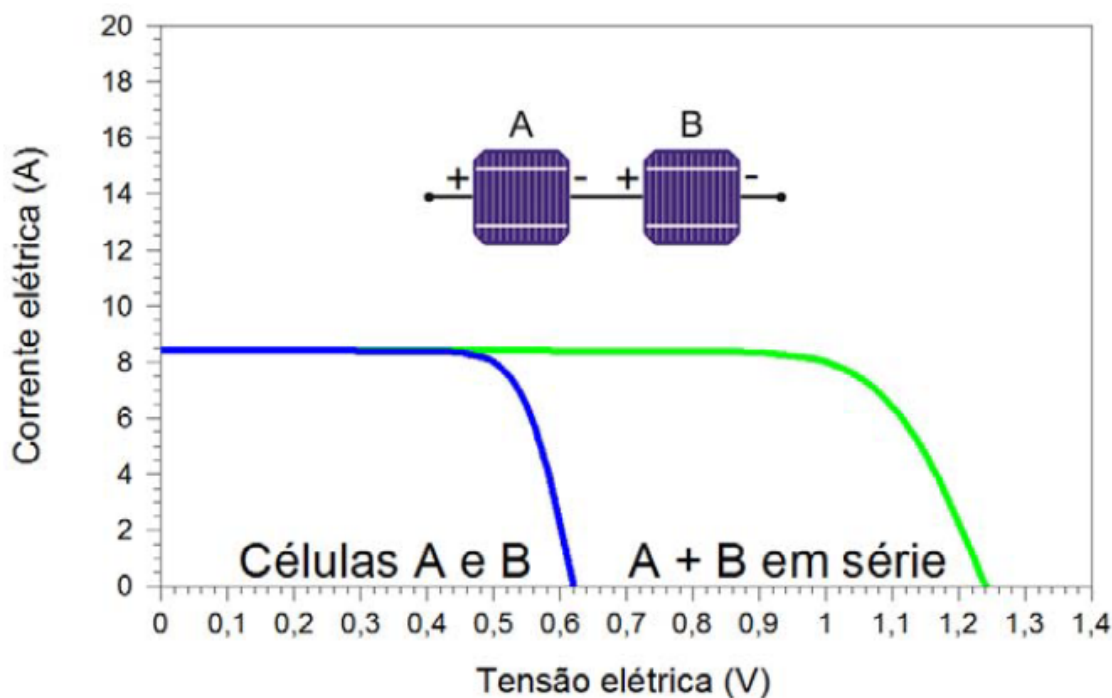


Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014).

Esta curva apresenta três pontos que devem ser destacados: a corrente elétrica de curto-circuito ($0, I_{sc}$), tensão de circuito aberto ($V_{oc}, 0$) e o ponto de máxima potência (I_{mp}, V_{mp}). Estes dados serão fornecidos no *datasheet* do módulo fotovoltaico e posteriormente utilizados no cálculo de dimensionamento do sistema.

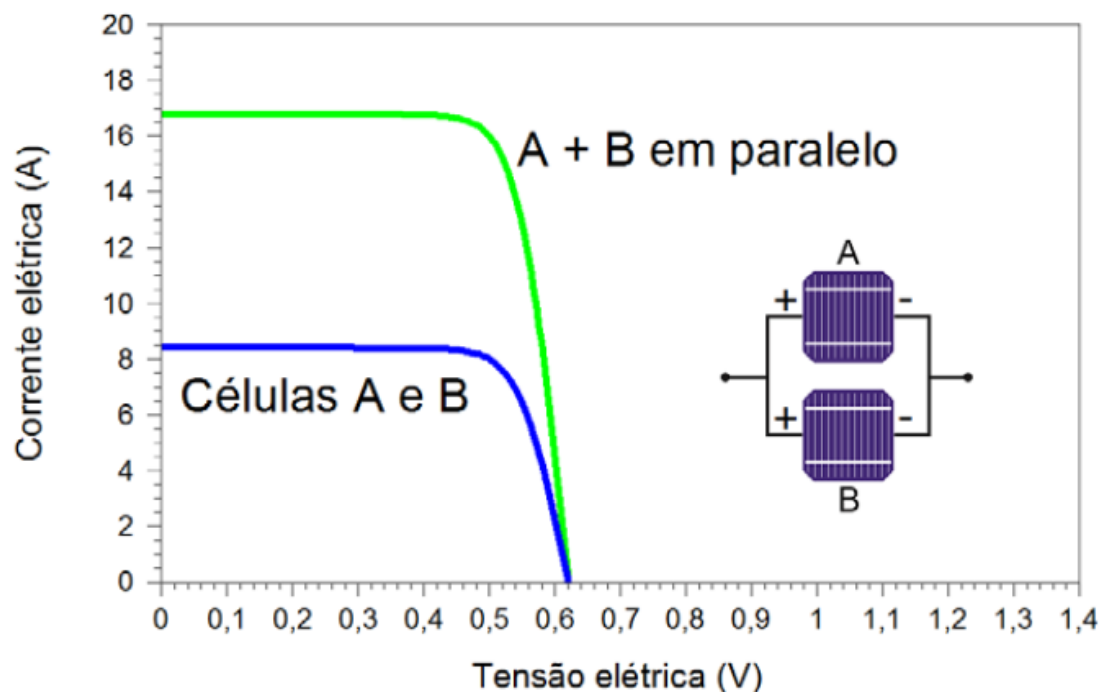
Os módulos podem ser associados em série ou em paralelo de forma a se atingir os níveis de tensão e corrente desejados. Para dispositivos iguais e submetidos à mesma irradiância, na associação em série ocorre o somatório das tensões e a corrente não é modificada, enquanto que na associação em paralelo, ocorre o somatório das correntes e a tensão não é modificada. A configuração a ser utilizada será abordada no tópico do dimensionamento do sistema fotovoltaico. A Figura 6 e Figura 7 ilustra as conexões série e paralelo.

Figura 6 - Módulos Fotovoltaicos conectados em série



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014).

Figura 7 - Módulos Fotovoltaicos conectados em paralelo



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014).

Após a geração de energia será necessário a sua distribuição até as suas unidades consumidoras ou, no caso de sistemas de pequeno porte, aos pontos de consumo. A energia solar fotovoltaica, na maioria dos casos, utiliza o modelo de Geração Distribuída de Energia.

A Geração Distribuída é uma expressão utilizada para caracterizar produção de energia elétrica localizada próximo ao consumo. Geralmente é formada por sistemas de pequeno porte, conectados ao sistema elétrico em nível de tensão de distribuição ou subtransmissão. Como esta é próxima ao consumidor, esses sistemas apresentam-se com custos mais reduzidos, devido à diminuição dos investimentos e das perdas em transmissão e distribuição, perdas próprias de um sistema elétrico centralizado.

Villalva e Gazoli (2012) destacam que o uso da geração distribuída com fontes alternativas de energia elétrica tem crescido em todo o mundo e também no Brasil. Para os autores as energias solar fotovoltaica e eólica são as fontes renováveis não convencionais com maior potencial para utilização na geração distribuída de eletricidade, pois praticamente todo o território brasileiro poderá utilizar esse tipo de geração de energia elétrica.

Para Zilles et al. (2012) do ponto de vista ambiental, a geração distribuída com tecnologias limpas e renováveis permite a expansão da matriz energética brasileira de forma sustentável e com baixo impacto ao meio ambiente.

1.5 BENEFÍCIOS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Os Sistemas Fotovoltaicos apresentam diversas vantagens quando utilizados em Geração Distribuída, pois se adaptam facilmente à arquitetura e a qualquer espaço vazio onde haja incidência de luz solar, podendo assim ser facilmente instalados nas cidades e nos grandes centros urbanos. Desta forma, ao mesmo tempo que contribui para o suprimento de energia, melhora a qualidade de vida dos cidadãos e proporciona o desenvolvimento sustentável.

Goldemberg (2010) afirma que a maior parte da produção de módulos fotovoltaicos vem sendo integrada a telhados e fachadas de edificações de zonas urbanas eletrificadas. Tal fato contribui para o mínimo impacto ambiental que o sistema proporciona.

Reis e Santos (2014) afirmam que os sistemas fotovoltaicos são modulares, o que facilita sua instalação bem próxima dos usuários, como em telhados, e reduz os preços de transmissão e distribuição. Esses sistemas são também fáceis de transportar e reinstalar em outro local, têm vida útil média de cerca de vinte e cinco anos e necessitam ainda de baixíssima manutenção.

Os demais equipamentos e acessórios utilizados nos sistemas fotovoltaicos possuem vida útil inferior aos dos módulos e por isso requerem maior manutenção. Mas segundo Pinho e Galdino (2014) sistemas de armazenamento de energia e de condicionamento de potência já tem sofrido grandes avanços no sentido de aperfeiçoamento e de redução de custos.

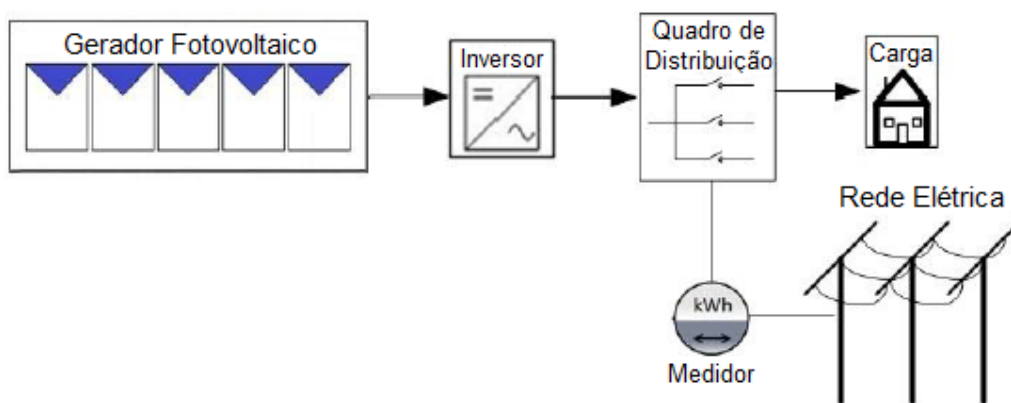
E utilizando os sistemas fotovoltaicos na configuração conectada à rede, a edificação consome energia elétrica de ambas as fontes, tanto do sistema fotovoltaico quanto do sistema convencional de distribuição. O que proporciona uma economia na fatura de energia e portanto torna-se uma atividade rentável.

1.6 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)

Os SFCR's são sistemas construídos no modelo de geração distribuída que operam em paralelo com a rede elétrica. Eles tem por objetivo gerar eletricidade para consumo local, reduzindo ou até eliminando o consumo da rede pública, podendo até mesmo gerar excedente de energia. No Brasil estes sistemas estão regulados desde 2012 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), sendo que a energia gerada é subtraída do consumo medido e, em casos de geração superior, o excedente gerado é fornecido a rede de distribuição e comercializado com a concessionária local em forma de créditos ao consumidor válidos por 60 meses.

A Figura 8 representa um SFCR com contador de energia bidirecional homologado pelas Resoluções 482/12 e 687/15 da ANEEL e pelas Normas Técnicas de Distribuição (NTD) 08 e 09 da Companhia de Eletricidade do Amapá (CEA).

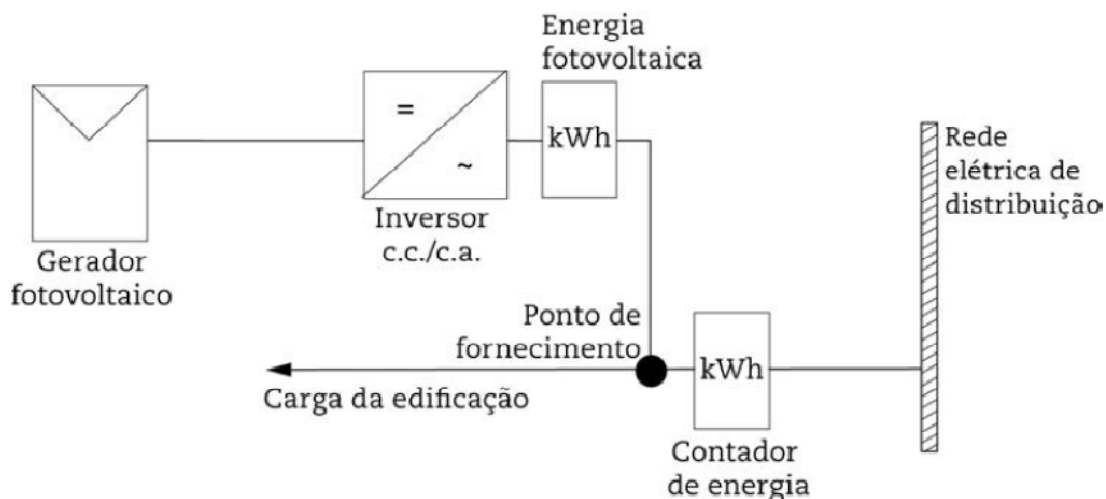
Figura 8 - Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com medidor bidirecional.



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014).

A Figura 9 representa uma variante deste sistema em que é acrescentado um contador de energia na saída do inversor para melhor controle e monitoramento da energia produzida pelo sistema fotovoltaico.

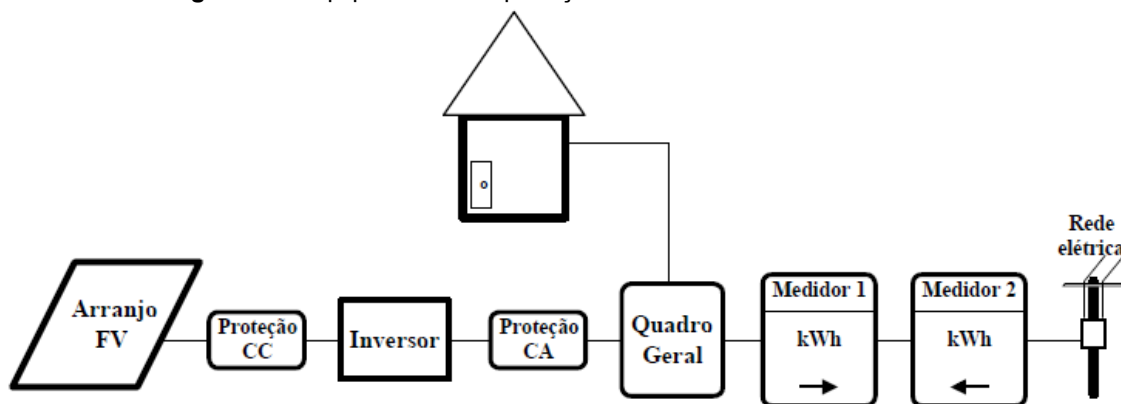
Figura 9 - Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com medidor bidirecional e medidor no gerador fotovoltaico.



Fonte: Zilles et al. (2012).

Conforme verificado na Figura 8 e 9, sistemas fotovoltaicos são sistemas que utilizam inversores, que permitem a conexão entre os geradores fotovoltaicos e a rede elétrica, e medidores bidirecionais, que possibilitam a contagem de créditos para o consumidor. Devido a questões de segurança dos operadores e de projeto utilizam também quadros elétricos e dispositivos de proteção, o que pode ser verificado na figura 10.

Figura 10 - Equipamentos de proteção e manobra utilizados em SFCR.



Fonte: Zilles et al. (2012)

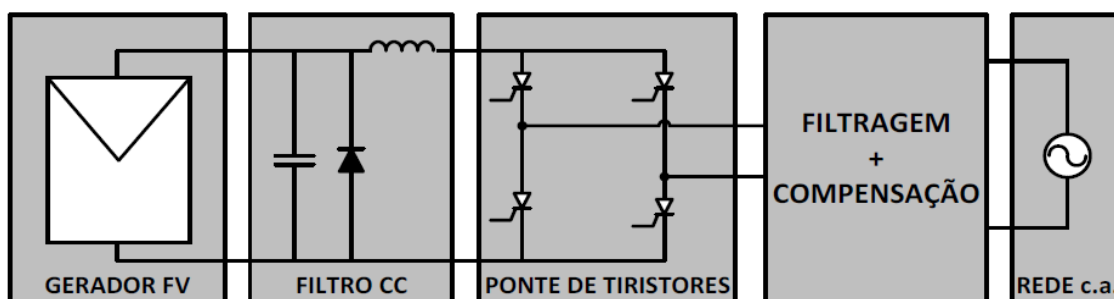
Nos SFCR's o painel fotovoltaico gera eletricidade em corrente contínua e o inversor de frequência converte em corrente alternada e fornece a rede elétrica. Os inversores utilizados em SFCR são diferentes dos inversores em sistemas

autônomos, pois atuam como fontes de corrente e não funcionam quando interrompido o fornecimento de energia elétrica.

Quanto ao tipo de comutação, os inversores podem ser do tipo comutado pela rede elétrica ou autocomutados. Nos inversores comutados pela rede é utilizado a própria tensão da rede para sincronizar a mudança de estado das chaves no processo de conversão, enquanto que no autocomutado, o controle é realizado por um sinal gerado no próprio circuito.

Segundo Neto (2012) o circuito básico de um inversor comutado pela rede é formado por um ponte de tiristores, um filtro do lado CC e um do lado CA. Cada par de tiristores comuta a fonte CC primeiramente em um sentido e depois no outro, com uma velocidade igual à frequência da rede. Como os tiristores podem apenas ser ligados por um sinal, mas não desligados, a tensão da rede é utilizada para desligá-los, polarizando-os reversamente, fazendo com que a corrente reduza até o tiristor comutar para o modo desligado. Este circuito pode ser visualizado na figura 11.

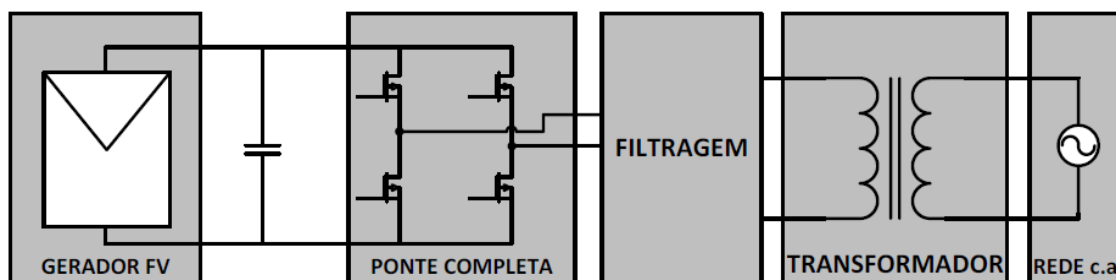
Figura 11 - Circuito básico de um inversor comutado pela rede.



Fonte: Neto (2012)

Os inversores autocomutados realizam a comutação independentemente do sinal da rede. Neto (2012) afirma que estes inversores normalmente utilizam-se de IGBT's ou MOSFET's para comutar o estado ligado ou desligado. O circuito destes inversores pode ser visualizado na figura 12.

Figura 12 - Circuito básico de um inversor autocomutado.



Fonte: Neto (2012)

Antes de realizar o fornecimento o inversor verifica os valores de tensão e frequência para que não haja distorções na rede elétrica. Segundo Neto e Carvalho (2012) o modo de operação de interligação com a rede elétrica exige o uso de circuitos eletrônicos, com as tarefas de proteção do sistema, operação no ponto de potência máxima, conversão da corrente contínua em alternada e limitação do conteúdo de harmônicos.

O fluxo de energia elétrica da edificação é medida por medidores de kWh, que são necessários para contabilizar a energia consumida da rede, a vertida à rede e, em sistemas com mais de um medidor, a gerada pelo SFCR.

Gazolli (2011) considera que o SFCR possui muitas vantagens em relação aos sistemas isolados, entre elas o fato de que o custo é inferior, visto que as baterias correspondem por 30% do custo do sistema completo. Também, afirma que o investimento total do sistema gerador pode ser reduzido, já que a autosuficiência na produção de energia elétrica através dos geradores não é necessária. Além disso, o fato de um SFCR ser conectado diretamente à rede elétrica dispensa a necessidade do uso de armazenadores de energia, desta forma são sistemas mais limpos e uma solução bastante eficiente em termos de eficácia energética e desenvolvimento sustentável.

Outra vantagem a ser destacada é o fato de os módulos fotovoltaicos serem facilmente agregados às edificações atuais. Zilles et al. (2012) afirmam que os módulos fotovoltaicos deixaram de ser simples equipamentos de produção de eletricidade para, ao mesmo tempo, tornarem-se um elemento construtivo da edificação. Eles podem ser incorporados às edificações de formas diversas; podem ser instalados sobre telhados e coberturas ou em fachadas verticais. É possível também utilizá-los como elemento sombreador de janelas, de corredores, de estacionamento de carros, de áreas comuns, etc. Segundo os autores a integração

de um sistema fotovoltaico deve levar em conta o peso adicional de aproximadamente 15kg/m² para os módulos fotovoltaicos e 10kg/m² para as estruturas de fixação.

Desta forma os SFCR's podem ser incorporados aos projetos arquitetônicos para que na implantação da obra não seja afetada a estética da edificação, a paisagem do local e seja preservado o meio ambiente.

Pelo fato deste projeto ser realizado no estado do Amapá, há a possibilidade de os módulos fotovoltaicos serem direcionados para o Norte ou para o Sul geográfico. Nesta pesquisa considerar-se-á que os módulos fotovoltaicos serão direcionados para o Norte geográfico, priorizando espaços que evitem a incidência de sombras no gerador.

Devido nem sempre ser possível esta configuração utilizar-se-á a Tabela 2 no dimensionamento do sistema. Esta tabela contém o fator de correção da irradiação solar que será aplicado ao sistema por causa do desvio da orientação (γ) e da inclinação (β).

Tabela 2 - Fatores de correção da irradiação solar segundo uma inclinação (β) e orientação (γ) para geradores fotovoltaicos localizados na cidade de Macapá.

$\gamma \backslash \beta$	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0°	1,000	0,994	0,966	0,916	0,846	0,760	0,661	0,563	0,478	0,402
±25°	1,000	0,993	0,964	0,915	0,848	0,767	0,676	0,582	0,494	0,417
±50°	1,000	0,993	0,963	0,916	0,855	0,781	0,701	0,619	0,540	0,466
±90°	1,000	0,991	0,962	0,918	0,866	0,803	0,735	0,667	0,595	0,525

Fonte: Zilles et al. (2012)

Deste modo de posse destes dados será possível realizar a modelagem e o dimensionamento do SFCR pretendido para a UNIFAP bem como a previsão da quantidade de energia produzida mensalmente e o retorno financeiro que o sistema poderá proporcionar ao longo do tempo.

1.7 PRINCIPIOS LEGAIS DE IMPLANTAÇÃO DE SFCR'S

Para que seja possível a implantação de um SFCR em qualquer estado do Brasil é necessário que o projetista obedeça aos critérios estabelecidos pela normas técnicas vigentes nas concessionárias de energia locais, essas normas são de

acordo com as Resoluções 482/12 e 687/15 da ANEEL e com o Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST).

Os procedimentos administrativos necessários para implantação do sistema estão estabelecidos nas mesmas normas nacionais e pode-se analisar como exemplo os procedimentos adotados nas Centrais Elétricas do Pará (CELPA) que estão sintetizados no Anexo 01.

A Resolução 482/2012 da ANEEL considera que os SFCR's podem ser classificados em duas categorias:

- Microgeração Distribuída: Central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW.
- Minigeração Distribuída: Central geradora de energia elétrica com potência instalada superior a 75kW e menor ou igual a 3MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5MW para demais fontes renováveis de energia.

Definida a potência da central geradora poder-se-á recorrer às normas técnicas da concessionária local para maiores detalhes técnicos. No caso do estudo em questão recorrer-se-á as NTD's da CEA.

1.7.1 NTD 08 - CEA

A NTD 08 estabelece os critérios para o acesso a Microgeração Distribuída ao Sistema de Distribuição de Baixa Tensão, dentro das condições técnicas e de segurança mínima aceitáveis.

São apresentados os procedimentos de acesso, padrões de projeto, critérios técnicos e operacionais e o relacionamento operacional envolvidos na conexão de microgeração, de consumidores atendidos em baixa tensão, que utiliza fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada conforme regulamentação da ANEEL. (NTD 08 CEA, 2013).

O fornecimento de energia elétrica em baixa tensão (BT) é limitado na potência de geração de 75kW, sendo que para valores maiores é necessário o fornecimento em média tensão. O padrão de ligação adotado para SFCR nesta faixa de potência é mostrado no Anexo 02.

1.7.2 NTD 09 - CEA

A NTD 09 é uma norma local que atende às Resoluções Normativas 482/12 da ANEEL e estabelece os critérios para o acesso de Minigeração Distribuída ao sistema de distribuição de Média Tensão, nas tensões nominais de 13,8 kV e 34,5 kV, da Companhia de Eletricidade do Amapá, dentro de condições técnicas e de segurança mínimas aceitáveis.

São apresentados os procedimentos de acesso, padrões de projeto, critérios técnicos e operacionais e o Acordo Operativo envolvidos na conexão de minigeração, de unidades consumidoras atendidas em média tensão, com potência instalada acima de 75 kW até 1000 kW, que utiliza fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada conforme regulamentação da ANEEL. (NTD 09 CEA, 2013).

O padrão de ligação adotado para SFCR's de potência até 300kW é mostrado no Anexo 03.

Nesta faixa de potência, de acordo com o tópico 3.2.1. *Conexão de geradores para faixa de potência instalada acima de 75 kW até 300 kW e medição na baixa tensão*, o sistema de medição ocorre por medição indireta na baixa tensão em quatro quadrantes, com medição distinta da energia ativa e reativa consumidas e injetadas na rede. As características técnicas do medidor bidirecional a ser utilizado encontram-se descritas no quadro do Anexo 04.

Demais parâmetros técnicos serão abordados após a definição do sistema a ser projetado.

1.7.3 Módulo 3 - PRODIST

O módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição do PRODIST, revisão 6, vigente desde 01/03/2016, tem por objetivo estabelecer as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, ao sistema de distribuição, não abrangendo as Demais Instalações de Transmissão – DIT, e definir os critérios técnicos e operacionais, os requisitos de projeto, as informações, os dados e a implementação da conexão, aplicando-se aos novos acessantes bem como aos existentes.

Na seção 3.3 - *Requisitos de Projeto*, no tópico 5.1.1. são estabelecidos os níveis de tensão de conexão de centrais geradoras, estes dados estão dispostos no Quadro 1.

Quadro 1 - Níveis de tensão considerados para conexão de centrais geradoras.

Potência Instalada	Nível de Tensão de Conexão
< 10 kW	Baixa Tensão (monofásico)
10 a 75 kW	Baixa Tensão (trifásico)
76 a 150 kW	Baixa Tensão (trifásico) / Média Tensão
151 a 500 kW	Baixa Tensão (trifásico) / Média Tensão
501 kW a 10 MW	Média Tensão / Alta Tensão
11 a 30 MW	Média Tensão / Alta Tensão
> 30 MW	Alta Tensão

Fonte: Módulo 3 - PRODIST (2016)

Verificando-se a data de elaboração do Módulo 3 do PRODIST e das normas técnicas da CEA, percebe-se que o Módulo 3 teve atualizações as quais ainda não foram incorporadas às NTD-08 e NTD-09 da CEA, o que inclui o limite de potência instalada para cada nível de tensão. Dada a divergência de valores, será adotado como referência para este estudo os limites de potência estabelecidos pelo Módulo 3 do PRODIST.

1.8 REQUISITOS DE INSTALAÇÃO E SEGURANÇA

O módulo 3 - PRODIST, seção 3.7 - *Acesso de Micro e Minigeração Distribuída*, determina as proteções mínimas necessárias para o ponto de conexão da central geradora, conforme verificado no Anexo 05.

Na seção 3.3 - *Requisitos de Projeto*, tópico 5.2.4. fica definido que os relés de subfrequência/sobrefrequência devem ser ajustados de acordo com a parametrização sugerida pela concessionária de energia.

No tópico 5.4.1. fica estabelecido que o disjuntor ou religador na saída da subestação da acessada do circuito alimentador, no qual se estabelece o paralelismo do acessante, deve ser dotado de comando de abertura por relés que detectem faltas entre fases e entre fase e terra na linha de distribuição.

No tópico 5.4.5. fica definido que os relés de proteção da interligação devem operar nas condições anormais de: sobretensão e subtensão; sobrecorrentes de fase e de neutro; sobrefrequência e subfrequência.

E na seção 3.7, tópico 4.4., descreve-se que nos sistemas que se conectam à rede através de inversores, os quais devem estar instalados em locais apropriados de fácil acesso, as proteções relacionadas no Quadro 2 podem estar inseridas nos referidos equipamentos, sendo a redundância de proteções desnecessária para microgeração distribuída.

Deste modo, verificando-se as normas da concessionária local, encontra-se os requisitos de proteção exigidos para sistemas de baixa tensão com limite de potência de 75kW, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Requisitos de Proteção de Microgeração.

Requisitos de Proteção - Potência até 75 kW
Elemento de Desconexão - DSV
Elemento de interrupção automático acionado por proteção
Proteção de sub e sobretensão
Proteção de sub e sobrefrequência
Proteção de sobrecorrente
Relé de sincronismo
Anti-ilhamento
Proteção de injeção de componente c.c. na rede elétrica

Fonte: NTD 08 - CEA (2013).

Em sistemas de baixa tensão o fornecimento de Microgeração Distribuída é efetivado no ponto de conexão da unidade consumidora, a interligação é realizada com inversor com tecnologia de conexão à rede, este deve possuir o registro do INMETRO, ser homologado na CEA e possuir no mínimo as seguintes funções de proteção: 27/59; 81U/O, 25, 78, 81 df/dt. O esquema de ligação dos componentes assemelha-se com os diagramas de SFCR, mas com o acréscimo do dispositivo de seccionamento visível (DSV), dos dispositivos de seccionamento, disjuntores, dispositivos de proteção contra surto - DPS e sistema de aterramento.

Em sistemas de média tensão o fornecimento é realizado nas tensões nominais de 13,8kV e 34,5 kV, assim acrescenta-se um transformador seccionado por uma chave fusível. O inversor utilizado no sistema deve possuir o registro do INMETRO, ser homologado na CEA e possuir no mínimo as seguintes funções de proteção: 27/59, 50/51, 81U/O, 25, 62, 78, 81 df/dt. Os requisitos de proteção exigidos para sistemas de baixa tensão com limite de potência de 300kW podem ser verificados no Quadro 3.

Quadro 3 - Requisitos de Proteção de Minigeração.

Requisitos de Proteção - Potência até 300 kW
Elemento de Desconexão - DSV
Elemento de interrupção automático acionado por proteção
Proteção de sub e sobretensão (27/59)
Proteção de sub e sobrefrequência (81U/O)
Proteção de sobrecorrente (50/51)
Relé de sincronismo (25)
Anti-ilhamento
Proteção de injeção de componente c.c. na rede elétrica

Fonte: NTD 09 - CEA (2013).

A descrição das funções de proteção pode ser visualizada no Quadro 4.

Quadro 4 - Descrição das funções de proteção.

Nº do Relé	Função	Nº do Relé	Função
25	Relé de Sincronismo	67	Proteção de sobrecorrente direcional
27	Proteção de subtensão	67N	Proteção de sobrecorrente direcional no neutro
50/51	Proteção de sobrecorrente	78	Proteção Anti-ilhamento
50/51N	Proteção de sobrecorrente no neutro	81U	Proteção de subfrequência
59	Proteção de sobretensão	81O	Proteção de sobrefrequência
62	Relé de tempo p/ conexão	-	-

Fonte: NTD 09 - CEA (2013).

1.8.1 Dispositivo de Seccionamento Visível (DSV)

É o dispositivo pelo qual a concessionária realiza a desconexão da microgeração ou minigeração para realizar manutenção em seu sistema.

O DSV deve ser de fácil acesso pela Companhia de Eletricidade do Amapá. O Acessante deverá instalá-lo junto ao padrão de entrada, no limite da via pública com o imóvel, tendo sua face frontal (e a tampa frontal da caixa que o abriga, se houver) voltada para a via pública, podendo ser fixado em mureta, parede ou poste auxiliar, o mais próximo possível da caixa que abriga o medidor da unidade consumidora. (NTD 08 CEA, 2013).

1.8.2 Dispositivos de Proteção contra Surto (DPS)

O DPS é um dispositivo utilizado para prevenir danos em equipamentos eletroeletrônicos, devido a surtos de tensão causados por descargas atmosféricas ou por manobras nos próprios circuitos elétricos. Sua utilização complementa a proteção interna de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e foi normatizada no Brasil pela Norma Brasileira (NBR) 5410/2004.

A impedância interna de seus terminais diminui com o aumento de tensão, o que permite o desvio da corrente de surto para o sistema de aterramento e evita uma sobretensão nos equipamentos elétricos. São divididos em três classes:

Classe I: Indicado para locais sujeitos a descargas diretas, como por exemplo na rede de distribuição ou sistema de aterramento. Classe II: Indicado para locais, sujeitos a surtos provenientes da linha externa, como por exemplo os quadros de distribuição e Classe III: Indicado para equipamentos com maior sensibilidade a variação de tensão.

1.8.3 Parametrização dos Equipamentos de Proteção

As funções devem estar parametrizadas de acordo as funções de proteção da rede local. O Quadro 5 apresenta a parametrização recomendada pela CEA para sistemas de Microgeração e o Quadro 6 apresenta a parametrização recomendada para sistemas de Minigeração.

Quadro 5 - Ajustes Recomendados das Proteções de Microgeração pela CEA.

Requisito de Proteção para Potência ≤ 75 kW	Ajustes	Tempo máximo de atuação
Proteção de subtensão (27)	0,8 p.u.	0,4s
Proteção de sobretensão (59)	1,1 p.u.	0,2s
Proteção de subfrequência (81U)	59,5 Hz; 57,5Hz	0,2s
Proteção de sobrefrequência (81O)	60,5 Hz; $62 > F > 60,5$ Hz; 62Hz	0,2s
Proteção de sobrecorrente (50/51)	Conforme projeto ou parecer de acesso	
Relé de sincronismo (25)	10 % tensão; 0,3Hz	Não Aplicável
Proteção de injeção de componente c.c. (lcc) na rede elétrica (sistemas de microgeração com inversores sem transformador para separação galvânica)	Se $lcc > 0,5 \cdot I_n$	1s

(continua)

Requisito de Proteção para Potência ≤ 75 kW	Ajustes	Tempo máximo de atuação
Anti-ilhamento		Após perda da rede, 2s para desconexão. Após normalização da rede, de 180s para reconexão.

Fonte: Adaptado de (NTD 08 - CEA, 2013).

Quadro 6 - Ajustes Recomendados das Proteções de Minigeração pela CEA.

Requisito de Proteção para Potência ≤ 300 kW	Ajustes	Tempo máximo de atuação
Proteção de subtensão	0,8 p.u.	0,4s
Proteção de sobretensão (59)	1,1 p.u.	0,2s
Proteção de subfrequência (81U)	59,5 Hz; 57,5Hz	0,2s
Proteção de sobrefrequência (81O)	60,5 Hz; 62Hz	0,2s
Proteção de sobrecorrente (50/51)	Conforme projeto ou parecer de acesso	
Relé de sincronismo (25)	Defas. 10°; Dif. tensão 10%; Dif. freq. 0,3 Hz	Não Aplicável
Proteção de injeção de componente c.c. (lcc) na rede elétrica (sistemas de microgeração com inversores sem transformador para separação galvânica)	Se lcc > 0,5.In	1s
Anti-ilhamento		Após perda da rede, 2s para desconexão. Após normalização da rede, de 180s para reconexão.

Fonte: Adaptado de (NTD 09 - CEA, 2013).

1.8.4 Funcionamento da segurança

De acordo com as normas locais, após o sistema instalado e devidamente configurado, ele deve apresentar as seguintes funcionalidades de segurança:

- Desconexão automática do sistema de geração devido a variações de tensão e frequência.
- Prevenção contra ilhamento, detectando a desconexão do sistema de distribuição e cessando a geração própria.

- Após uma desconexão o sistema deve aguardar o período de 3 minutos após a normalização das condições nominais de tensão e frequência da rede.
- O sistema de micro e minigeração distribuída deverá estar conectado ao sistema de aterramento da unidade consumidora. O aterramento deverá estar presente em todas as partes metálicas do sistema.
- Proteção contra curto circuitos, limitando ou cessando o fornecimento de energia, através de disjuntores termomagnéticos ou relés com disjuntores afim de cessar sobrecorrentes.
- Seccionamento e isolamento do sistema de microgeração distribuída por chave DSV.
- Suportar religamento automático fora de fase, até mesmo em casos de oposição de fase, com o tempo variando entre 0,3 a 20 segundos.
- Junto ao padrão de entrada de energia deverá ser instalada uma placa de advertência com a frase "RISCO ELÉTRICO - GERAÇÃO PRÓPRIA".

CAPÍTULO 2 - ESTUDO DE CASO DO CAMPUS MARCO ZERO DA UNIFAP

A implantação de SFCR na UNIFAP requer exemplos de iniciativas semelhantes na administração pública, incentivos financeiros e análise prévia de viabilidade técnica e econômica. Neste estudo serão considerados, como fatores motivadores, as ações adotadas por outras instituições, o Plano de Logística Sustentável da UNIFAP - 2014, os Relatórios de Gestão UNIFAP 2013 e 2014 e a proposta elaborada pelo colegiado de Ciências Ambientais de práticas sustentáveis. Como incentivo financeiro será considerado o sistema de compensação de energia elétrica estabelecido pelas Resoluções 482/2012 e 687/2015 da ANEEL.

2.1 EXEMPLOS DE INICIATIVAS DE SUSTENTABILIDADE NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA

Desde 2012 toda instituição da administração pública federal direta, autárquica e fundacional e empresa estatal que deseja investir em sustentabilidade deve prever esta ação em seu Plano de Logística Sustentável. Desta forma analisa-se alguns planos vigentes para verificar a situação nacional de sustentabilidade aplicada aos SFCR's.

- Plano de Logística Sustentável do Ministério do Meio Ambiente e do Serviço Florestal Brasileiro (PLS - MMA) - 2013: Tem como um dos objetivos estudar a viabilidade de energia solar no prédio da instituição.
- Plano de Logística Sustentável da Universidade Federal do Ceará (PLS - UFC) - 2013: Tem como um dos objetivos desenvolver projetos que utilizem energias renováveis.
- Plano de Gestão de Logística Sustentável da Universidade Federal de Goiás (PLS - UFG) - 2013: Tem como um dos objetivos estudar investimentos em construção de usina fotovoltaica e implantação de usina de cogeração, como alternativas de longo prazo para autonomia energética da instituição.
- Plano de Logística Sustentável da Universidade Federal de Roraima (PLS - UFRR) - 2013: Objetiva construções de novos prédios com critérios de sustentabilidade, com arquitetura que valorize a iluminação e ventilação natural com possibilidade do uso de energia renovável. E também o estudo

de viabilidade para geração de energia alternativa nos três Campi da Instituição, com possibilidade de utilização da energia renovável para iluminação de prédios, jardins, praças e vias públicas.

- Plano de Gestão de Logística Sustentável da Universidade Federal do Pará (PLS - UFPA) - 2013: Tem como um dos objetivos a instalação de células fotovoltaicas para geração de energia elétrica visando a redução do consumo de energia nos prédios das Unidades da UFPA.

2.1.1 Relatórios de Gestão do Exercício UNIFAP 2013 e 2014

Os Relatórios de Gestão foram elaborados pela Pró Reitoria de Planejamento (PROPLAN), através dos Departamento de Informações Institucionais e Estatísticas (DEINFES), Departamento de Planejamento (DEPLAN) e Departamento de Avaliação Institucional (DEAVI).

No exercício de 2013 houve diversas atividades, dentre as quais destacam-se, para este estudo, a assinatura do Termo de Adesão ao "Projeto Esplanada Sustentável", a elaboração do projeto intitulado "*Projeto de Desenvolvimento de Ações de Sustentabilidade e Racionalização dos Gastos*", visando desenvolver práticas de sustentabilidade no âmbito da Instituição e a realização de avaliação interna na instituição.

A avaliação interna consistiu em uma série de perguntas, utilizando como critério notas de 1 à 5, sobre diversos temas referentes a instituição. O tópico 9 - "*A unidade possui plano de gestão de logística sustentável de que trata o art. 16 do Decreto 7.746/2012*" recebeu nota 4.

O tópico 11 - "*Os projetos básicos ou executivos, na contratação de obras e serviços de engenharia, possuem exigências que levem à economia da manutenção e operacionalização da edificação, à redução do consumo de energia e água e à utilização de tecnologias e materiais que reduzam o impacto ambiental*" a nota obtida foi 3.

No exercício 2014 o relatório afirmou, referente a gestão de recursos renováveis e sustentabilidade ambiental, que a UNIFAP ainda não divulga no site da instituição o seu Projeto de Logística Sustentável e os resultados alcançados a partir da implementação do mesmo, mas que, em contrapartida, considera que vem

construindo a política de sustentabilidade conforme estabelecido no Decreto 7.746/12 e investe na infraestrutura da energia, que garantirá melhor eficiência e economia.

Desta forma pode-se verificar o comprometimento da instituição com a sustentabilidade e o reconhecimento da necessidade de aperfeiçoamento de seu processo de desenvolvimento sustentável.

2.1.2 Projeto de Desenvolvimento de Ações de Sustentabilidade e Racionalização de Gastos UNIFAP - 2014

Em sua ultima versão o projeto ainda não contemplou medidas para aquisição de tecnologia para implantação de geração distribuída por meio de SFCR's. Dada a legislação vigente, os benefícios deste sistema e o compromisso assumido nos relatórios de gestão, esta realidade enfatiza a importância do estudo em questão e possibilita a implantação deste projeto.

2.1.3 Proposta de Resolução de Acadêmicos do Curso de Ciências Ambientais da UNIFAP - 2015

O trabalho intitulado "A Sustentabilidade e a Organização de Eventos na Universidade Federal do Amapá – UNIFAP" (2015) sugere uma série de medidas para o desenvolvimento sustentável, mas não houve a contemplação de geração distribuída por meio de SFCR's.

2.2 INCENTIVOS FINANCEIROS PARA IMPLANTAÇÃO DE SFCR

Um dos principais fatores que motivam este estudo trata-se da economia financeira proporcionada pelo fornecimento de energia do SFCR, a economia é realizada pelo sistema de créditos presente no sistema de compensação de energia. Este sistema é regulamentado no Brasil pelas Resoluções Normativas nº 482/2012 e nº 687/2015 da ANEEL.

2.2.1 Resoluções Normativas nº 482/2012 e nº 687/2015 da ANEEL

Publicada em 17 de abril de 2012, a resolução normativa nº 482 da ANEEL estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

Publicada em 25 de novembro de 2015, a resolução normativa nº 687 da ANEEL altera a Resolução Normativa nº 482 e os Módulos 1 e 3 do PRODIST.

A compensação de energia elétrica ocorre conforme inciso II e IV do artigo 7º da resolução nº 482, com redação dada pela resolução nº 687 da ANEEL.

II – para o caso de unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, exceto para aquelas de que trata o inciso II do art. 6º, o faturamento deve considerar a energia consumida, deduzidos a energia injetada e eventual crédito de energia acumulado em ciclos de faturamentos anteriores, por posto tarifário, quando for o caso, sobre os quais deverão incidir todas as componentes da tarifa em R\$/MWh. (Resolução 482 ANEEL, 2012).

IV – o excedente de energia é a diferença positiva entre a energia injetada e a consumida, exceto para o caso de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, em que o excedente é igual à energia injetada. (Resolução 482 ANEEL, 2012).

2.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA

O estudo de viabilidade técnica caracterizar-se-á pelo levantamento do potencial solar disponível no local da instalação, levantamento das áreas aproveitáveis para implantação de Geração Distribuída; análise do posicionamento e parâmetros da rede elétrica do Campus Marco Zero e escolha de local favorável para realização de projeto piloto do sistema.

2.3.1 Avaliação do recurso solar do Amapá

Os dados de radiação solar podem ser obtidos por diversas técnicas e equipamentos amplamente difundidos no mercado, sendo o mais comum o piranômetro. Por conseguinte, Reis e Santos (2014) afirmam ser conveniente que as estimativas e previsões do recurso solar sejam baseadas em informações solarimétricas levantadas durante prolongados períodos.

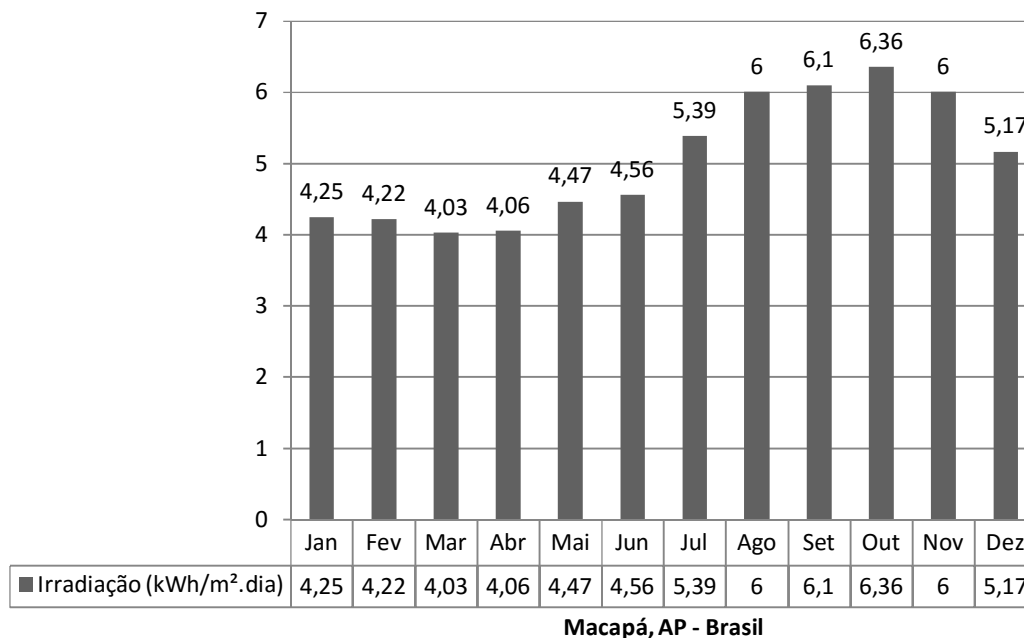
As estimativas solarimétricas podem ser obtidas em atlas solarimétricos e *softwares* específicos disponibilizados por diversas fontes. Geralmente a radiação solar é coletada ao longo de um dia, sendo esse parâmetro uma média levantada ao longo de muitos anos. Para este trabalho serão considerados os dados disponibilizados no *software* SunData, desenvolvido pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB) em parceria com diversas instituições de ensino e pesquisa do país.

Realizando-se levantamentos de campo com dispositivo GPS constata-se que as coordenadas geográficas da UNIFAP são:

- Latitude: 0,006623° Sul;
- Longitude: 51,083362° Oeste.

Aplicando estes dados ao *software* SunData verifica-se, no banco de dados, as médias de irradiação na cidade de Macapá em todos os meses do ano conforme Figura 13.

Figura 13 - Irradiação diária média mensal [kWh/m².dia].



Fonte: Adaptado de (*Software* SunData - CRESESB, 2016).

Deste modo, conforme os valores fornecidos na Figura 13, pode-se verificar que a irradiação mínima é de 4,03 kWh/m².dia, a irradiação máxima é de 6,36

kWh/m².dia e calcular que a irradiação média da cidade de Macapá é de 5,05 kWh/m².dia.

2.3.2 Avaliação Geográfica do Campus Marco Zero

Analisando-se o Relatório Parcial de Autoavaliação Institucional UNIFAP 2014 realizado pela Comissão Própria de Avaliação (CPA) verifica-se que o Campus Marco Zero do Equador da UNIFAP possui uma área de 912.527,00m² dos quais 31.623,40m² são edificadas. Pelo Relatório de Autoavaliação Institucional UNIFAP 2013 verifica-se que as edificações presentes se dividem em dois grupos principais:

- Unidades Administrativas e Acadêmicas: Reitoria, Pró-Reitoria de Administração, Planejamento, Graduação, Pós-Graduação, Extensão e Assuntos Comunitários, Cooperação e Relações Interinstitucional e Gestão de Pessoas; Assessoria Especial de Engenharia e Arquitetura, Departamento de Processo Seletivo, Biblioteca Central, Auditório Multiuso, Almoxarifado, Unidade Básica de Saúde, Juizado Especial, Centro de Lazer e Vivência, Quadra de Esportes e Piscina.
- Blocos de Salas de aula, Laboratórios e Coordenações: Curso de Letras, Artes, Pedagogia, Ciências Biológicas, História, Geografia, Matemática, Física, Educação Física, Secretariado Executivo, Enfermagem, Ciências Sociais, Direito, Ciências Ambientais, Ciências Farmacêuticas, Relações Internacionais, Jornalismo, Engenharia Elétrica e Medicina.

A planta baixa da instituição, obtida na Prefeitura do Campus, ilustra as edificações presentes na UNIFAP, conforme verifica-se no Anexo 06.

Em instalações fotovoltaicas é importante que a orientação do módulo esteja voltada para o Norte ou para o Sul Geográfico, o que é definido pela localização da instalação no hemisfério terrestre. Como o Estado do Amapá, devido à fatores geográficos, possibilita as duas configurações, serão considerados para análise as áreas de edificações com os telhados alinhados para o Norte ou Sul Geográfico, afim de que seja obtida a maior otimização do sistema. Do restante da área disponível serão consideradas para a análise apenas as áreas de estacionamento que possibilitem a orientação adequada dos módulos, em virtude de se priorizar a

não utilização de áreas que poderiam ser utilizadas para outros fins e por conseguinte a não geração de impacto ambiental. O resultado desta análise pode ser verificado na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise de Edificações aptas para implantação de SFCR.

Edificações Aptas para implantação de SFCR			
Prédio	Comprimento (m)	Largura (m)	Área aproximada (m²)
Almoxarifado	10	24,1	241,00
Biblioteca - área 1	19	45,2	858,80
Biblioteca - área 2	14	22,3	312,20
Biblioteca - área 3	17	22,7	385,90
Bloco A	8,15	36,15	294,62
Bloco B	8,15	36,15	294,62
Bloco C	8,15	36,15	294,62
Bloco D	8,15	36,15	294,62
Bloco das Coordenações	12,15	30,45	369,97
Bloco de C. Ambientais	8,2	75,35	617,87
Bloco de Eng. Elétrica	22,15	55,25	1.223,79
Bloco de Física 1	8,2	32,15	263,63
Bloco de Física 2	8,2	56,3	461,66
Bloco de Letras e Artes	22,15	48	1.063,20
Bloco E	8,15	36,15	294,62
Casa do Estudante - área 1	8,45	55	464,75
Casa do Estudante - área 2	10,25	19,85	203,46
Centro de Vivência	20	20	400,00
DEPSEC	11,15	28,15	313,87
Estacionamento R.U - área 1	35	5	175,00
Estacionamento R.U - área 2	37,5	5	187,50
Estacionamento R.U - área 3	45	5	225,00
Estacionamento Reitoria - área 1	40,75	12,55	511,41
Estacionamento Reitoria - área 2	40,75	12,55	511,41
Estacionamento Reitoria - área 3	40,75	12,55	511,41
Gestão de Pessoas	12,15	42,15	512,12
Novo DERCA	22,15	48,1	1.065,42
NTI	9,25	37,9	350,58
Patrimônio	18,3	24,2	442,86
Reitoria - área 1	9,65	36,15	348,85
Reitoria - área 2	9,65	36,15	348,85
Restaurante Universitário	33,15	35,15	1.165,22
TOTAL (m²)			15.008,84

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A medição efetuada nos blocos foi realizada considerando-se as dimensões externas de suas paredes, por isso pode-se apresentar pequena variação

comparada a efetiva área dos telhados, porém esta variação pode ser considerada desprezível neste estudo por se tratar apenas de um levantamento geral.

Os blocos que foram divididos por áreas tratam-se daqueles onde, por detalhes arquitetônicos, não foi possível obter uma área única na medição, portanto a área do conjunto pode ser obtida através do somatório das sub-áreas.

As áreas calculadas são as áreas efetivamente edificadas, portanto foram desconsiderados para este estudo passarelas, varandas, jardins, calçadas, marquises e outras estruturas arquitetônicas.

2.3.3 Avaliação das instalações elétricas do Campus Marco Zero

Os dados de fornecimento de energia elétrica por parte da CEA podem ser encontrados na fatura de energia do Campus Marco Zero, conforme verifica-se no Anexo 07.

De acordo com a fatura de energia, a UNIFAP é uma unidade consumidora atendida na tensão de 13,8kV, com Demanda Contratada de 1000kW e consumo médio mensal de 271.292kWh.

Para que o sistema de energia da UNIFAP seja conectado ao sistema de Distribuição da CEA é necessário que o ramal de entrada e o sistema de medição estejam de acordo com a NTD 02 - Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária. Deste modo, realizou-se uma visita técnica ao Campus e verificou-se que a UNIFAP utiliza ramal de entrada aéreo e medição em tensão primária. Os desenhos referentes a ligação do sistema estão expostos no Anexo 08.

Dado o fato de a UNIFAP possuir uma única unidade consumidora e diversas cargas de valores expressivo espalhadas ao longo do campus, a solução adotada pela instituição foi fazer uma rede composta de linhas de média tensão, transformadores e linhas de baixa tensão percorrendo o interior do campus. Os desenhos da rede de distribuição da universidade estão presentes no Anexo 09.

Analisando-se a planta baixa da rede de distribuição foi possível obter a localização dos transformadores e subestações próximas das edificações selecionadas para implantação de SFCR's. Estes dados estão disponíveis na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise de Transformadores e Subestações próximas às edificações selecionadas.

Edificações Aptas para implantação de SFCR		
Prédio	Área aproximada (m²)	Transformador/Subestação próxima (kVA)
Almoxarifado	241,00	150
Bloco de Eng. Elétrica	1.223,79	
Bloco de Letras e Artes	1.063,20	
Biblioteca - área 1	858,80	150
Biblioteca - área 2	312,20	
Biblioteca - área 3	385,90	
Bloco A	294,62	75
Bloco B	294,62	
Bloco C	294,62	
Bloco D	294,62	
Bloco E	294,62	
Bloco das Coordenações	369,97	75
Bloco de C. Ambientais	617,87	45
Bloco de Física 1	263,63	45
Bloco de Física 2	461,66	112,5
Casa do Estudante - área 1	464,75	75
Casa do Estudante - área 2	203,46	
Centro de Vivência	400,00	2X225 (ramal de saída subterrâneo)
Gestão de Pessoas	512,12	
Reitoria - área 1	348,85	
Reitoria - área 2	348,85	
DEPSEC	313,87	45
Estacionamento R.U - área 1	175,00	-
Estacionamento R.U - área 2	187,50	
Estacionamento R.U - área 3	225,00	
Estacionamento Reitoria - área 1	511,41	-
Estacionamento Reitoria - área 2	511,41	
Estacionamento Reitoria - área 3	511,41	
Novo DERCA	1,065,42	112,5
NTI	350,58	45
Patrimônio	442,86	75
Restaurante Universitário	1.165,22	75
TOTAL (m²)	15.008,84	Não se aplica

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

As instalações das subestações e dos postes seguem os padrões descritos pela *NTD 02 - Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária* da CEA e *NTD 05 - Montagem de Redes de Distribuição Aérea Urbana 13,8 e 34,5kV*, deste modo não será realizado um detalhamento dessas estruturas neste estudo.

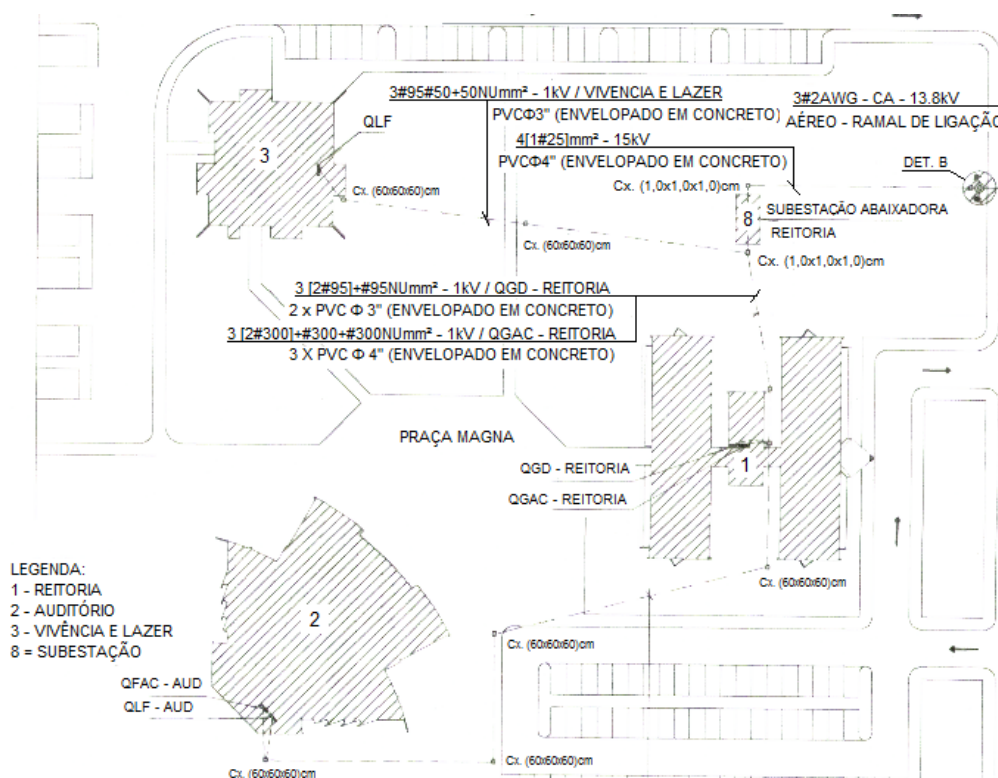
2.3.4 Escolha do local para implantação do Projeto Piloto

Os critérios adotados para obtenção do local de implantação do Projeto Piloto serão os seguintes:

- Maior visibilidade do projeto por parte da comunidade acadêmica e não acadêmica da UNIFAP.
- Geração Distribuída Fotovoltaica próxima do ponto de maior consumo.

Deste modo, analisando-se a Planta Baixa do Campus no Anexo 06 e os dados elétricos da rede de distribuição no Anexo 09, verifica-se que o Estacionamento da Reitoria está localizado após o portão de entrada do Campus Marco Zero e as instalações elétricas dos prédios ao redor são subterrâneas, o que torna este local visível a todos que frequentarem a instituição e, tendo em vista que estas instalações não ocorrem nos demais prédios existentes, isto possibilita a maior visibilidade do projeto. O projeto elétrico da subestação da reitoria pode ser verificado na Figura 14.

Figura 14 - Projeto da subestação com linhas subterrâneas da Reitoria

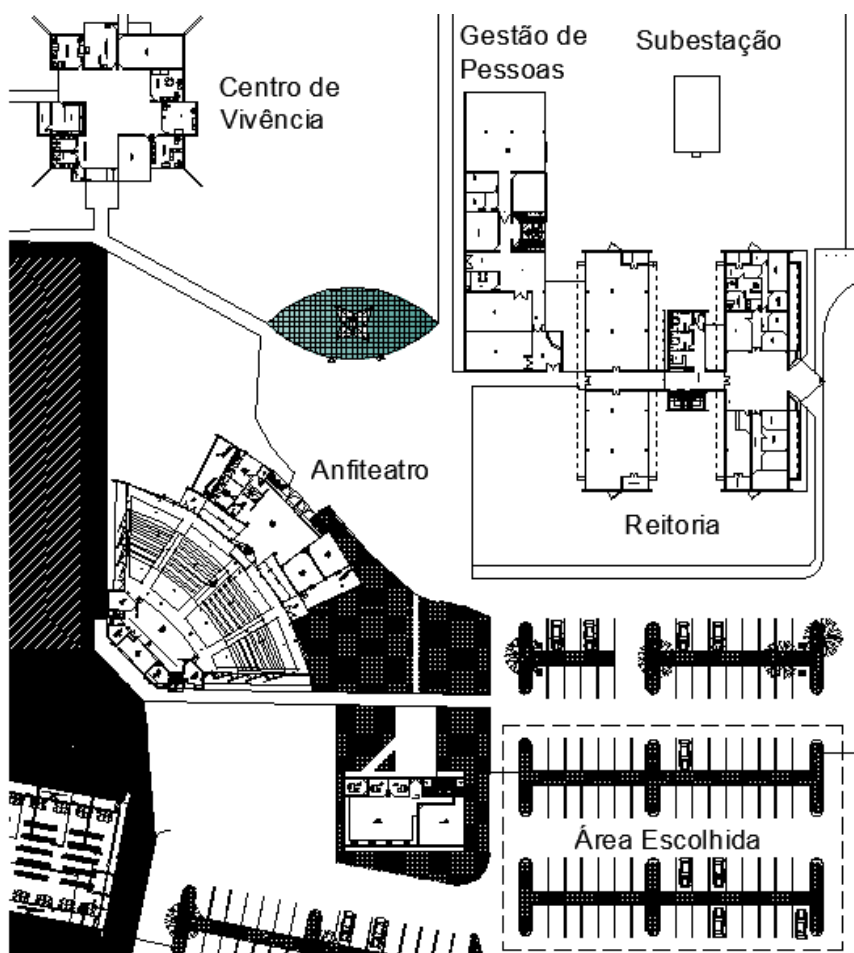


Fonte: Adaptado de (Projeto Elétrico Subestação Abaixadora da Reitoria, EL-03/03 - Prefeitura do Campus, 2016).

Além disso o Prédio da Reitoria, Gestão de Pessoas, Centro de Vivência e Auditório representam o ponto de maior carga concentrada no Campus Marco Zero, tal fato pode ser verificado analisando-se a previsão de demanda total no dimensionamento da Subestação Abaixadora da Reitoria, conforme Anexo 10, e comparando com a Tabela 4.

Desta forma, o local de implantação do Projeto Piloto será o Estacionamento da Reitoria, do qual especificações podem ser visualizadas na Figura 15.

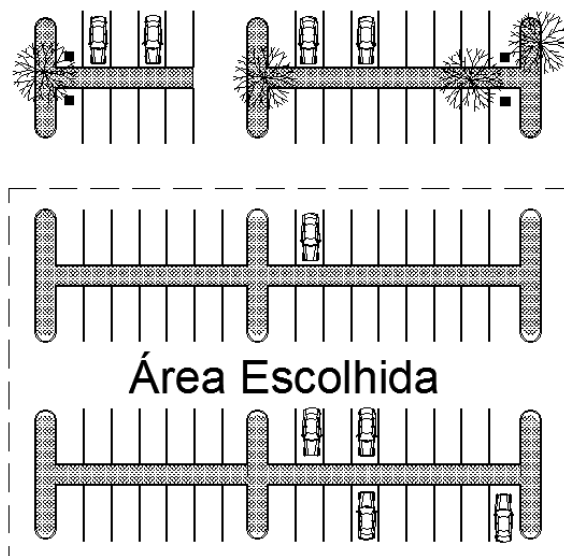
Figura 15 - Especificações em Planta Baixa do local adotado.



Fonte: Adaptado de (Prefeitura do Campus, 2016).

Uma vista ampliada em planta baixa do estacionamento pode ser observada na Figura 16.

Figura 16 - Vista ampliada em Planta Baixa do Estacionamento da Reitoria.



Fonte: Adaptado de (Prefeitura do Campus, 2016).

Sendo que será desconsiderada a área arborizada e, portanto, utilizadas as duas áreas de estacionamento subjacentes. Realizando-se a soma destas áreas, conforme valores da Tabela 3, verifica-se que a área disponível para implantação do sistema é de 1.022,82m².

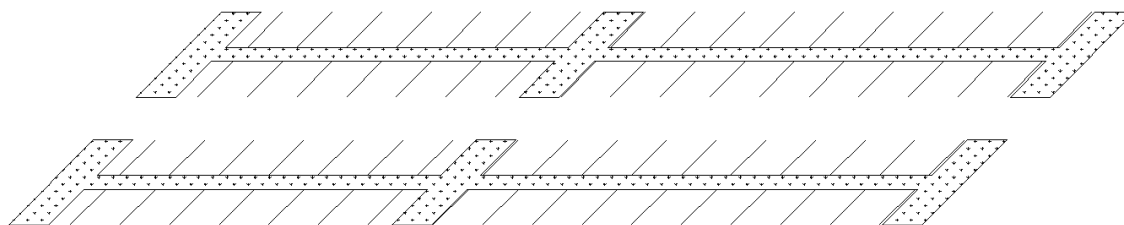
2.4 ELABORAÇÃO DE PROJETO PILOTO

A elaboração do projeto piloto do SFCR da UNIFAP consistirá em analisar a área de implantação do projeto, a potência do sistema de Geração Distribuída, os equipamentos necessários e ao final será realizado o dimensionamento do sistema.

2.4.1 Área de Implantação do Projeto

Para descobrir-se a área de implantação do projeto é necessário que se faça uma correção no valor da área disponível afim de que seja equivalente à área ocupada pelos módulos fotovoltaicos. O estacionamento pode ser visto conforme projeção realizada em perspectiva cavaleira na Figura 17.

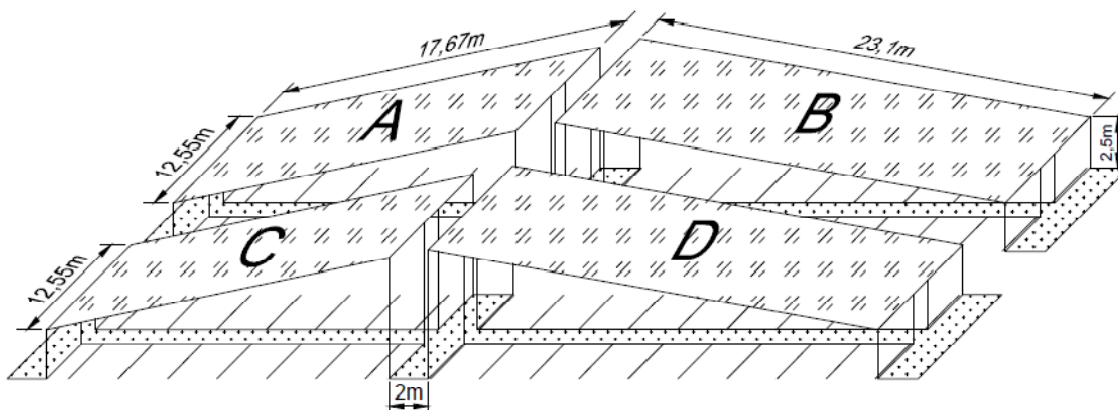
Figura 17 - Estacionamento da Reitoria em Perspectiva Cavaleira.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Para projeção dos módulos, o estacionamento será dividido nos conjuntos A, B, C e D. A inclinação adotada nos lados B e D será de 10° , que corresponde à inclinação mínima exigida para módulos fotovoltaicos no Estado do Amapá, e o pé direito será de 2,5 metros, que é a altura mínima exigida pelos padrões arquitetônicos para estacionamentos. A inclinação para os lados A e C será de 12° , que é a inclinação necessária para igualar a altura de todos os conjuntos e o pé direito será o mesmo dos conjuntos B e D. A projeção com a disposição dos módulos fotovoltaicos no estacionamento pode ser verificada na Figura 18.

Figura 18 - Projeção da implantação dos módulos fotovoltaicos em Perspectiva Cavaleira.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

O fato das estruturas A e C estarem inclinadas 2° acima das estruturas B e D não interfere de forma significativa no sistema, o que torna essa configuração aceitável. A partir da Figura 18 verifica-se que, em cada conjunto, a largura de 12,55m permaneceu a mesma, enquanto que o comprimento do estacionamento que era de 40,75m, dada as inclinações dos módulos, foi alterado em dois

comprimentos, sendo um de 17,67m e outro de 23,1m. Realizando o somatório das áreas dos conjuntos A, B, C e D verifica-se que a área total passou de 1.022,82m² para 1.023,33m². De posse destes dados é necessário a escolha de um modelo de módulo fotovoltaico para verificar a compatibilidade da área total do arranjo fotovoltaico com a área disponível e mensurar a potência de geração que este arranjo poderá fornecer.

2.4.2 Módulo Fotovoltaico escolhido

O módulo escolhido como exemplo para esse estudo será o KD240GX-LFB do fabricante Kyocera. O catálogo deste módulo está presente no Anexo 11.

Considerando as informações disponíveis no catálogo, verifica-se as seguintes características elétricas em *Standart Test Conditions* (STC):

- Potência Máxima ($P_{m\acute{a}x}$) = 240W,
- Tensão de circuito aberto (V_{oc}) = 36,9V,
- Corrente de curto circuito (I_{sc}) = 8,59A,
- Tensão de máxima potência (V_{mp}) = 29,8V,
- Corrente de máxima potência (I_{mp}) = 8,06A.

As dimensões físicas do módulo são:

- Comprimento = 1,662m,
- Largura = 0,99m,
- Peso = 21Kg.

2.4.3 Avaliação do Potencial de Geração Distribuída Fotovoltaica

Conhecendo-se as dimensões e a potência de geração do módulo escolhido é possível estimar o potencial de geração do sistema fotovoltaico. A opção por módulos de 240Wp deu-se pelo fato de ser uma das potências mais altas disponíveis no mercado brasileiro, o que simplifica as ligações elétricas do sistema quando comparadas ao utilizar módulos de menor potência.

Considerando as dimensões do módulo, 1,66m de comprimento e 0,99m de largura, calcula-se uma área de 1,6434m². Para o caso do Campus Marco Zero que

possui uma área disponível de 15.008,84m², conforme Tabela 3, pode-se estimar um total de aproximadamente 9.133 módulos fotovoltaicos a ser implantados ou, pela potência do módulo escolhido, aproximadamente 2,19192MWp de possível implantação de Geração Distribuída Fotovoltaica.

Em relação ao Estacionamento da Reitoria será realizada uma análise mais elaborada, comparando-se a área disponível para instalação com as áreas efetivamente ocupadas pelos módulos, de forma que a configuração escolhida seja a mais próxima possível da que será futuramente implantada.

Deste modo, considerando o módulo fotovoltaico na vertical e dividindo-se as dimensões das áreas A, B, C e D pelas dimensões do módulo, tem-se a quantidade de módulos necessária para preenchimento da área disponível do estacionamento, este resultado pode ser verificado na Tabela 5 e Tabela 6.

Tabela 5 - Levantamento do número de módulos na horizontal

Conjunto	Comprimento disponível (m)	Comprimento do módulo (m)	Quantidade de módulos na horizontal
A	17,67	0,99	17,85
B	23,1	0,99	23,33
C	17,67	0,99	17,85
D	23,1	0,99	23,33

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Tabela 6 - Levantamento do número de módulos na vertical

Conjunto	Largura disponível (m)	Largura do módulo (m)	Quantidade de módulos na vertical
A	12,55	1,662	7,55
B	12,55	1,662	7,55
C	12,55	1,662	7,55
D	12,55	1,662	7,55

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Arredondando estes valores para os próximos números naturais superiores, chega-se na configuração prevista para os módulos fotovoltaicos do estacionamento. O resultado dessa análise pode ser verificado na Figura 19.

Figura 19 - Posicionamento dos módulos e medidas da instalação no estacionamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A quantidade total de módulos e a potência total de Geração Distribuída do Estacionamento da Reitoria pode ser verificada na Tabela 7.

Tabela 7 - Total de módulos e Potência Total de Geração Distribuída do Estacionamento

Conjunto	Módulos na horizontal	Módulos na vertical	Total por conjunto
A	18	8	144
B	24	8	192
C	18	8	144
D	24	8	192
Total de módulos			672
Potência do módulo			240Wp
Potência do Estacionamento			161,28kWp

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

2.4.4 Inversor Conectado à Rede escolhido

De acordo com o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014) inversores para conexão à rede com potências individuais de até cerca de 5kW, de modo geral, têm saída monofásica. A partir dessa potência é mais comum a utilização de inversores com saída trifásica.

O inversor escolhido para este estudo será o Inversor SUNNY TRIPOWER 10000TL da fabricante SMA. O catálogo deste módulo está presente no Anexo 12.

Considerando as informações disponíveis no catálogo, verifica-se as seguintes características elétricas de entrada:

- Máxima Potência DC Utilizada: 10250W
- Máxima Tensão DC: 1000V
- Alcance do MPPT: 370 - 800V
- Mínima Voltagem DC/ Voltagem Inicial: 150V / 188V
- Máxima corrente na Entrada A/ Entrada B: 18A/ 10A

E as seguintes características elétricas de Saída:

- Potência Nominal AC: 10000W
- Máxima Potência AC Aparente: 10000VA
- Alcance da Tensão AC: 160V - 280V
- Frequência AC: 60Hz
- Máxima corrente de saída: 14,5A
- Máxima Eficiência: 98%

2.4.5 Análise de aplicação do Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI)

O fator de dimensionamento do inversor (FDI) é representado pela razão da potência nominal do inversor e a potência nominal do gerador fotovoltaico. Segundo Zilles et al. (2012) este fator é dado pela equação 1:

$$FDI = \frac{P_{nom_{inv}}}{P_{nom_{FV}}} \quad (1)$$

Zilles et al. (2012) afirmam que o sobredimensionamento do gerador pode melhorar o funcionamento do sistema, mais particularmente do inversor, em dias nublados ou no nascer e pôr do sol. Por outro lado, o sobredimensionamento excessivo submeterá o inversor a níveis prolongados de temperatura mais elevada, que devem reduzir a vida útil do equipamento. Ainda segundo os autores, as perdas totais diminuem e as perdas por limitação do inversor tendem a zero para valores de FDI superiores a 0,6 e, à medida que o FDI se torna maior que a unidade, as perdas tendem a aumentar, em razão da operação em baixo carregamento dos inversores.

Deste modo considerar-se-á inversores que permitam que o sistema opere com um FDI entre 0,8 a 0,9. Analisando a equação 1 verifica-se que há duas formas de se alterar o FDI. Pode-se aumentar a potência da geração fotovoltaica ou diminuir a potência dos inversores e, devido ao fato do espaço do projeto já está delimitado neste estudo, a análise do FDI consistirá em verificar o número de inversores necessários para que, na potência já estimada, alcance-se o FDI na faixa de 0,8 à 0,9. O resultado da análise pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8 - FDI utilizado no sistema fotovoltaico.

Conjunto	Potência do conjunto (kWp)	Nº de inversores	Potência do inversor (kW)	Potência total dos inversores (kW)	FDI
A	34,56	3	10,25	30,75	0,890
B	46,08	4	10,25	41	0,890
C	34,56	3	10,25	30,75	0,890
D	46,08	4	10,25	41	0,890
TOTAL	161,28	14	-	143,5	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Portanto, realizando-se o somatório das potências fornecidas por cada conjunto verifica-se que da potência total de Geração Distribuída de 161,28kWp poderá ser entregue pelos inversores apenas 143,5kWp, porém com maior qualidade e eficiência.

2.4.6 Configuração do Gerador Fotovoltaico

A realização da correta configuração do sistema deve, sobretudo, respeitar as características técnicas do módulo fotovoltaico e do inversor utilizados. Deste modo torna-se necessário analisar as perdas por temperatura, a potência do sistema fotovoltaico, a potência dos inversores, as conexões série-paralelo do arranjo fotovoltaico e as características elétricas advindas destas conexões.

De acordo com o catálogo do módulo fotovoltaico KD240GX-LFB as perdas por temperatura para tensão de circuito aberto (V_{oc}) é igual a -0,0036 e as perdas por temperatura para tensão de máxima potência (V_{mp}) é igual a -0,0052.

Desta forma, segundo o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014), para calcular os níveis de tensão corrigidos deve-se utilizar as equações 2 e 3:

$$V_{oc}(Temp_{ref}) = V_{oc} \times [1 - 0,0036(Temp_{ref} - 25)] \quad (2)$$

$$V_{mp}(Temp_{ref}) = V_{mp} \times [1 - 0,0052(Temp_{ref} - 25)] \quad (3)$$

Zilles et al. (2012) afirmam que, em condições normais de operação, no caso particular da cidade de Belém-PA, a temperatura de operação das células que constituem os módulos fotovoltaicos é superior a 25°C, atingindo valores em torno dos 60°C para níveis de irradiância próximos aos 1000W/m².

Como este dado é o mais próximo disponível para a cidade de Macapá-AP e dado o fato de ambas as cidades possuírem condições climáticas muito parecidas, utilizar-se-á este dado como referência. Desta forma, desenvolvendo as equações 2 e 3 tem-se:

$$V_{oc}(60^{\circ}C) = 36,9 \times [1 - 0,0036(60 - 25)] = 32,25V \quad (4)$$

$$V_{mp}(60^{\circ}C) = 29,8 \times [1 - 0,0052(60 - 25)] = 24,38V \quad (5)$$

As características elétricas do arranjo fotovoltaico não devem exceder as características elétricas dos inversores utilizados, desta forma de acordo com o tópico 2.4.4. a faixa de tensão recomendada de operação do inversor é de 370V - 800V e a máxima corrente na Entrada A é de 18A e na Entrada B é de 10A. De posse destes dados realiza-se a análise do número de módulos em série pelas equações 6 e 7:

$$V_{oc} \times N^{\circ} \text{ de módulos em série} = (370V \text{ a } 800V) \quad (6)$$

$$V_{mp} \times N^{\circ} \text{ de módulos em série} = (370V \text{ a } 800V) \quad (7)$$

Considerando-se os módulos fotovoltaicos em uma faixa aleatória de 10 a 22 unidades e analisando-se para o caso de temperatura de operação das células igual a 25°C, o que corresponde às condições STC, e temperatura de operação de 60°C, o que corresponde às condições climáticas locais, pode-se obter o resultado na Tabela 9.

Tabela 9 - Análise do número de módulos fotovoltaicos conectados em série.

N° de módulos	Voc (25°C) = 36,9V	Vmp (25°C) = 29,8V	Voc (60°C) = 32,25V	Vmp (60°C) = 24,34V
10	369	298	322,5	243,4
11	405,9	327,8	354,75	267,74
12	442,8	357,6	387	292,08
13	479,7	387,4	419,25	316,42
14	516,6	417,2	451,5	340,76
15	553,5	447	483,75	365,1
16	590,4	476,8	516	389,44
17	627,3	506,6	548,25	413,78
18	664,2	536,4	580,5	438,12
19	701,1	566,2	612,75	462,46
20	738	596	645	486,8
21	774,9	625,8	677,25	511,14
22	811,8	655,6	709,5	535,48

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Deste modo o número de conexões em série poderá ser de 16 à 21 módulos fotovoltaicos.

Para análise dos módulos fotovoltaicos conectados em paralelo, considerar-se-á o número de módulos fotovoltaicos de cada conjunto, conforme Tabela 7, dividido pelo número de inversores utilizados, conforme Tabela 8. Desta forma, tem-se que serão conectados 48 módulos fotovoltaicos em cada inversor.

O número de arranjos fotovoltaicos conectados em paralelo em cada inversor pode ser determinado pela equação 8:

$$N^{\circ} \text{ de módulos em paralelo} = \frac{N^{\circ} \text{ de módulos fotovoltaicos}}{N^{\circ} \text{ de módulos em série}} \quad (8)$$

Substituindo-se as expressões e calculando os valores, tem-se o resultado na Tabela 10.

Tabela 10 - Análise do número de arranjos fotovoltaicos conectados em paralelo em cada inversor.

Nº de módulos em série	Nº de módulos fotovoltaicos	Nº de arranjos em paralelo
16	48	3
17	48	2,82
18	48	2,67
19	48	2,53
20	48	2,4
21	48	2,29

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Com base neste resultado e realizando análise para os conjuntos A, B, C e D, pode se verificar o resultado por conjunto na Tabela 11.

Tabela 11 - Análise do número de arranjos fotovoltaicos conectados em paralelo por conjunto

Conjunto	Nº total de módulos	Nº de módulos em série	Nº de arranjos em paralelo
A	144	16	9
B	192	16	12
C	144	16	9
D	192	16	12
TOTAL	672	-	42

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

É necessário verificar estes valores através da análise da máxima corrente que o inversor pode suportar, afim de que seja confirmada a compatibilidade do inversor escolhido com a configuração desejada, o resultado desta análise pode ser verificado na Tabela 12.

Tabela 12 - Análise da máxima corrente suportada pelo Inversor

Descrição	Limite Entrada A (A)	Limite Entrada B (A)	Corrente de curto circuito (Isc) do módulo	Corrente Entrada A (A)	Corrente Entrada B (A)
1 arranjo na Entrada A + 2 arranjos na Entrada B	18	10	8,59	8,59	17,18
2 arranjos na Entrada A + 1 arranjo na Entrada B	18	10	8,59	17,18	8,59
3 arranjos na Entrada A	18	10	8,59	25,77	-
3 arranjos na Entrada B	18	10	8,59	-	25,77

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

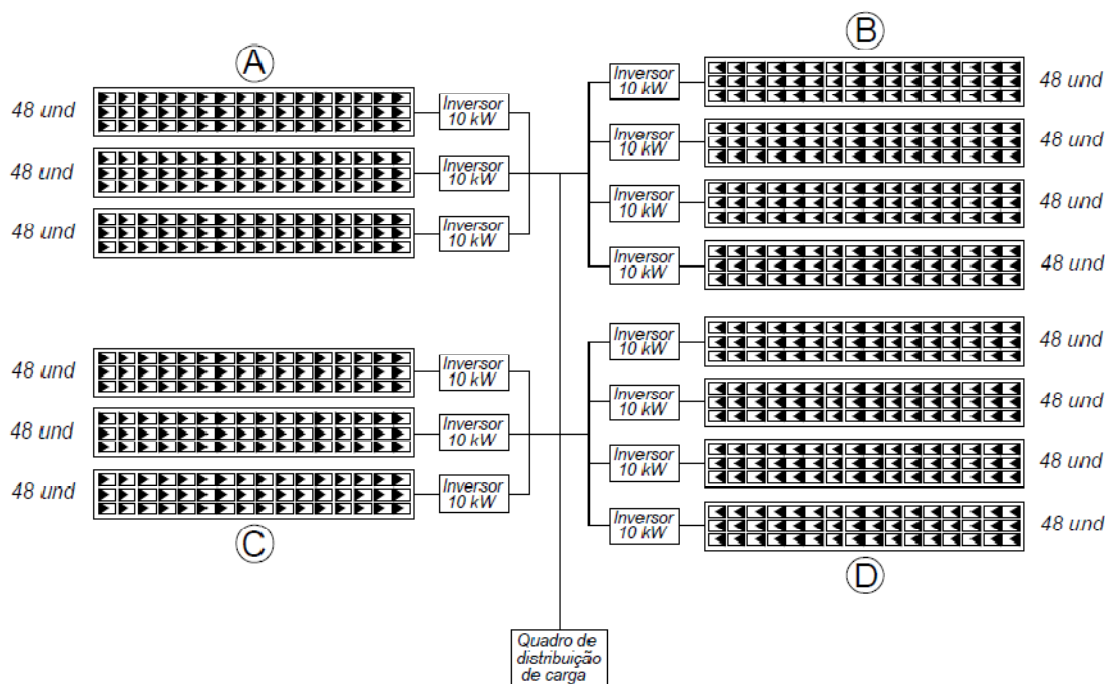
O resultado obtido na Tabela 12 comprova que o inversor escolhido é compatível com a configuração pretendida. Desta forma verifica-se que a configuração mais adequada para o Estacionamento da Reitoria será de:

- 672 módulos fotovoltaicos de 240Wp, conectados através de 42 arranjos de 16 módulos em série,
- 14 Inversores de 10kW,
- Cada inversor conectando 48 módulos fotovoltaicos, sendo 3 arranjos de 16 módulos em série.

2.4.7 Representação do Sistema Fotovoltaico

De posse de todas as características elétricas do sistema pode-se visualizar a configuração do sistema. O resultado do dimensionamento para o Estacionamento da Reitoria está ilustrado na Figura 20.

Figura 20 - Configuração do Sistema Fotovoltaico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

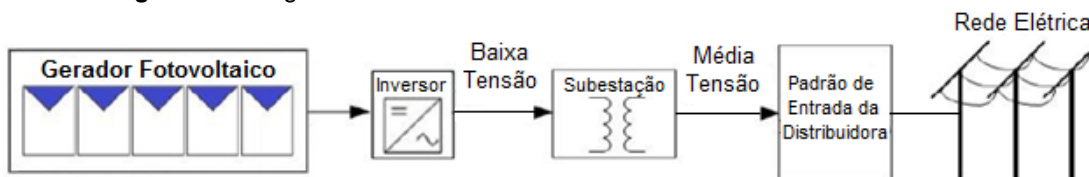
2.4.8 Conexão à Rede da concessionária

Conforme verificado no tópico 2.3.3. a UNIFAP é uma unidade consumidora atendida na tensão de 13,8kV e, portanto, seu consumo é medido em tensão primária. Os conjuntos A e B e os conjuntos C e D somados possuem potência de 71,75kW cada e podem ser instalados conforme NTD-08 da CEA, e se considerados uma instalação única, o somatório ultrapassaria 75kW e, portanto, teriam que ser instalados conforme NTD-09 da CEA.

Analisando os Anexos 02 e 03 verifica-se que as conexões elétricas da NTD-08 e da NTD-09 são semelhantes, diferenciando apenas na conexão ao ponto de entrega, a qual é feita de forma direta na NTD-08 e feita por meio de um transformador e chave fusível na NTD-09. Pelo fato de haver apenas uma unidade consumidora em todo o campus verifica-se que de qualquer forma a rede elétrica da UNIFAP estará conectada em média tensão ao sistema de distribuição. Desta forma, o sistema fotovoltaico poderá ser conectado na rede de média tensão do campus utilizando-se de transformador próprio ou conectado aos barramentos de baixa tensão de uma subestação próxima que possua potência compatível.

A conexão do sistema fotovoltaico à rede de média tensão do campus poderá ser feita conforme diagrama ilustrado na Figura 21.

Figura 21 - Diagrama da conexão do SFCR à rede elétrica da concessionária.

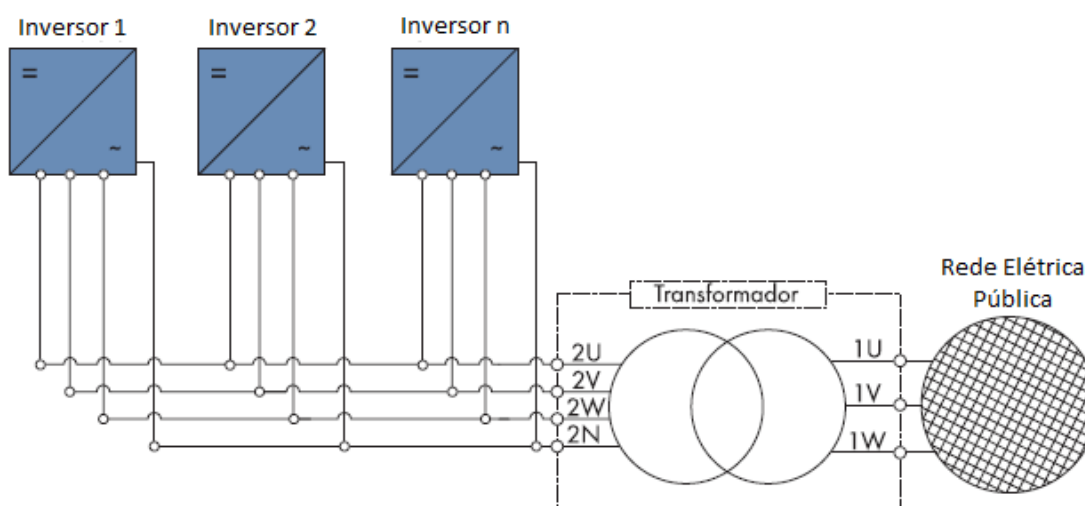


Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014).

Para esta conexão pode-se interligar todo sistema fotovoltaico e utilizar apenas um transformador ou conectar os conjuntos A e B e os conjuntos C e D de forma independente por meio de dois transformadores. Optar-se-á pela segunda opção por vantagens na instalação e manutenção destes sistemas.

Analisando o *datasheet* do inversor utilizado verifica-se que a tensão de saída fase-fase é de 380V, deste modo utilizar-se-á dois transformadores elevadores trifásicos Estrela-Delta de 380V/13,8kV de potência 75kVA cada. O modo de conexão dos inversores ao transformador está representado na Figura 22.

Figura 22 - Conexão dos inversores ao transformador.



Fonte: Adaptado de (Informação técnica: Transformador de média Tensão - SMA, 2016).

O padrão de instalação deste transformador seguirá conforme especificações da norma *NTD 02 - Fornecimento de Energia em Tensão Primária de Distribuição*.

Uma segunda opção seria conectar o sistema fotovoltaico por meio de cabos subterrâneos à subestação abaixadora da Reitoria que está representada na Figura 14 e na Figura 15. Os inversores seriam adaptados com autotrafos ou substituídos por inversores de fabricação nacional para serem compatíveis com a rede 220V da concessionária local. Os cabos seriam conectados diretamente aos barramentos de baixa tensão e a subestação faria a elevação de tensão, em caso de geração excedente, para a rede de média tensão.

A opção por uma conexão ou outra ficará a cargo da administração do campus devido às questões de obras, interrupções no sistema elétrico e outros aspectos logísticos a serem considerados. Dessa forma, a solução adotada será aquela que for mais interessante e viável para o bom funcionamento da atividade pública.

Para ambos os casos a medição da energia produzida seguirá especificações da NTD-08 ou NTD-09 da CEA e será realizada pela concessionária a substituição do medidor da cabine de medição por um medidor bidirecional. O quadro de medição será instalado em baixa tensão em conformidades com NTD 02-CEA.

CAPITULO 3 - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL, ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA E ECÔNOMICA DO PROJETO PILOTO

Para projeção do desempenho do projeto piloto torna-se necessário simular a energia que será gerada pelo sistema. Os dados fornecidos pelos *softwares* específicos servem de base para reavaliar os dados de geração obtidos no tópico 2.4.5. afim de que sejam consideradas as perdas do sistema e obtenham-se valores mais próximos da realidade. De posse da energia efetivamente produzida, fazer-se-á um orçamento do sistema e calcular-se-á a economia proporcionada por este em funcionamento.

3.1 ANÁLISE VIA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A análise de desempenho via ferramenta computacional será realizada baseada no estudo *Análise e Comparação Preliminar de Softwares para Projeto e Simulação de Sistemas Fotovoltaicos* apresentada no VI Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS) 2016. No qual foram selecionados seis dos principais softwares disponíveis no mercado e comparada a eficiência de cada um com dados experimentais.

Destes softwares foi possível obter acesso e licença para uso de três, os softwares: System Advisor Model (SAM) versão 2016.3.14, desenvolvido pela National Renewable Energy Laboratory (NREL); PVSyst versão 6.43, comercializado pela companhia PVSyst SA; PV*SOL 2016 (R4), comercializado pela empresa Valentin software.

3.1.1 Simulação pelo *software* SAM

Segundo descrição fornecida pela NREL, o *software* SAM é um modelo financeiro e de performance destinado a facilitar a tomada de decisões para as pessoas envolvidas na indústria de energia renovável: gerentes de projeto e engenheiros, analistas financeiros e políticos, desenvolvedores de tecnologia e pesquisadores.

Nele é possível fazer previsões de desempenho e estimar o custo da energia em sistemas conectados à rede com base nos custos de instalação e operação destes sistemas e nos parâmetros de projeto inseridos para a modelagem.

Estão presentes vários modelos de simulação, sendo que para este estudo foi realizada a simulação *Photovoltaic (detailed)* e escolhido o parâmetro *Commercial (distributed)*.

O primeiro dado solicitado pelo sistema é localidade da instalação. Como a cidade de Macapá não está presente no banco de dados, utiliza-se os dados geográficos do tópico 2.3.1. para se efetuar o *download* dos dados solarimétricos no banco de dados da NREL.

De posse das informações solarimétricas, realiza-se os seguintes procedimentos:

- No parâmetro *Module*, escolhe-se o módulo fotovoltaico *Kyocera Solar KD240GX-LFB*
- Na parâmetro *Inverter*, informa-se os dados do *datasheet* do Inversor SMA Sunny Tripower 10000TL:
 - Maximum AC output power: 10000 Wac
 - Weighted efficiency: 97.6
 - Nominal AC voltage: 380 Vac
 - Maximum DC voltage: 1000Vdc
 - Maximum DC current: 18 Adc
 - Minimum MPPT DC voltage: 370 Vdc
 - Nominal DC voltage: 580 Vdc
 - Maximum MPPT DC voltage: 800 Vdc
 - Power consumption at night: 1 Wac
- Na aba *System Design*, opção *System Sizing*, especifica-se a configuração do sistema: Módulos por *string* = 16; *Strings* em paralelo = 42; Número de inversores = 14.
- Na opção *String Configuration* e *Tracking & Orientation*, especifica-se a configuração dos arranjos (Arranjo 1: *strings* alocadas = 18, inclinação: 12°, azimute: 180°; Arranjo 2: *strings* alocadas = 24; inclinação = 10°; azimute: 0°).
- Executa-se a simulação.

3.1.2 Simulação pelo *software* PVsyst

Segundo a PVsyst SA., o PVsyst é um *software* para o estudo, dimensionamento e análise completa dos dados de sistemas fotovoltaicos. Pode ser utilizado em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, sistemas autônomos, sistemas fotovoltaicos de bombeamento e de rede DC. Ele inclui um extenso banco de dados de componentes fotovoltaicos e informações meteorológicas, bem como ferramentas gerais de energia solar. O *software* é voltado às necessidades de arquitetos, engenheiros e pesquisadores, além de ser muito útil para formação educacional.

É composto por duas simulações para SFCR, a primeira é chamada de *Preliminary Design*, em que realiza-se uma simulação básica levando em consideração parâmetros como: localização, potência nominal ou área e o tipo de tecnologia e instalação dos módulos, a segunda é chamada de *Project Design*, em que se realiza uma simulação mais aprimorada levando em consideração mais parâmetros. Neste estudo optar-se-á pela segunda opção.

O primeiro parâmetro solicitado é a localização e os dados meteorológicos. Verifica-se no banco de dados do *software* que não está presente a cidade de Macapá-AP e que ele usa como referência a base de dados do *software* Meteonorm 7.1. Analisando o *software* Meteonorm 7.1 é possível verificar que a estação meteorológica mais próxima é a da cidade de Belém-PA, portanto nesta simulação utilizar-se-á os dados meteorológicos de Belém-PA, que, devido a semelhanças climatológicas, não irão alterar significativamente os resultados.

De posse das informações solarimétricas, realiza-se os seguintes procedimentos:

- Na Aba *Orientation* especifica-se a orientação do módulo em 0° e o azimuth em 0°.
- Na Aba *System* especifica-se a potência do sistema, sendo o valor informado de 161,3 devido ao fato de o *software* aceitar apenas uma casa decimal.
- Informa-se o módulo Kyocera KD240GX-LFB e o Inversor Sunny Boy 10000TL U-208. Escolhe-se este inversor pelo fato de o *software* não aceitar o inversor trifásico de mesma potência, pelo fato de considerar que em temperaturas de -10°C a tensão do arranjo ultrapassaria a tensão máxima suportada pelos módulos, o que não é o caso em questão. Sendo os valores

de eficiência bastante próximos entre cada inversor, isso não afeta de forma considerável a qualidade da simulação.

- Executa-se a simulação.

3.1.3 Simulação pelo software PV*SOL 2016 (R4)

Segundo a empresa *Valentin software*, o PV*SOL 2016 é um *software* de simulação para uma fácil e rápida concepção da previsão econômica dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. A análise financeira integrada permite que estudantes examinem o impacto econômico em diferentes projetos de sistemas e os resultados das simulações são uma excelente oportunidade para monitorar a ocorrência de máximos, mínimos, padrões e desvios.

A simulação por esse *software* ocorre realizando os seguintes procedimentos:

- Em *Type of System*, escolhe-se a opção *Grid Connected PV System*, em seguida em *Climate Data* escolhe-se a cidade de Macapá-AP.
- Em *PV Modules*, escolhe-se o módulo Kyocera KD240GH-4YB2 que possui características semelhantes ao utilizado, o número de módulos será de 672, o que totaliza 161,28kWp, e a inclinação de 10°.
- Em *Inverters*, o inversor selecionado será o SMA Sunny Tripower 10000TL-20. A configuração dos arranjos é sugerida e realizada de forma automática pelo *software*.
- Realiza-se a simulação.

3.1.4 Comparação dos resultados

O resultado da simulação no *software* SAM pode ser verificado na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados obtidos na simulação do *software* SAM.

Metric	Value
Annual energy (year 1)	245,863 kWh
Capacity factor (year 1)	17.4%
Energy yield (year 1)	1,523 kWh/kW
Performance ratio (year 1)	0.75
Levelized COE (nominal)	6.97 ¢/kWh
Levelized COE (real)	5.52 ¢/kWh

(continua)

Metric	Value
Electricity bill without system (year 1)	\$826,030
Electricity bill with system (year 1)	\$802,365
Net savings with system (year 1)	\$23,665
Net present value	\$24,799
Payback period	15.0 years
Net capital cost	\$346,972
Equity	\$0
Debt	\$346,972

Fonte: Adaptado de (SAM, 2016).

O resultado da simulação no *software* PVsyst pode ser verificado na Figura 23.

Figura 23 - Resultados obtidos na simulação do *software* PVsyst.

PVSYST V6.43		05/04/16	Page 2/3
Grid-Connected System: Main results			
Project :	Grid-Connected Project at Belém		
Simulation variant :	New simulation variant		
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	10°	azimuth 0°
PV modules	Model	KD240GX-LFB	Pnom 240 Wp
PV Array	Nb. of modules	676	Pnom total 162 kWp
Inverter	Model	Sunny Boy 10000TL U-208	10.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	14.0	Pnom total 140 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
Main simulation results			
System Production	Produced Energy	233431 kWh/year	Specific prod. 1439 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	78.0 %	

Fonte: PVsyst (2016).

O resultado da simulação no *software* PV*SOL pode ser verificado na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados obtidos na simulação do *software* PV*SOL.

PV System	
PV Generator Output	161,3 kWp
Spec. Annual Yield	1366,19 kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	78 %
Grid Feed-in	220.340 kWh/year
Grid Feed-in in the first year (incl. module degradation)	220.340 kWh/year

(continua)

PV System	
Stand-by Consumption	134 kWh/year
CO ₂ Emissions avoided	132.123 kg / year

Fonte: PV*SOL 2016 R4 (2016).

Realizadas as simulações nos softwares SAM, PVsyst e PV*SOL pode-se obter os parâmetros de funcionamento do sistema, dentre os quais destaca-se a *Performance Ratio (PR)* ou, em português, Taxa de Desempenho (TD), que será de grande importância para o desenvolvimento dos cálculos matemáticos para validação dos resultados e a Energia Anual produzida pelo sistema, que servirá de base para os cálculos financeiros. A comparação entre as Taxas de Desempenho e Energias Anuais obtidas pode ser verificada na Tabela 15.

Tabela 15 - Comparação entre as Taxas de Desempenho obtidas.

Método adotado	Taxa de Desempenho (TD)	Energia Anual (kWh.ano)
SAM	0,75	245.863,00
PVsyst	0,78	233.431,00
PV*SOL	0,78	220.340,00
Média dos Softwares	0,77	233.211,33

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

3.2 CORREÇÃO DA POTÊNCIA DE GERAÇÃO DO SFCR

No tópico 2.4.5. foi demonstrado que o sistema fotovoltaico fornecerá a potência de 143,5kWp. Neste cálculo foi considerado apenas a resolução da equação 1, considerando um FDI de 0,89. Para um cálculo mais preciso é necessário incluir as perdas provenientes pela influência da temperatura, eficiência do inversor, inclinação dos módulos fotovoltaicos e orientação destes com o Norte Geográfico e demais fatores.

De acordo com o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014), no cálculo da potência do gerador fotovoltaico deve ser considerada a Taxa de Desempenho (TD), que é definida como a relação entre o desempenho real do sistema sobre o desempenho máximo teórico possível. Essa relação é um parâmetro

para avaliar a geração de energia do sistema fotovoltaico, 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 entre módulos de mesmo modelo, resposta espectral, temperatura operacional, entre outras.

Segundo o manual, a Taxa de Desempenho a ser adotada no Brasil deve ser de 70 a 80%. Analisando a Tabela 15 verifica-se que o valor médio de Taxa de Desempenho fornecido nos *softwares* encontra-se na faixa de valores recomendada, dessa forma este será o valor adotado no cálculo de potência de geração.

Além da Taxa de Desempenho deve ser acrescentado o fator de correção devido à inclinação dos módulos fotovoltaicos e à orientação destes com o Norte Geográfico. Desta forma a equação da potência de geração corrigida pode ser representada pela equação 9:

$$Potência_{corrigida} = Potência_{geração} \times TD \times FC \quad (9)$$

O Fator de Correção (FC) é dado conforme tópico 1.6., Tabela 2. Verifica-se nesta tabela que para a maior captação de energia no Campus Marco Zero é necessário que os módulos estejam alinhados, sempre que possível, ao Norte ou ao Sul Geográfico da Terra.

Realizando-se medições com uma bússola no local de implantação do projeto piloto é possível verificar que o valor obtido, em relação ao Norte, está entre 17° à 18°, isto deve-se ao tamanho do ponteiro, em relação à escala, que limita a precisão da medida no aparelho. Este valor corresponde ao Norte magnético da Terra, de forma que para se descobrir o Norte Geográfico da Terra, no Estado do Amapá, deve-se subtrair o ângulo de correção de 18°.

Subtraindo-se o valor de 18° ao valor lido na bússola, verifica-se que o Projeto Piloto ficará alinhado ao Norte Geográfico da Terra e portanto a perda de aproveitamento da máxima radiação solar disponível ocorrerá devido à inclinação de 10° dos conjuntos A e C e de 12° dos conjuntos B e D.

Dessa forma, analisando-se a Tabela 2, verifica-se que o fator de correção a ser utilizado para os conjuntos B e D será de 0,994 e, dado que 12° está mais

próximo de 10° do que de 20°, o fator de correção para os conjuntos A e C também será de 0,994. Substituindo os valores encontrados na equação 9, tem-se:

$$Potência_{corrigida} = Potência_{geração} \times 0,77 \times 0,994 \quad (10)$$

$$Potência_{corrigida} = Potência_{geração} \times 0,76538 \quad (11)$$

3.3 ENERGIA PRODUZIDA PELO SFCR

A análise da energia gerada pelo sistema consistirá em verificar a Irradiação diária média no município de Macapá e a Potência corrigida de Geração Distribuída do SFCR. O cálculo utilizado para obtenção da energia diariamente produzida pelo sistema pode ser representa pela equação 12:

$$Energia_{diária} = Potência_{corrigida} \times Irradiância_{diária} \quad (12)$$

Sendo que a Irradiação solar diária média no município de Macapá pode ser verificada no tópico 2.3.1. Sendo assim, substituindo os valores na equação 12, tem-se:

$$Energia_{diária} = Potência_{geração} \times 0,76538 \times 5,05 \quad (13)$$

$$Energia_{diária} = Potência_{geração} \times 3,865169 \quad (14)$$

Conhecendo-se a energia diariamente produzida pelo SFCR é possível estimar a energia mensalmente produzida pelo sistema através da equação 15:

$$Energia_{mensal} = Energia_{diária} \times 30_{dias} \quad (15)$$

$$Energia_{mensal} = Potência_{geração} \times 3,865169 \times 30 \quad (16)$$

$$Energia_{mensal} = Potência_{geração} \times 115,955 \quad (17)$$

A energia anualmente produzida pelo SFCR pode ser estimada pela equação 18:

$$Energia_{anual} = Energia_{diária} \times 365_{dias} \quad (18)$$

$$Energia_{anual} = Potência_{geração} \times 3,865169 \times 365 \quad (19)$$

$$Energia_{anual} = Potência_{geração} \times 1410,7867 \quad (20)$$

3.4 PROJEÇÃO DA ENERGIA PRODUZIDA PARA O CAMPUS MARCO ZERO

Utilizando-se as equações 14, 17 e 20 e considerando-se que:

- Os módulos estarão alinhados ao Norte Geográfico e a uma inclinação de 10°, portanto $FC = 0,994$.
- A Taxa de Desempenho será de 0,77.
- O FDI adotado será de 0,89.

É possível realizar uma projeção da energia gerada pelo Campus Marco Zero do Equador, dado que a projeção da potência de geração do campus foi fornecida conforme levantamento do tópico 2.4.3., desta forma tem-se que:

$$Energia_{diária} = 2.191,92 \times 3,865169 \quad (21)$$

$$Energia_{diária} = 8.472,141 kWh. dia \quad (22)$$

$$Energia_{mensal} = 2.191,92 \times 115,955 \quad (23)$$

$$Energia_{mensal} = 254.164,237 kWh. mes \quad (24)$$

$$Energia_{anual} = 2.191,92 \times 1410,7867 \quad (25)$$

$$Energia_{anual} = 3.092.331,551 kWh. ano \quad (26)$$

O resultado da análise efetuada para o Campus Marco Zero do Equador está representado na Tabela 16.

Tabela 16 - Projeção da energia a ser produzida no Campus Marco Zero do Equador.

Projeção de SFCR para o Campus Marco Zero do Equador - UNIFAP				
Pot. Geração (kWp)	Irradiação (kWh/m ² .dia)	Energia Diária (kWh)	Energia Mensal (kWh)	Energia Anual (kWh)
2.191,92	5,05	8.472,141	254.164,237	3.092.331,551

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

3.5 PROJEÇÃO DA ENERGIA PRODUZIDA PARA O PROJETO PILOTO

Realizando os cálculos de forma análoga ao tópico 3.4 e verificando que a potência de geração do sistema foi fornecida no tópico 2.4.3. tem-se o resultado da análise efetuada para o Estacionamento da Reitoria, conforme representado na Tabela 17.

Tabela 17 - Análise da energia produzida no Estacionamento da Reitoria.

Projeto Piloto - Estacionamento da Reitoria				
Pot. Geração (kWp)	Irradiação (kWh/m².dia)	Energia Diária (kWh)	Energia Mensal (kWh)	Energia Anual (kWh)
161,28	5,05	623,374	18.701,234	227.531,677

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

3.6 ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA DO SFCR

Efetuada a análise do funcionamento do Projeto Piloto do Estacionamento da Reitoria é necessário que seja efetuada uma análise orçamentária e econômica para se verificar os custos financeiros de cada componente do sistema, o retorno econômico proporcionado pela geração de energia e sua viabilidade de implantação.

A análise orçamentária consistirá em fazer o levantamento dos custos totais do SFCR. Neste estudo optar-se-á pelo método do Watt Pico (Wp), que consiste em multiplicar o preço estimado do Wp instalado pela potência do Sistema de Geração Distribuída, e pelos preços praticados por empresas nacionais para instalação de SFCR na modalidade *turn-key*, que trata-se da entrega do sistema fotovoltaico instalado e conectado com a rede elétrica da concessionária de energia.

O preço estimado do Wp no Brasil é calculado por instituições de pesquisa do país, sendo o estudo mais atualizado disponível elaborado pelo Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (LSF-IEE/USP) e divulgado pela Associação Brasileira de Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE). Este estudo consta na Nota Técnica *Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica*.

A presente Nota Técnica, elaborada em março de 2015, afirma que para definição e estimativa dos investimentos necessários, são tomados como base os preços internacionais dos equipamentos (módulos e inversores) e adicionados custos com frete, seguros, tributos e importação, de onde se obtém o preço nacionalizado para os equipamentos. Adicionalmente, se consideram custos de

cabos, materiais extras, projeto e instalação, resultando no preço por Watt-pico instalado. O resultado desta análise pode ser verificado na Tabela 18.

Tabela 18 - Estimativa do preço do Wp instalado.

Equipamentos	Módulos	Inversores (< 5kW)	Inversores (<10kW)
Preços internacionais do equipamentos (€/Wp)	0,56	0,25	0,12
Equipamentos + Frete + Seguro (€/Wp)	0,02	0,02	0,01
Impostos + Taxas + Importação (€/Wp)	0,16	0,2	0,1
Custo nacionalizado (€/Wp)	0,74	0,47	0,23
Taxa de câmbio (BRL/EUR)		3,25	
Preço nacionalizado (R\$/Wp)	2,42	1,52	0,75
Instalação		Até 5kW	A partir de 10kW
Cabos e proteções		0,75	0,6
Sistemas de fixação		1,25	0,8
Demais custos (conexão e projeto)		1,25	1
Total (R\$/Wp)		7,19	5,56

Fonte: Adaptado de (Nota Técnica Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica, 2015).

Assim o preço final do Wp instalado para sistemas de pequeno porte, até 5kW, é estimado em R\$ 7,19/Wp e para sistemas de médio porte, acima de 10kW, é estimado em R\$ 5,56/Wp.

A taxa de câmbio utilizada pela nota técnica foi a de 3,25 BRL/EUR do dia 03 de março de 2015 e, dado que o preço final está sujeito a volatilidade cambial, este valor precisa ser atualizado. Considerando a taxa cambial do dia 06 de abril de 2016 em 4,19 BRL/EUR, pode-se calcular um valor atualizado para o preço do Wp estimado para o Estacionamento da Reitoria, esta análise pode ser verificada na Tabela 19.

Tabela 19 - Estimativa do Preço do Wp Instalado segundo câmbio atual.

Equipamentos	Custo nacionalizado (€/Wp)	Taxa de câmbio (BRL/EUR)	Custo nacionalizado (R\$/Wp)
Módulos Fotovoltaicos	0,74	4,19	3,10
Inversores	0,23	4,19	0,96
Cabos e Proteção	-	-	0,6
Sistemas de Fixação	-	-	0,8
Demais custos (conexão e projeto)	-	-	1
TOTAL (R\$)			6,46

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Desta forma tem-se o preço atual estimado em 6,46 (R\$/Wp), dado que a potência instalada de Geração Distribuída será de 161,28kWp, calcula-se o preço do sistema instalado pela equação 27:

$$Orçamento_{projeto} = Potência_{geração} \times Preço_{Wp} \quad (27)$$

$$Orçamento_{projeto} = 161.280 \times 6,46 \quad (28)$$

$$Orçamento_{projeto} = R\$ 1.041.868,80 \quad (29)$$

Realizando-se o segundo método, o de pesquisa de preços, entrou-se em contato com as empresas que fornecem os sistemas fotovoltaicos em regime *turn-key*, afim de verificar os orçamentos propostos.

Em contato com as empresas Kyocera, Martifer, Araxá Solar e Jovic Engenharia, obteve-se a proposta comercial representada no Anexo 13.

Sendo que, neste estudo, será considerada a empresa que fornecer o menor valor de Wp instalado, portanto a empresa Jovic Engenharia. Pode-se observar que os valores de orçamento são diferentes nos dois métodos, portanto como valor final de orçamento será calculada a média entre os valores fornecidos, deste modo pela equação 30 tem-se:

$$Orçamento_{projeto} = \frac{Orçamento_{teórico} + Orçamento_{proposto}}{2} \quad (30)$$

$$Orçamento_{projeto} = \frac{1.041.868,80 + 1.081.600,00}{2} \quad (31)$$

$$Orçamento_{projeto} = R\$ 1.061.734,40 \quad (32)$$

3.7 ANÁLISE ECONÔMICA DO SFCR

Para análise econômica foi considerada a tarifa de consumo de energia cobrada pela CEA, a economia no consumo proporcionada pela geração de energia do sistema fotovoltaico e as multas por demanda excedente pagas pela universidade. A demanda contratada foi tratada como um fator constante, portanto

não faz parte deste estudo. Os dados foram extraídos da fatura de energia da UNIFAP presentes no Anexo 07.

De acordo com a fatura de energia de janeiro de 2016, a tarifa de consumo do kWh cobrado ao Poder Público é de R\$ 0,279618. De posse deste dado calcula-se, pela equação 33, 34 e 35, o valor da economia gerada:

$$Economia_{diária} = Energia_{diária} \times Tarifa_{energia} \quad (33)$$

$$Economia_{mensal} = Energia_{mensal} \times Tarifa_{energia} \quad (34)$$

$$Economia_{anual} = Energia_{anual} \times Tarifa_{energia} \quad (35)$$

Realizando os cálculos para o Campus Marco Zero do Equador, tem-se a economia anual do sistema, conforme pode ser verificado na Tabela 20.

Tabela 20 - Análise Econômica do Campus Marco Zero do Equador.

Energia Diária (kWh)	Tarifa CEA	Economia Diária	Economia Mensal	Economia Anual
2.191,92	R\$ 0,279618	R\$ 613,18	R\$ 71.068,90	R\$ 864.671,56

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Executando os cálculos de forma análoga a Tabela 20, temos a economia anual para o Projeto Piloto do Estacionamento da Reitoria, conforme Tabela 21.

Tabela 21 - Análise Econômica do Projeto Piloto.

Energia Diária (kWh)	Tarifa CEA	Economia Diária	Economia Mensal	Economia Anual
623,374	R\$ 0,279618	R\$ 174,31	R\$ 5.229,20	R\$ 63.621,95

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Nestes cálculos não foram considerados os impostos de ICMS, COFINS e PIS pelo fato destes já estarem inclusos no valor da tarifa e portanto esta economia tributária já estaria sendo considerada.

Analisando a conta anual de energia, percebe-se que, durante dezembro de 2014 à janeiro de 2016, a UNIFAP ultrapassou a sua demanda contratada em 6 meses. Dado o fato de que a potência do sistema fotovoltaico é maior que a demanda excedente do campus e considerando que esse comportamento do

sistema mantenha esse padrão, pode-se considerar como economia a multa por excesso de demanda que deixará de ser paga para a CEA. Dessa forma dado o valor cobrado, em janeiro de 2016, de demanda excedente e realizado o levantamento de demanda consumida nos meses anteriores, tem-se o resultado da economia anual a ser proporcionada pelo sistema na Tabela 22.

Tabela 22 - Economia anual proporcionada pela eliminação de multa de demanda excedente.

Período	Demanda ultrapassada (kW)	Tarifa (R\$/Kw)	Total
jan/15	140	R\$ 37,68	R\$ 5.275,51
abr/15	39	R\$ 37,68	R\$ 1.469,61
mai/15	58	R\$ 37,68	R\$ 2.185,57
jun/15	12	R\$ 37,68	R\$ 452,19
nov/15	131	R\$ 37,68	R\$ 4.936,37
dez/15	113	R\$ 37,68	R\$ 4.258,09
Economia anual a ser proporcionada			R\$ 18.577,33

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Dessa forma, considerando a economia pela produção de energia fotovoltaica e pela eliminação de demanda excedente, a economia anual a ser proporcionada pelo Projeto Piloto do Estacionamento da Reitoria poderá chegar até R\$ 82.199,28.

Após o cálculo da economia proporcionada torna-se interessante se realizar uma análise simples para se obter uma estimativa do valor de retorno do investimento do sistema ou, como denominado na literatura, do *Payback*. Neste caso considerar-se-á o valor total do projeto dividido pela economia anual proporcionada pelo sistema, desta forma obter-se-á o *Payback* para os casos: SFCR pelo orçamento teórico, SFCR pelo orçamento médio, SFCR pelo orçamento teórico mais a economia de demanda, SFCR pelo orçamento médio mais a economia de demanda e pela simulação dos softwares utilizados, assim pode-se verificar o resultado na Tabela 23.

Tabela 23 - Valores de *Payback* estimados.

Método Utilizado	Taxa de câmbio (BRL/USD)	Preço do SFCR	Economia anual	<i>Payback</i> (anos)
Orçamento teórico + econ. demanda	-	R\$ 1.041.868,80	R\$ 82.199,28	12,7

(continua)

Método Utilizado	Taxa de câmbio (BRL/USD)	Preço do SFCR	Economia anual	Payback (anos)
Orçamento médio + econ. demanda	-	R\$ 1.061.734,40	R\$ 82.199,28	12,9
Software SAM	3,66	R\$ 1.269.917,52	R\$ 86.613,90	15
Orçamento teórico	-	R\$ 1.041.868,80	R\$ 63.621,95	16,4
Orçamento médio	-	R\$ 1.061.734,40	R\$ 63.621,95	16,7
Software PV*SOL	-	R\$ 1.500.000,00	R\$ 61.606,94	21

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Dessa forma pode-se verificar que para o melhor cenário tem-se um *Payback* de 12,7 anos, enquanto que para o pior cenário tem-se um *Payback* de 21 anos. De acordo com a Nota Técnica *Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica* (2015) o valor de *Payback* na cidade de Macapá-AP é de em média de 19 anos. Como os valores calculados estão abaixo do esperado e tendo em vista que a vida útil de um sistema fotovoltaico é em média de 25 anos, esta faixa de valores de *Payback* são aceitáveis, dando assim uma boa margem de segurança e comprovando que o projeto piloto do Estacionamento da Reitoria é viável.

Considerando ainda o fato da tarifa de energia cobrada pela concessionária sofrer reajustes com o decorrer dos anos e com índices inflacionários; da tarifa de energia cobrada no Estado do Amapá ser uma das mais baratas cobradas no Brasil e que daqui a algum tempo esta situação não será mais realidade; do preço da tecnologia e manutenção de sistemas fotovoltaicos decair com o tempo; verifica-se que ao passar do tempo esta economia aumentará gradativamente tornando o sistema ainda mais rentável, o que em sistemas fotovoltaicos é um cenário bastante positivo e favorável para a implantação desta tecnologia.

3.8 RESULTADOS OBTIDOS

A realização deste estudo possibilitou a estimativa de 2,192MWp de potência instalada para o Campus Marco Zero do Equador e de geração de energia fotovoltaica em aproximadamente 3.092MWp.ano e a elaboração do Projeto Piloto do Estacionamento da Reitoria da UNIFAP de potência instalada de 161,28kWp, taxa de desempenho simulada em 77% e geração de energia de 227.531.68kWp.ano.

O custo de implantação do Projeto Piloto foi estimado em R\$ 1.061.734,40 e a economia anual, considerando eliminação de demanda excedente, em R\$ 82.199,28, sendo que este valor aumentará gradativamente de acordo com a variação do valor da tarifa de energia cobrada.

Por fim, os dados obtidos auxiliaram a UNIFAP na abertura do processo nº 23125.002780/2013-44 e do pregão eletrônico Nº 052/2015-UNIFAP, realizado em outubro de 2015, que tratam-se de iniciativas da instituição para aquisição dos materiais fotovoltaicos mencionados neste estudo, para execução posterior do projeto fotovoltaico. Como não houve empresas contempladas, estes documentos estão passando por uma segunda revisão afim de contemplar empresas que forneçam estes sistemas na modalidade *turn-key*, deste modo fornecendo a solução completa para a universidade.

CONCLUSÃO

A elaboração deste estudo possibilitou a verificação dos aspectos globais, nacionais e do panorama legal da sustentabilidade relacionado ao setor de energia elétrica e à administração pública. Houve a abordagem de diversos mecanismos e ferramentas legais e, dentre eles, foram apresentados a CISAP, o Projeto Esplanada Sustentável e o artigo 16º do Decreto nº 7.746/2012 que estabelece que projetos relacionados a sustentabilidade devem constar no PLS das instituições públicas.

Foram apresentados os princípios de funcionamento e os benefícios advindos da Energia Solar Fotovoltaica, abordados os SFCR's e os procedimentos de implantação, instalação e segurança baseados nos regulamentos e normas técnicas vigentes.

Em seguida, foi verificado o cenário nacional dos PLS's das Universidades Federais e a situação do PLS da UNIFAP, informada a motivação financeira dada pelo sistema de compensação de energia, estudado o recurso solar do Amapá, realizado o levantamento das áreas disponíveis para instalação fotovoltaica no campus e das instalações elétricas vigentes.

Desta forma, a importância da elaboração deste estudo mostra-se evidente, dado que este serve de subsídio para que a UNIFAP contemple as exigências mínimas definidas por lei para investimentos em sustentabilidade na administração pública e, ao mesmo tempo, invista em geração de energia por meio da energia solar fotovoltaica.

Estas ações são possíveis pelo fato de a PROPLAN e demais órgãos associados poderem adquirir mais conhecimento técnico sobre o princípio de funcionamento, benefícios de utilização e elaboração de orçamentos da tecnologia fotovoltaica, o que possibilita que políticas sejam efetuadas para auxiliar na promoção de recursos para aquisição e implantação de SFCR's em suas instalações físicas de forma mais ágil e eficiente.

Estas políticas poderão fazer parte do Projeto de Logística Sustentável da UNIFAP e futuramente do Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) da instituição, o que garantirá recursos não apenas para este projeto, mas todos os futuros projetos que irão contemplar a sustentabilidade na instituição, pois os recursos serão advindos de programas de governo e ações orçamentárias

aprovados no Orçamento Geral da União destinados exclusivamente para esta finalidade.

Em relação ao Estudo de caso Campus Marco Zero do Equador, este possibilitou a elaboração do Mapeamento de Geração Distribuída Fotovoltaica, informando os locais e áreas disponíveis para implantação da tecnologia, e do projeto piloto no Estacionamento da Reitoria. O que contribui para o desenvolvimento sustentável da universidade, pois serve como subsídio para fomentar os trabalhos, projetos e pesquisas futuras na área. Pode-se sugerir como exemplo:

- Estudo de implantação e ampliação de SFCR's na UNIFAP,
- Avaliação dos impactos da conexão do sistema de minigeração solar fotovoltaica "Estacionamento da Reitoria" na proteção do sistema elétrico de distribuição da UNIFAP,
- Estudo do sistema de proteção central do SFCR do Estacionamento da Reitoria,
- Resultados dos primeiros anos de operação do sistema fotovoltaico do Estacionamento da Reitoria,
- Elaboração de sistema de aquisição de dados utilizando plataforma *open source* Raspberry Pi e Arduino,
- Utilização de plataforma Arduino para sistema de monitoramento remoto do sistema fotovoltaico do Estacionamento da Reitoria.

Deste modo, com a realização deste trabalho, pretendeu-se apresentar a viabilidade de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede como prática de Sustentabilidade na UNIFAP e verificou-se que é possível investir em sustentabilidade e em energia solar fotovoltaica na UNIFAP, pois há uma série de mecanismos e ferramentas legais que viabilizam este processo, além do fato da geração solar fotovoltaica ser uma atividade econômica que, com o decorrer do tempo, liquida os investimentos iniciais necessários e torna-se uma atividade lucrativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. Pinto, R. Zilles, M. Almeida. **Eficiência Brasileira de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. Argentina: Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 15, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST; Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição, Revisão 6 - 06/03/2016**. Disponível em: <
http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo3_Revisao_5_Retifica%C3%A7%C3%A3o_1.pdf>. Acesso em: 20/03/2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **BIG - Banco de Informação de Geração - Capacidade de Geração do Brasil**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 16/03/2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução nº 482, de 17 de abril de 2012. **Resolução Normativa**. Abr, 2012. Disponível em: <
<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 01/05/2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução nº 517, de 11 de dezembro de 2012. **Resolução Normativa**. Dez, 2012. Disponível em: <
<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>>. Acesso em: 01/05/2015.

CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ (CELPA). **Norma Técnica de Conexão de Microgeração Distribuída ao Sistema de Distribuição em Baixa Tensão**. De 01/04/2015. Disponível em: < <http://www.celpe.com.br/conheca-a-celpe/informacoes/normas-tecnicas>>. Acesso em: 20/12/2015.

COMITÊ INTERMINISTERIAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), 2008**. Disponível em: <
http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf>. Acesso em: 20/12/2015.

COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO AMAPÁ (CEA). **NTD-08**. Norma Técnica de Distribuição para conexão de acessantes à rede de distribuição da CEA. Conexão em Baixa Tensão. Dez/2013. Disponível em: <
http://www.cea.ap.gov.br/images/files/NTD-08-Norma_Tec_Distrib_Conexao_Acessantes_Rede_Distrib_CEA_Conexao_de_Baixa_Tensao.pdf> Acesso em: 01/05/2015.

COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO AMAPÁ (CEA). **NTD-09**. Norma Técnica de Distribuição para conexão de acessantes à rede de distribuição da CEA. Conexão em Média Tensão. Dez/2013. Disponível em: <
<http://editor.ap.gov.br/editor/Arquivos/Texto/Gestor850922a330a6c7f043860f53b4b49e4.pdf>> Acesso em: 20/12/2015.

COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO AMAPÁ (CEA). **Tarifa de Energia Convencional 2015**. Disponível em: <<http://www.cea.ap.gov.br/area.php?id=238&dm=311>>. Acesso em: 20/12/2015.

Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, Rio+20. **The Future We Want (versão traduzida)**, 2012. Disponível em: <http://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/DesenvolvimentoSustentavel/2012_Declaracao_Rio.pdf>. Acesso em: 20/12/2015.

CRESESB. **Centro de Referência Solar e Eólica Sérgio Brito**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 04/05/2015.

GAZOLI, Jonas Rafael. **Microinversor Monofásico para Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica**. Campinas, São Paulo, 2011.

GOLDEMBERG, José. **Energia e Desenvolvimento Sustentável**. 1ª Edição - São Paulo: Blucher, 2010.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH Merlin. **Energia e Meio Ambiente**. Tradução da 3ª Edição norte-americana - São Paulo: Cengage Learning, 2008.

INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE, LABORATÓRIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (IEE-LSF-USP). **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica**. Março/2015. Disponível em: < www.abinee.org.br/informac/arquivos/mifoto.pdf>. Acesso em 20/12/2015.

KYOCERA. **Datasheet KB-60 1000V Series**. Disponível em: <<http://www.kyocerasolar.com.br/modulos-solares/kb260.html>>. Acesso em: 20/12/2015.

LABSOL-UFRGS. **Laboratório de Energia Solar da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/>>. Acesso em: 20/12/2015.

LIMA, A. L. S. ; FERREIRA, D. G. ; OLIVEIRA, L. G. M. ; NEUENSCHWANDER, F. O. ; SILVA, P. H. A. ; MENDES, V. F. ; BOAVENTURA, W. C. ; CARDOSO, E. N. ; MACÊDO, WILSON NEGRÃO ; TORRES, P. F. ; PINHO, J. T. . **Análise e Comparação Preliminar de Softwares para Projeto e Simulação de Sistemas Fotovoltaicos**. In: VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2016, Belo Horizonte. Anais do VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2016. v. 1.

MACEDO, Wilson Negrão; ZILLES, Roberto. **Particularidades da Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos e sua Integração com a Rede Elétrica**. São Paulo: LFS-USP, 2004.

Martin A. Green, Keith Emery, Yoshiro Hishikawa, Wihelm Warta, Evan D. Dunlop. **Solar cell efficiency tables (version 46)**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 23:805-812, 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Balanço Energético Nacional 2015 - Relatório Síntese, ano base 2014.** Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf>. Acesso em: 20/12/2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P), 2009, 5ª Edição.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80063/cartilha%20completa%20A3P_.pdf>. Acesso em: 20/12/2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano de Logística Sustentável do Ministério do Meio Ambiente e do Serviço Florestal Brasileiro (PLS-MMA), 2013.** Disponível em: <<http://cpsustentaveis.planejamento.gov.br/assets/conteudo/uploads/ministerio-do-meio-ambiente.pdf>>. Acesso em: 20/12/2015.

MINISTERIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO (MPOG). **Projeto Esplanada Sustentável.** 2012. Disponível em: <<http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel>> Acesso em: 20/12/2015.

NAKABAYASHI, Renny Kunizo. **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Condições Atuais e Perspectivas Futuras.** São Paulo, SP. 2014.

NETO, Aimé Fleury de Carvalho Pinto. **Qualificação e Etiquetagem de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.** São Paulo, SP. 2012.

NETO, Manuel Rangel Borges; CARVALHO, Paulo Cesar Marques de. **Geração de Energia Elétrica - Fundamentos.** 1ª Edição - São Paulo: Editora Érica, 2012.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** 1ª Edição - Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 2014.

PROINFA. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa>>. Acesso em: 20/12/2015.

REIS, Lineu Belico dos; SANTOS, Eldis Camargo. **Energia Elétrica e Sustentabilidade: Aspectos tecnológicos, socioambientais e legais.** 2ª Edição - Barueri, SP: Manole, 2014.

SECRETARIA DE LOGISTICA E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO (SLTI). **Instrução Normativa nº1, de 19 de janeiro de 2010.** Disponível em: <<http://www.comprasnet.gov.br/legislacao/legislacaoDetalhe.asp?ctdCod=295>>. Acesso em: 20/12/2015.

SECRETARIA DE LOGISTICA E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO (SLTI). **Instrução Normativa nº10, de 12 de novembro de 2012.** Disponível em:

<<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1154501/Instruxo-Normativa-10-2012.pdf/228ebf79-20dc-4e74-b019-8cc613338950>>. Acesso em: 20/12/2015.

SERRÃO, Marcos Antônio dos Santos. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico para uma casa de veraneio em pouso da Cajaíba-Paraty**. Rio de Janeiro, RJ. 2010.

SMA. **Datasheet SUNNY TRIPOWER 5000TL - 12000TL: The Three-Phase Inverter - Not Only for Your Home**. Disponível em: <<http://files.sma.de/dl/17781/STP12000TL-DEN1433W.pdf>>. Acesso em: 20/12/2015.

SMA. **Informação Técnica - Transformador de média tensão: Requisitos importantes aplicáveis a transformadores de média tensão para SUNNY BOY, SUNNY MINI CENTRAL e SUNNY TRIPOWER**. Disponível em: <http://files.sma.de/dl/7418/MV-Trafo-SB_SMC_STP-TI-pt-11.pdf>. Acesso em: 20/12/2015.

SUBCHEFIA DE ASSUNTOS JURIDICOS. **Decreto nº 7.746, de 5 de junho de 2012**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7746.htm>. Acesso em: 01/05/2015.

SUBCHEFIA DE ASSUNTOS JURIDICOS. **Lei nº 12.349, de 15 de dezembro de 2010**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12349.htm>. Acesso em: 01/05/2015.

UNIFAP - ACADÊMICOS DO CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS TURMA 2012. **A Sustentabilidade e a Organização de Eventos na Universidade Federal do Amapá – UNIFAP: Proposta de Resolução, 2015**. Disponível em: <http://www2.unifap.br/cambientais/files/2015/01/Evento_Sustent%C3%A1vel_UNIFAP.pdf>. Acesso em: 20/12/2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG). **Plano de Gestão de logística sustentável da Universidade Federal de Goiás (PLS-UFG), 2013**. Disponível em: <https://sustentabilidade.prodirh.ufg.br/up/676/o/original_Site_PLS-UFG_2014-2015.pdf>. Acesso em: 20/12/2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA (UFRR). **Plano de Gestão de Logística Sustentável da Universidade Federal de Roraima (PLS-UFRR), 2013**. Disponível em: <<http://cpsustentaveis.planejamento.gov.br/assets/conteudo/uploads/universidade-federal-de-roraima.pdf>>. Acesso em: 20/12/2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ (UNIFAP). **Projeto de Desenvolvimento de Ações de Sustentabilidade e Racionalização de Gastos 2014**. Documento interno disponível na PROPLAN. Acesso em: 22/07/2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ (UNIFAP). **Relatório de Autoavaliação Institucional 2013**. Disponível em: <<http://www2.unifap.br/pdi/files/2009/09/Relatorio-Autoavalia%C3%A7%C3%A3o-2013-UNIFAP.pdf>>. Acesso em: 20/12/2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ (UNIFAP). **Relatório de Gestão do Exercício de 2013.** Disponível em: <<http://www2.unifap.br/deinfes/files/2011/08/RELATÓRIO-DE-GESTÃO-20132.pdf>>. Acesso em: 11/05/2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ (UNIFAP). **Relatório de Gestão do Exercício de 2014.** Disponível em: <<http://www2.unifap.br/deinfes/files/2011/08/RELATÓRIO-DE-GESTÃO-2014.pdf>>. Acesso em: 17/09/2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ (UNIFAP). **Relatório Parcial de Autoavaliação Institucional 2014.** Disponível em: <<http://www2.unifap.br/pdi/files/2009/09/Relatorio-Autoavalia%C3%A7%C3%A3o-PARCIAL-CPA-2014.pdf>>. Acesso em: 20/12/2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC). **Plano de Logística Sustentável da Universidade Federal do Ceará (PLS - UFC), 2013.** Disponível em: <http://www.ufc.br/images/_files/gestao_ambiental/plano_de_logistica_sustentavel_ufc.pdf>. Acesso em: 20/12/2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ (UFPA). **Plano de Gestão de Logística Sustentável do Pará (PLS-UFPA), 2013.** Disponível em: <<http://ascom.ufpa.br/links/eventos/Minuta%20Final%20PLS.pdf>>. Acesso em: 20/12/2015.

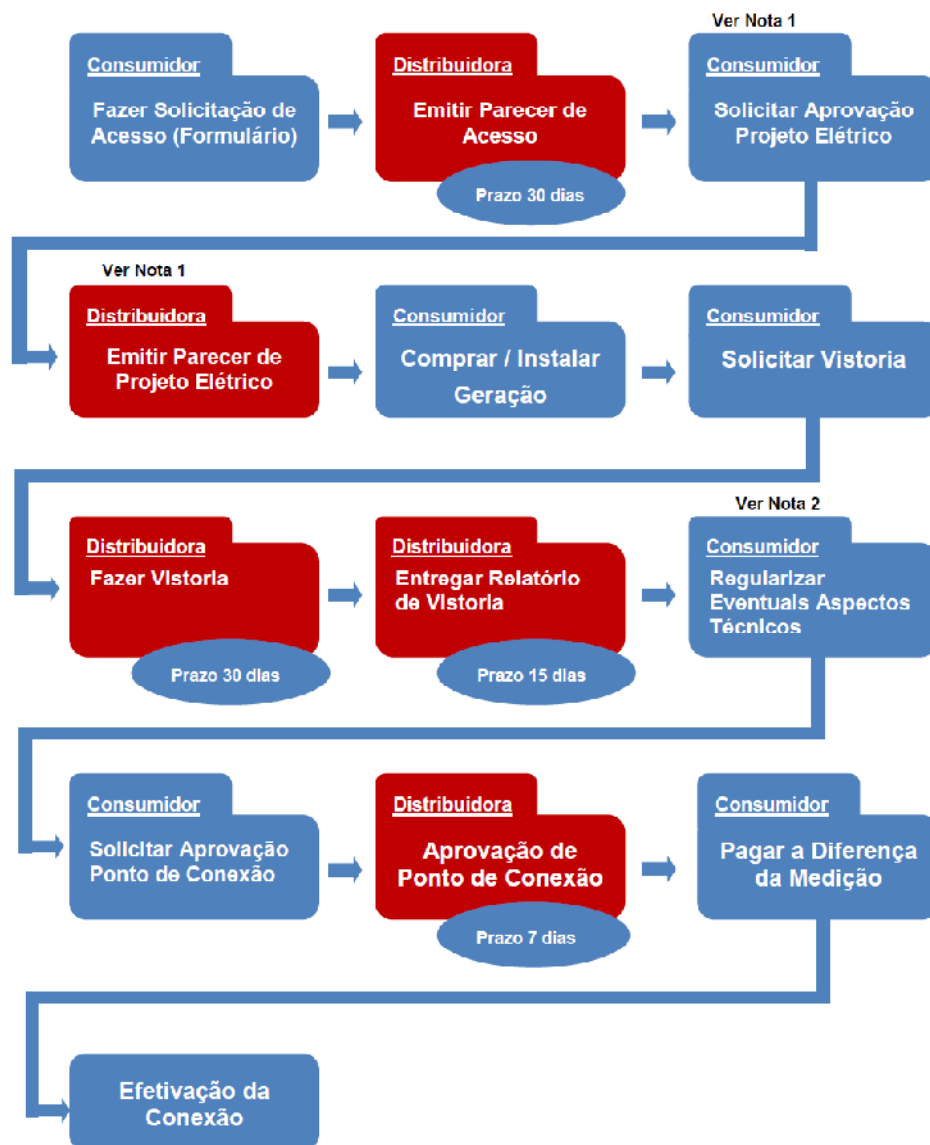
VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica, Conceitos e Aplicações:** Sistemas Isolados e Conectados à Rede. 1ª Edição - São Paulo: Editora Érica, 2012.

ZILLES, Roberto; MACÊDO, Wilson Negrão; GALHARDO, Marcos André Barros; DE OLIVEIRA, Sérgio Henrique Ferreira. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.** 1ª Edição - São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

ANEXOS

ANEXO 01 - DIAGRAMA DO PROCESSO ADMINISTRATIVO PARA ACESSO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA CONCESSIONÁRIA

Figura 1 - Etapas administrativas para o acesso ao Sistema de Distribuição da concessionária



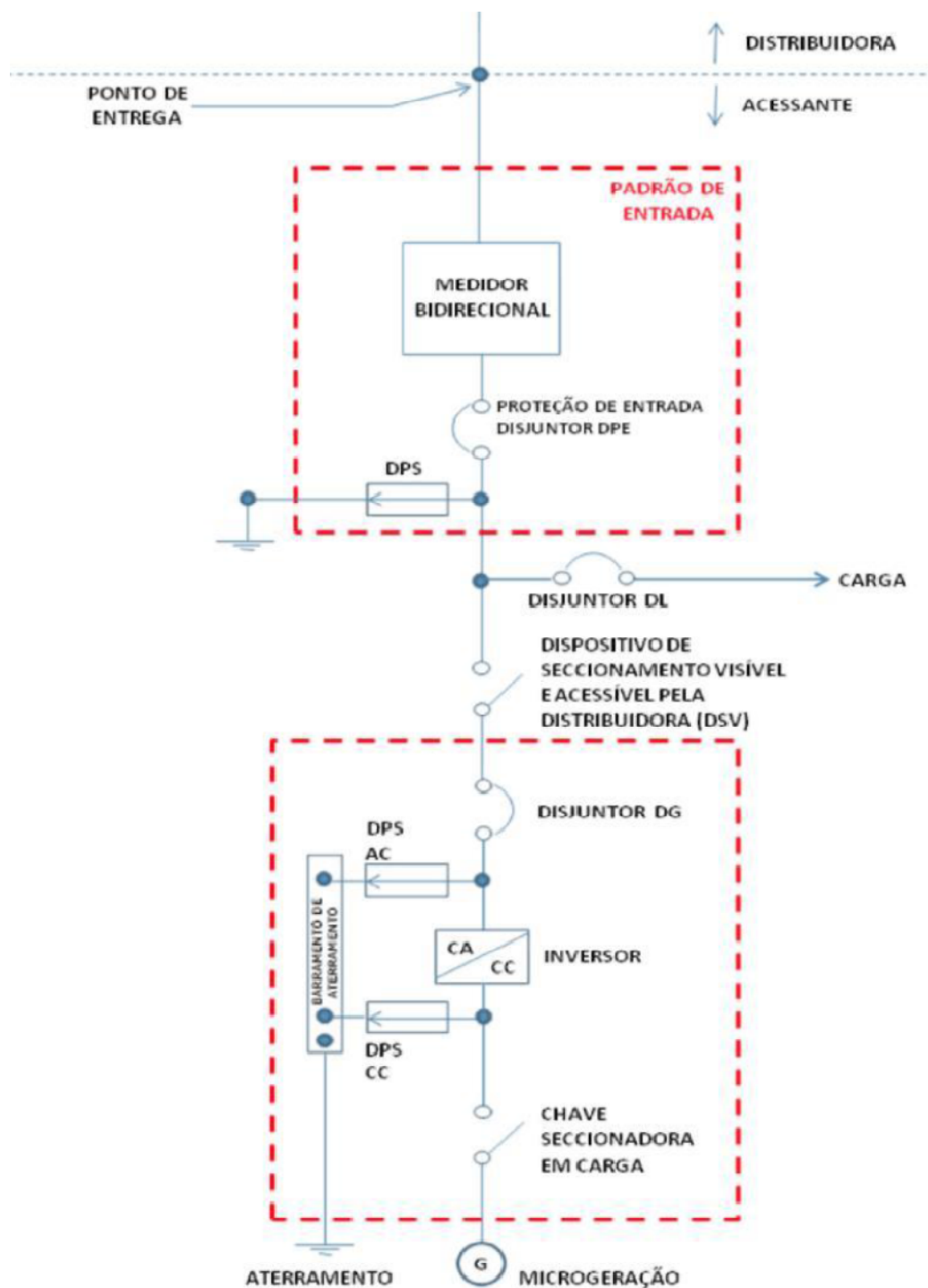
Nota 1: O projeto pode ser entregue junto com o Formulário de Solicitação de Acesso, atendendo ao item 6.3.1. O prazo para análise é de até 30 dias.

Nota 2: Em caso de Pendências apontadas em relatório de vistoria.

Nota 3: O contrato (Relacionamento Operacional) referente ao acesso deve ser assinado entre as partes no prazo máximo de 90 dias após a emissão do parecer de acesso.

ANEXO 02 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE CONEXÃO DE MICROGERAÇÃO ATRAVÉS DE INVERSOR À REDE DE BAIXA TENSÃO

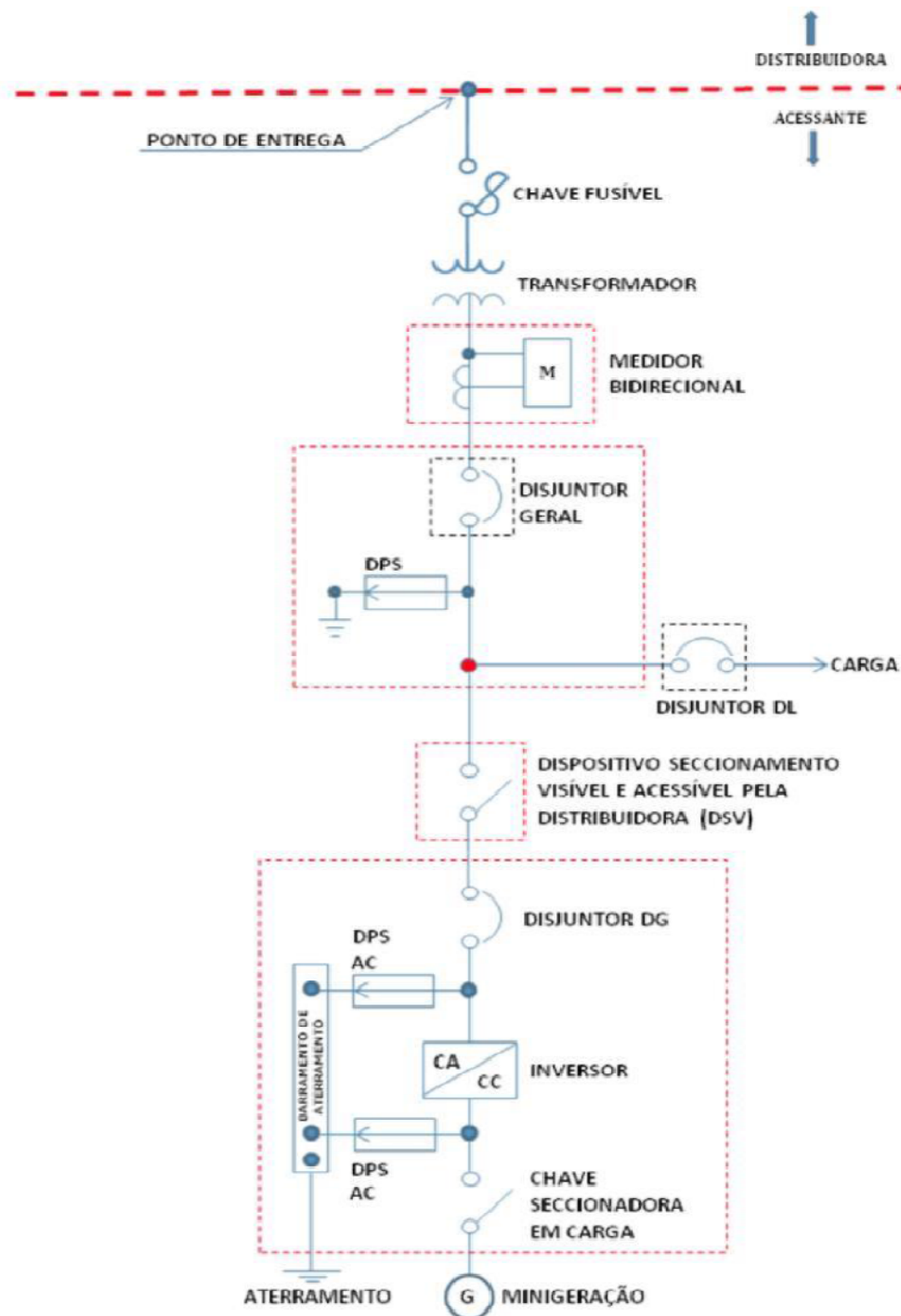
Figura 1 - Diagrama esquemático de conexão da microgeração através de inversor à rede de Baixa Tensão.



Fonte: NTD 08 - CEA (2013).

ANEXO 03 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE CONEXÃO DE MINIGERAÇÃO ATRAVÉS DE INVERSOR À REDE DE MÉDIA TENSÃO

Figura 1 - Diagrama esquemático de conexão da minigeração >75kW até 300kW através de inversor à rede de Média Tensão.



Fonte: NTD 09 - CEA (2013).

ANEXO 04 - DESCRIÇÃO TÉCNICA DO MEDIDOR BIDIRECIONAL HOMOLOGADO NA NTD 09 - CEA

Quadro 1 - Especificação técnica do medição bidirecional indireta da minigeração >75kW até 300kW.

VII.1 - Medição Indireta:

O medidor de energia bidirecional, medição indireta, componente das instalações de conexão da minigeração deve atender, no mínimo, aos seguintes requisitos:

DESCRIÇÃO DO PARÂMETRO	REQUISITO
TIPO DE CONEXÃO DO MEDIDOR	Trifásico (mesmo para atendimento no ponto de conexão B ou Monofásico)
NÚMERO DE FIOS	4
TENSÃO NOMINAL (V_{FN}/V_{FF})	De acordo com a tensão nominal fase-neutro (V_{FN}) ou fase-fase (V_{FF}) do ponto de conexão
TENSÃO MÁXIMA V_{FN}	No mínimo, 253 V
TENSÃO MÍNIMA V_{FN} para funcionamento do medidor	96 V ou menor
CORRENTE NOMINAL (I_n)	2,5 A
CORRENTE MÁXIMA	No mínimo 10 A
FREQÜÊNCIA DE REFERÊNCIA	60 Hz
ENERGIA MEDIDA	kWh, kvarh
MÉTODO DE CÁLCULO DE ENERGIA	Bidirecional em 4 quadrantes
CLASSE DE EXATIDÃO	1% ou melhor
REGISTRO DE ENERGIA EM POSTOS HORÁRIOS com 2 intervalos por posto	Desejável 4 postos
REGISTROS SEPARADOS DE ENERGIA IMPORTADA E EXPORTADA	Exigido
INTERVALO DE INTEGRAÇÃO DE DEMANDA E INTERVALO DE MEMÓRIA DE MASSA	15 minutos
NÚMEROS DE DÍGITOS INTEIROS NO DISPLAY	No mínimo, 5
TEMPO DE CICLO DAS GRANDEZAS NO DISPLAY	6 a 10s
SENHAS DE ACESSO	Leitura, parametrização e carregamento de programa do medidor
TIPO DE INTERFACE / PROTOCOLO	Porta ótica, pelo menos para leitura, e porta serial
TIPO DE PROTOCOLO	NBR 14522
HOMOLOGAÇÃO INMETRO	Exigido
GRANDEZAS APRESENTADAS NO DISPLAY	
Teste do display	
+ kWh Total – Energia ativa consumida da rede por posto horário	
- kWh Total – Energia ativa injetada na rede por posto horário	
V_{RMS} (com uma casa decimal)	
I_{RMS}	
+ kvarh (indutivo) – Energia reativa provida pela rede por posto horário	
- kvarh (capacitivo) – Energia reativa provida para a rede por posto horário	
Soma kvarh	

Fonte: NTD 09 - CEA (2013).

ANEXO 05 - PROTEÇÕES MÍNIMAS NECESSÁRIAS PARA O PONTO DE CONEXÃO DA CENTRAL GERADORA

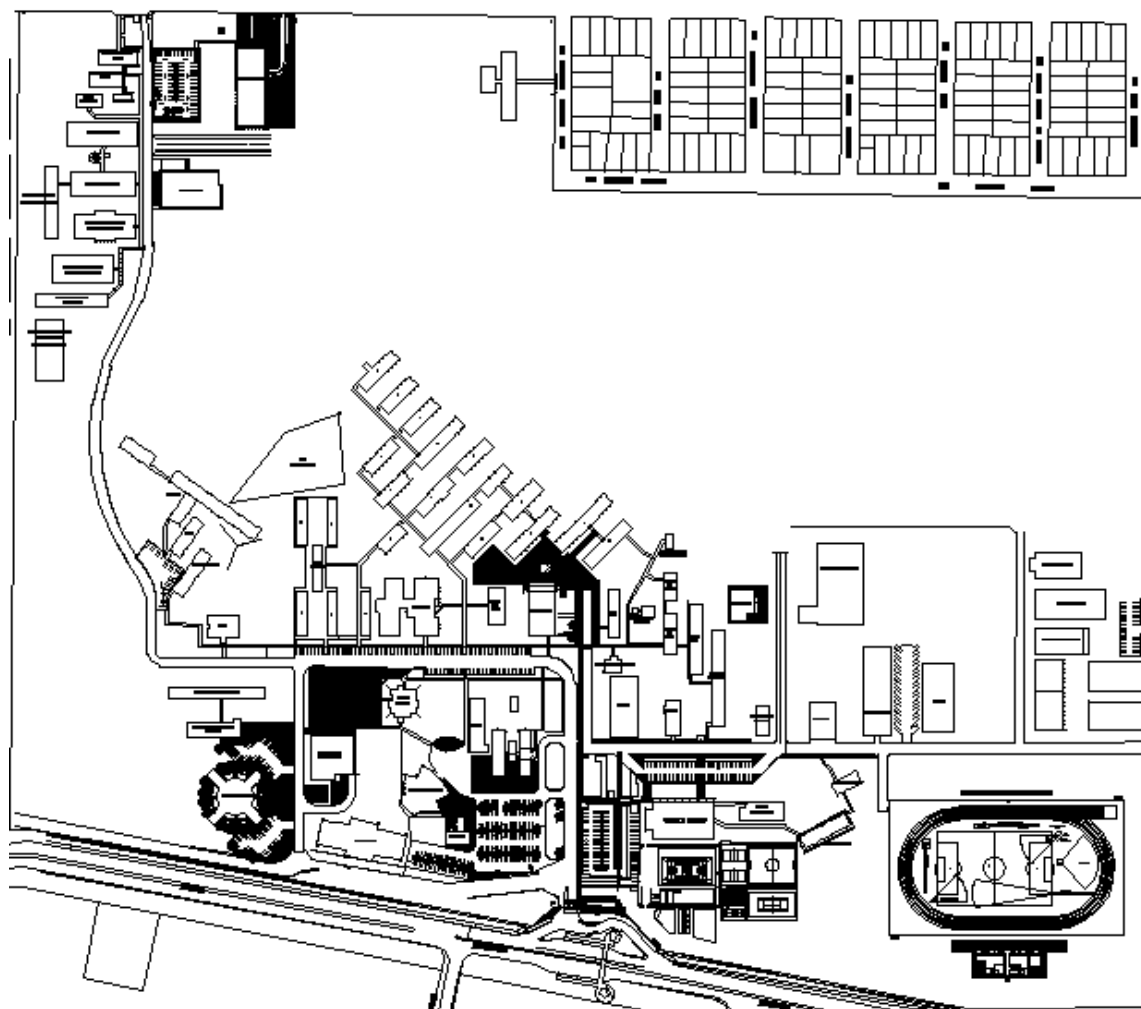
Quadro 1 - Requisitos Mínimos de Proteção e Medição segundo potência instalada

EQUIPAMENTO	Potência Instalada		
	Menor ou Igual a 75 kW	Maior que 75 kW e menor ou igual a 500 kW	Maior que 500 kW e menor ou igual a 5 MW
Elemento de desconexão	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim	Sim	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim	Sim	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente direcional	Não	Sim	Sim
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim
Relé de sincronismo	Sim	Sim	Sim
Anti-ilhamento	Sim	Sim	Sim
Medição	Sistema de Medição Bidirecional	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes

Fonte: Adaptado de (Módulo 3 - PRODIST, 2016)

ANEXO 06 - PLANTA BAIXA DO CAMPUS MARCO ZERO DO EQUADOR DA UNIFAP

Figura 1 - Planta Baixa do Campus Marco Zero do Equador da UNIFAP



Fonte: Prefeitura do Campus (2016).

ANEXO 07 - FATURA DE ENERGIA DO CAMPUS MARCO ZERO DO EQUADOR DA UNIFAP

Figura 1 - Fatura de Energia do Campus Marco Zero do Equador da UNIFAP (Parte 1)



COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO AMAPÁ
 AVE PADRE JULIO MARIA LOMBAERD, 1900
 SANTA RITA - MACAPÁ - AP - CEP: 68.900-030
 CNPJ: 05.965.546/0001-09 IE: 030029940

Atendimento: 0800 096 0196 www.cea.ap.gov.br
Ouvidoria: 0800 096 1406 (07:30-11:30 e das 13:30-17:30)

A Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela Lei nº 10.438, 26 de abril de 2002
 Nota Fiscal / Conta de Energia Elétrica - Série U - Nº 036304
 Regime especial de impressão autorizado pela Sec. de Fazenda

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
RD JUSCELINO KUBITSCHKE, 2010 PREDIO SEDE.
JARDIM EQUATORIAL -
CEP 68.900-000 - MACAPÁ - AP
CNPJ 34.868.257/0001-81

Para contato com a empresa, informe este número

Código Único
0041227-9

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL : Fone 167 - Ligação Gratuita de telefones fixos e tarifada na origem para telefones celulares									
Emissão	Data Leitura Anterior	Data Leitura Atual	Data Próxima Leitura	Dias de Consumo	Apresentação	Mês Faturado			
05/01/2016	27/11/2015	30/12/2015	30/12/2015	33	08/01/2016	12/2015			
Cod. Fat.	Classe/Subclasse	Ligação	Poste	Forma Faturamento	Motivo FD	Número FD			
5.3.8.4	Pp Federal	Alta Tensão		Normal					
Consumo	Medidor 125800015	Leit. Atual 11222	Leit. Anterior 10909	Constante Fatur. 920,00000	NPL 5	Cons. Medido 287960	Cons. Faturado 287960	Dem. Ctda: 1000	
Demanda				920,00000	1	1113	1113		
Reativa	R125800015	6112	5938	920,00000	5			Fator Demanda: 02,74 Fator Potência: 87,40 Fator Carga: 35,44	

Histórico	kWh	Composição da Tarifa	Itens Faturados	Tar. sem Impostos	Valor
11/2015	378120		Consumo 287.960 kWh a 0,279618	0,223667	80.518,79
10/2015	271400		En Reat Exc 15.155 kWh a 0,151982	0,121571	2.303,28
09/2015	237360	Transmissão	Demanda 1.113 kW a 18,841101	15,071000	20.970,14
08/2015	236992		Dem Ultr 113 kW a 37,682202	30,142000	4.258,08
07/2015	235888	Tributos	Dem Reat Exc 58 kW a 4,879358	3,903000	283,00
06/2015	252908		Contribuição de Iluminação Pública (COSIP)		30,49
05/2015	244260		Retenção Imp. Federais - Lei 9.430/96 Grupo % 1 (-)		-6.337,47
04/2015	282256		Correcao Monetaria Igp 10/2015-00		432,30
03/2015	261464		Correcao Monetaria Igp 11/2015-00		1.213,38
02/2015	245916		Multa Por Atraso 10/2015-00		1.811,09
01/2015	333868		Multa Por Atraso 11/2015-00		3.062,15
12/2014	275080		Juros De Mora De Importe/Servico 10/2015-00		241,47
Média		Pis 0,5400 % - 584,99	Juros De Mora De Importe/Servico 11/2015-00		663,46
12 meses	271292	Cofins 2,4700 % - 2675,83	Informativo Adici Band Vermelha - 12952,24		

Indicadores de Continuidade: 10/2015				
Ci	46 - 14572 - EQUATORIAL	CM	R\$ 29.283,65	
Meta Mensal	Realizado	Trimestral	Anual	
DIC 4,44	10,76	8,89	17,79	
FIC 4,07	4,00	8,15	16,31	
DMIC 2,76	6,16	2,76	2,76	

=> Tensao Contratada - 13800V Faixa Adequada - 13 a 14KV
=> Ligue para 0800 096 0196 e faça opção de vencimento de sua conta 1 6 11 16 21 26

=> As informações sobre as condições gerais de fornecimento, tarifas, produtos, serviços prestados e tributos se encontram à disposição dos consumidores, para consulta, nos postos de atendimento e na página da internet desta distribuidora.

Base de Cálculo	Aliquota	Valor do ICMS	Vencimento
108.333,29	17,00	18.416,65	22/01/2016
Reservado ao Fisco			Valor a Pagar
EDAD.16A7.C396.0469.C330.118A.C69F.9A2D			R\$ 109.450,16

390



COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO AMAPÁ

Facilite sua vida! Evite filas e multas! Autorize o débito de sua conta de energia em sua conta bancária. Código para débito automático: 0041227-9

UC	Mês Faturado	No. FD	TC	Vencimento	Valor a Pagar
00412279	12/2015	00	8	22/01/2016	R\$ 109.450,16

83640001094 5 50160002000 9 00000000041 4 22791215008 2



Fonte: Prefeitura do Campus (2016).

Figura 2 - Fatura de Energia do Campus Marco Zero do Equador da UNIFAP (Parte 2)

COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO AMAPÁ
Atendimento: 0800 096 0196 (24h) Ligação gratuita
www.cea.ap.gov.br
Ouvidoria: 0800 096 1406 (07:30-11:30 e das 13:30-17:30)

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL
167 - Ligação Gratuita de telefones fixos e móveis

Para contato com a empresa,
informe este número

Código Único
0041227-9

Histórico	kWh / kw / Fator	Potência:							
Mês/Ano	kWh Medido	kWh Fatur.	Dem.	Medida	Dem. Contr.	Dem. Fatur.	Fator	Pot.	
11/2015	378120	378120		1131	1000	1131		85.99	
10/2015	271400	271400		920	1000	1000		100.00	
09/2015	237360	237360		864	1000	1000		86.74	
08/2015	236992	236992		809	1000	1000		0.86	
07/2015	235888	235888		772	1000	1000		0.85	
06/2015	252908	252908		1012	1000	1012		0.87	
05/2015	244260	244260		1058	1000	1058		0.88	
04/2015	282256	282256		1039	1000	1039		0.88	
03/2015	261464	261464		975	1000	1000		0.87	
02/2015	245916	245916		956	1000	1000		0.87	
01/2015	333868	333868		1140	1000	1140		0.90	
12/2014	275080	275080		984	1000	1000		0.88	



COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO AMAPÁ

Endereço para Entrega

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
RD JUSCELINO KUBITSCHEK, 2010 PREDIO SEDE.
JARDIM EQUATORIAL -
CEP 68.900-000 - MACAPÁ - AP

Vencimento: **22/01/2016**

Corrida: **119** Roteiro: **001.19.01.384500**

Cód.Único: **0041227-9**

Medidor: **125800015**

Poste:

Ponto Ref.: DENTRO DA UNIFAP.
390

Uso Exclusivo dos Correios:

☐ Imóvel Demolido
 ☐ Recusado
 ☐ Nº Inexistente
 ☐ Endereço Insuficiente
 ☐ Outros _____

Conta Certa Distribuição
0012279885/2015 DR-AP
CEA-AP
CORREIOS

____/____/____

Data

Rubrica do Responsável

Visto

Para ter direito e manter os benefícios pela Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE, você precisa atender os critérios da Lei nº 12.212/10.

1 - Ao solicitar atendimento em nossas lojas de serviços ou 0800, tenha sempre em mãos a última conta de energia elétrica.



Data da Leitura Atual

____/____/____

2 - Para esclarecimento sobre consumo (kWh) cobrado nesta conta, anote na figura acima a posição de cada ponteiro ou número do visor, registre a data de leitura e dirija-se a nossa loja de serviços.

3 - Caso esta conta não seja paga até a data de vencimento, serão cobrados multa de 2%, juros de 0,0333333% ao dia e correção monetária com base na atualização do IGP-M, podendo ainda ser suspenso o fornecimento de energia e o responsável ter seu nome incluído em cadastros de inadimplentes (SPC, SERASA e outros).

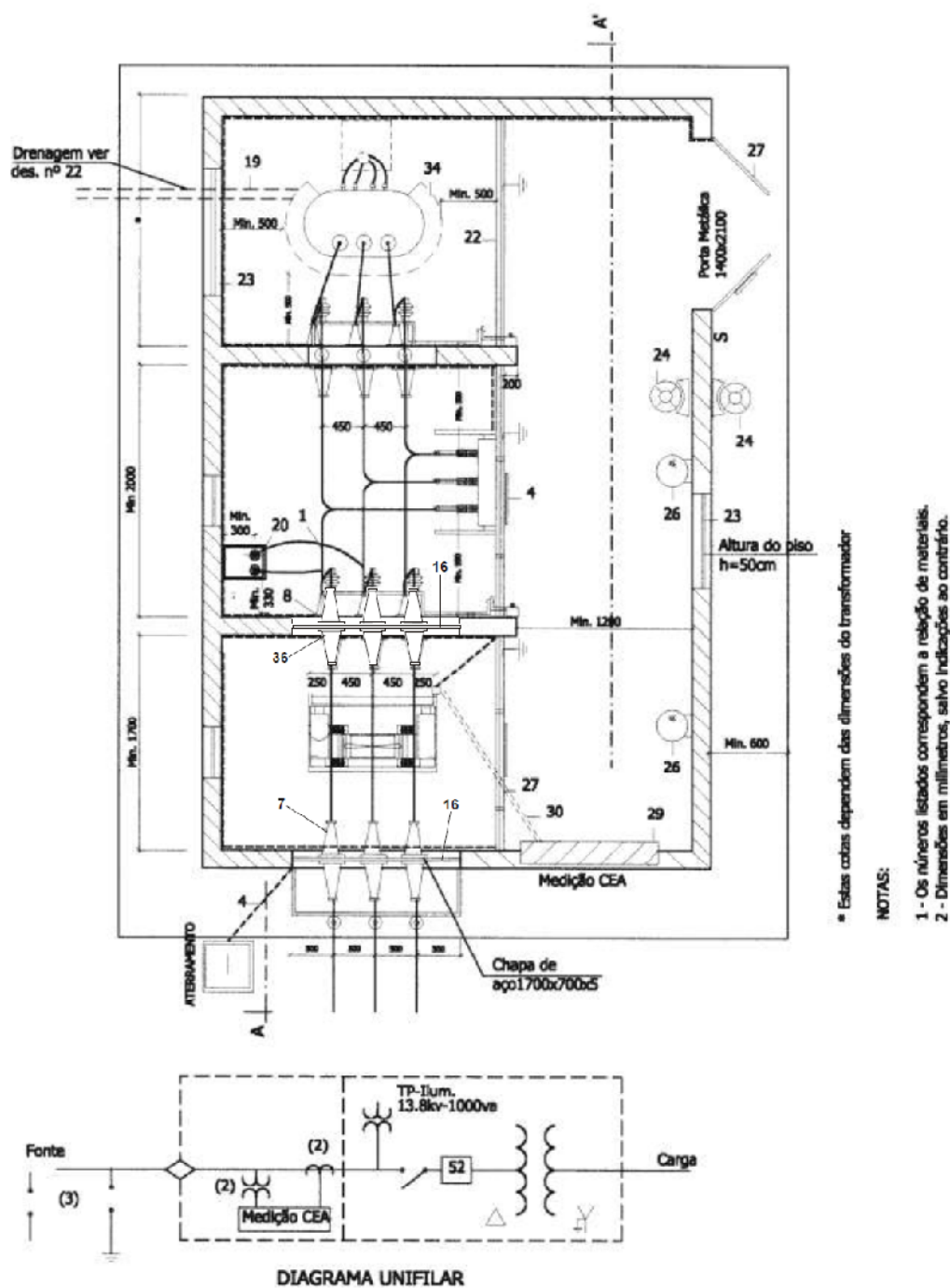
4 - Solicite a qualquer tempo os valores realizados e a compensação (quando houver violação dos limites de continuidade individuais) do DIC (Duração de Interrupções por Unidade Consumidora), FIC (Frequência de Interrupções por Unidade Consumidora) e DMIC (Duração Máxima das Interrupções por Unidade Consumidora).

5 - Para sua comodidade utilize o sistema de débito automático em conta-corrente, escolhendo um dos bancos conveniados.

Fonte: Prefeitura do Campus (2016).

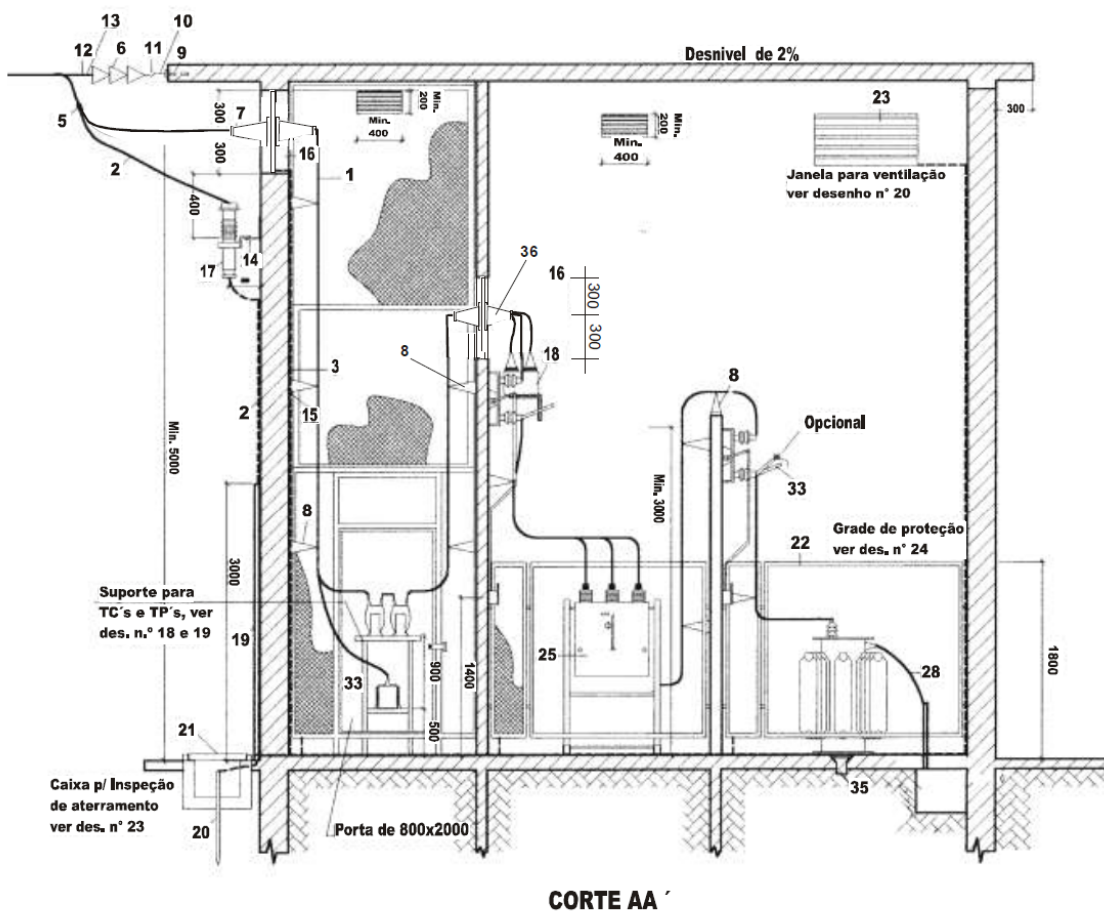
ANEXO 08 - DESENHOS TÉCNICOS DO PADRÃO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA À UNIFAP

Figura 1 - Instalação Abrigada, acima de 225 kVA; Medição em Alta Tensão, Entrada Aérea.
(Desenho 01)



Fonte: NTD 02 - CEA (2001).

Figura 2 - Instalação Abridada, acima de 225 kVA; Medição em Alta Tensão, Entrada Aérea.
(Desenho 02)

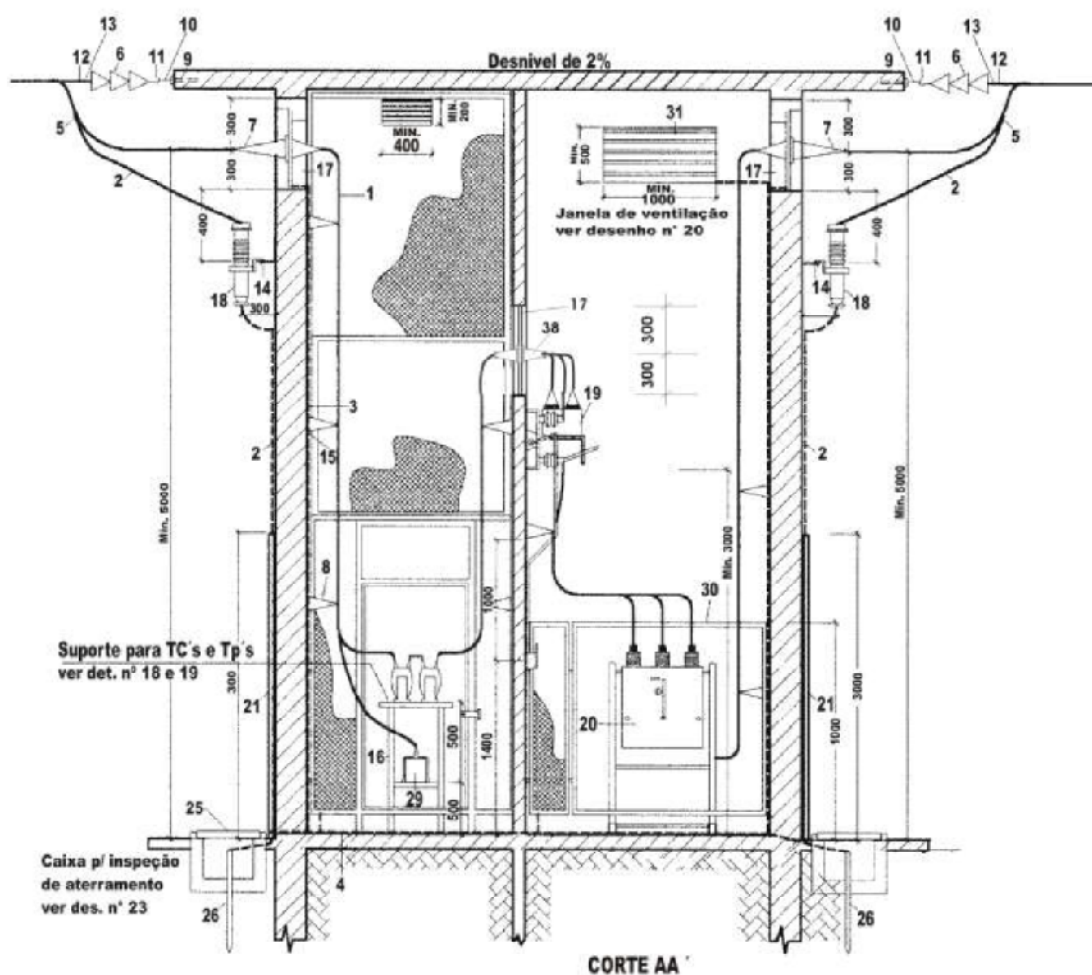


NOTAS:

- 1- Os números listados correspondem a relação de materiais.
2- Dimensões em milímetros, salvo indicações ao contrário.

Fonte: NTD 02 - CEA (2001).

Figura 4 - Instalação Abrigada, acima de 225 kVA; Cabine de Medição/Proteção em Alta Tensão, Entrada Aérea. (Desenho 02)



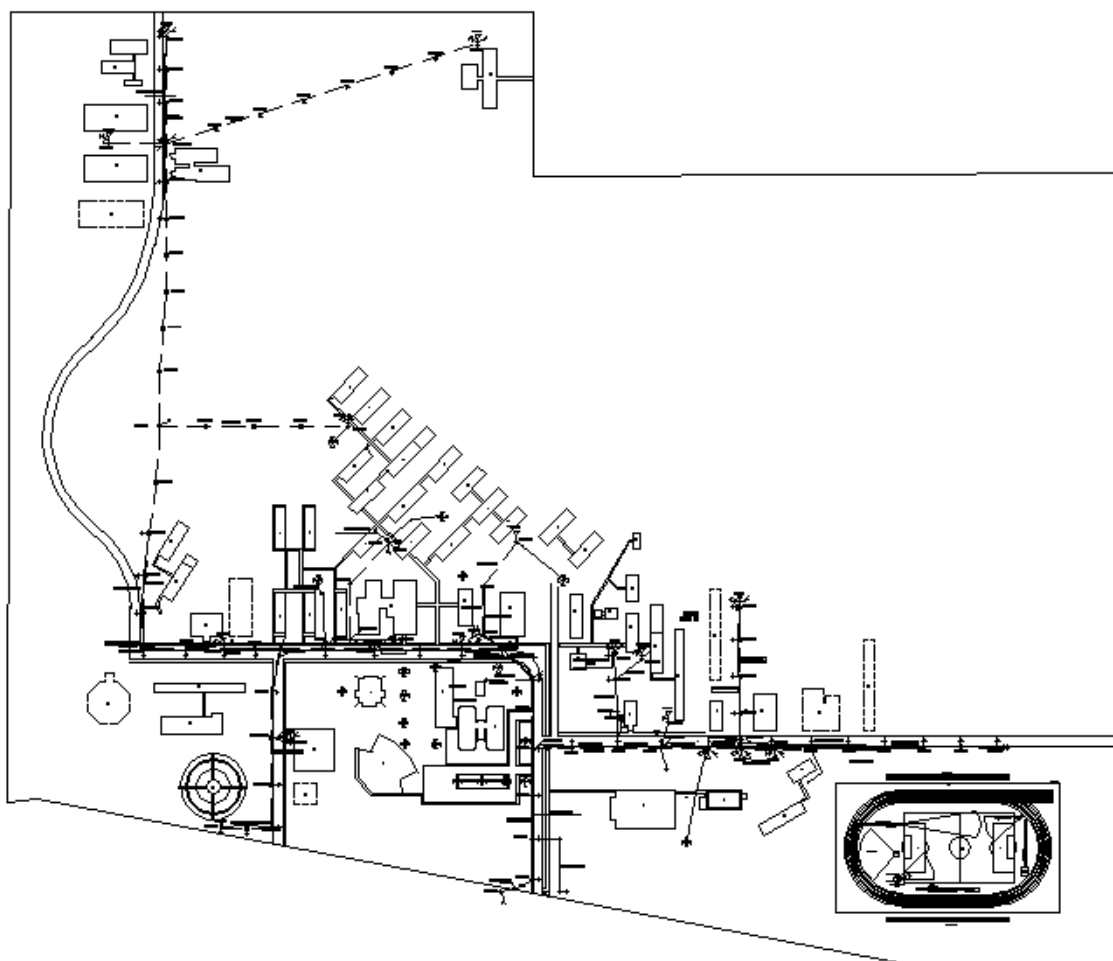
NOTAS:

- 1- Os números listados correspondem a relação de materiais.
- 2- Dimensões em milímetros, salvo indicações ao contrário.

Fonte: NTD 02 - CEA (2001).

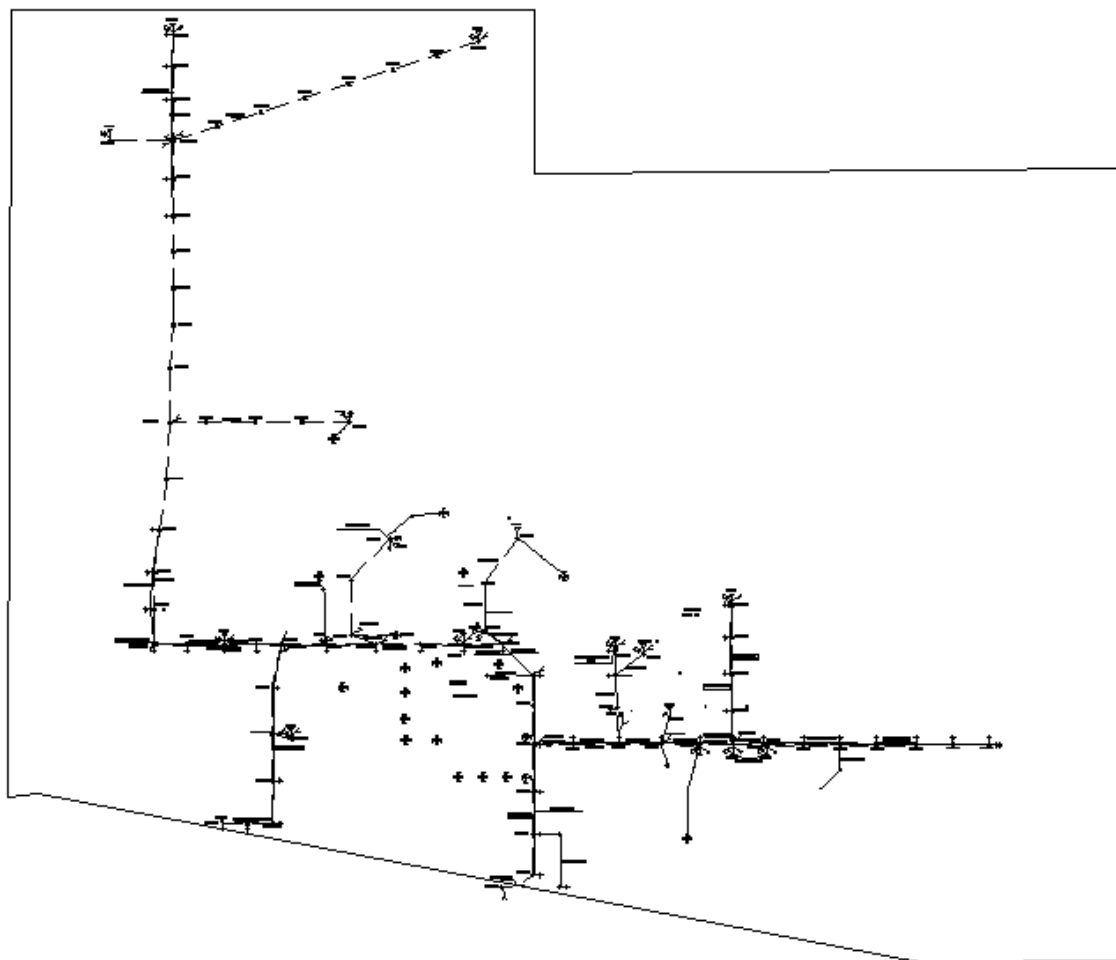
ANEXO 09 - DESENHOS TÉCNICOS DO PADRÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DA UNIFAP

Figura 1 - Planta Baixa do Campus com a Rede de Distribuição Elétrica.



Fonte: Prefeitura do Campus (2016).

Figura 2 - Planta Baixa da Rede de Distribuição Elétrica do Campus.



Fonte: Prefeitura do Campus (2016).

ANEXO 10 - QUADRO DE DIMENSIONAMENTO DA SUBESTAÇÃO ABAIXADORA DA REITORIA

Quadro 1 - Dimensionamento da Subestação Abaixadora da Reitoria

DIMENSIONAMENTO SE ABAIXADORA - REITORIA									
Item	Quadro	Tipo de carga	Carga Instalada			Carga Demandada			Observações
			W	cos ϕ	VA	Fd	W	VA	
I	QLF - Vivência e Lazer	Iluminação	12380	0,9	13755,5	-	-	-	NTD-02/TAB. 2.1 (REDE CELPA)
		Ar Condicionado	27800	0,8	34750	1	27800	34750	5 x AC - 30000BTU + 1 x SPLIT AIR DE 5TR + 1 x SPLIT AIR DE 3 TR
II	QLF - AUD (Auditório)	Iluminação	14350	0,9	15944,4	-	-	-	NTD-02/TAB. 2.1 (REDE CELPA)
		Ar Condicionado	5200	0,8	6500	1	5200	6500	2 x AC - 18000BTU
III	QFAC - AUD (Auditório)	Ar Condicionado	91200	0,8	114000	1	91200	114000	6 x SPLIT AIR DE 15kW + 1xSPLIT AIR DE 1,2kW
IV	QLF - T/01(Reitoria)	Iluminação	15872	0,9	17635,5	-	-	-	NTD-02/TAB. 2.1 (REDE CELPA)
V	QLF - T/02(Reitoria)	Iluminação	14882	0,9	16091,1	-	-	-	NTD-02/TAB. 2.1 (REDE CELPA)
VI	QLF -S/01 (Reitoria)	Iluminação	15976	0,9	17751,1	-	-	-	NTD-02/TAB. 2.1 (REDE CELPA)

VII	QLF -S/02 (Reitoria)	Iluminação	12650	0,9	14055,5	-	-	-	NTD-02/ TAB. 2.1 (REDE CELPA)
VIII	QGAC (Reitoria)	Ar Condicionado	151000	0,8	188750	1	151000	188750	CENTRAIS DE AR (8 x 7,5TR + 4 x 10TR + 1 x 5TR)
		Outros	1472	0,85	1731,7	1	1472	1731,7	1 x 2CV (PPV)
IX	QGBT (Iluminação SE)	Iluminação	1200	1	1200	-	-	-	ILUMINAÇÃO E TOMADAS - SE ABAIXADORA
X	SUB-TOTAL	Iluminação	86910	-	96433,1	-	64437	70263,1	NTD-02/ TAB. 2.1 (REDE CELPA)
		Ar Condicionado	275200	-	344000	1	275200	344000	NTD-02/ TAB. 5 (REDE CELPA)
		Outros	1472	-	1731,7	1	1472	1731,7	-
XI	TOTAL	-	363582	-	442165	-	341109	416835	SE - 2 X 225 KVA (13800/ 220 - 127V, 60Hz)

Fonte: Adaptado de (Projeto Elétrico Subestação Abaixadora da Reitoria, EL-03/03 - Prefeitura do Campus, 2016).

ANEXO 11 - CATÁLOGO DO MÓDULO FOTOVOLTAICO ESCOLHIDO

Figura 1 - Módulo Fotovoltaico KD240GX-LFB do fabricante KYOCERA

HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL PHOTOVOLTAIC MODULE



CUTTING EDGE TECHNOLOGY

As a pioneer with over 35 years in the solar energy industry, Kyocera demonstrates leadership in the development of solar energy products. Kyocera's *Kaizen* Philosophy, commitment to continuous improvement, is shown by repeatedly achieving world record cell efficiencies.

QUALITY BUILT IN

- UV stabilized, aesthetically pleasing black anodized frame
- Supported by major mounting structure manufacturers
- Easily accessible grounding points on all four corners for fast installation
- Proven junction box technology with 12 AWG PV wire to work with transformerless inverters
- Quality locking MC4 plug-in connectors to provide safe and quick connections

RELIABLE

- Proven superior field performance
- Tight power tolerance
- Only module manufacturer to pass rigorous long-term testing performed by TÜV Rheinland

QUALIFICATIONS AND CERTIFICATIONS

UL Listing
QIGU.E173074





Registered to ISO9001-2000

NEC 2008 Compliant, UL 1703, ISO 9001, and ISO 14001
UL1703 Certified and Registered, UL Fire Safety Class C, CEC, FSEC



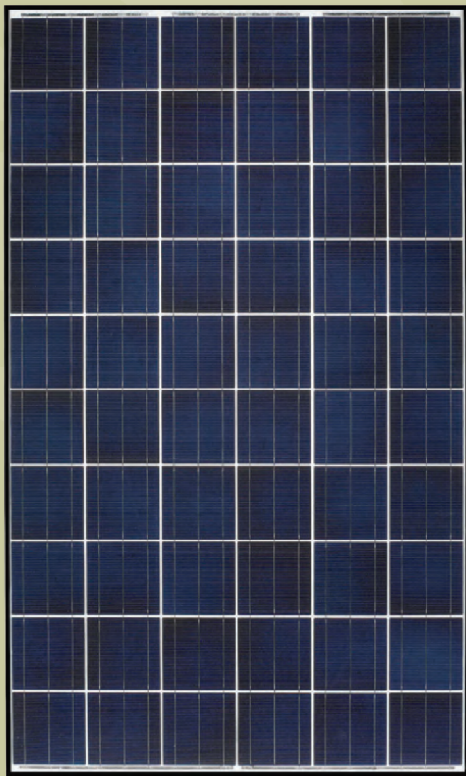
Manufactured in San Diego, California

QUALIFIED FOR "BUY AMERICAN"

Available Upon Request

KD 200-60 F Series

KD240GX-LFB KD245GX-LFB KD250GX-LFB





SOLAR by KYOCERA

Fonte: <http://www.kyocerasolar.com/assets/001/5522.pdf>. Acesso em Março de 2016.

Figura 2 - Especificações técnicas do módulo fotovoltaico.

KD 200-60 F Series

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Standard Test Conditions (STC)

STC = 1000 W/m² irradiance, 25°C module temperature, AM 1.5 spectrum*

	KD240GX-LFB	KD245GX-LFB	KD250GX-LFB	
P _{max}	240	245	250	W
V _{mp}	29.8	29.8	29.8	V
I _{mp}	8.06	8.23	8.39	A
V _{oc}	36.9	36.9	36.9	V
I _{sc}	8.59	8.91	9.09	A
P _{tolerance}	+5/-3	+5/-3	+5/-3	%

Nominal Operating Cell Temperature Conditions (NOCT)

NOCT = 800 W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, AM 1.5 spectrum*

T _{NOCT}	45	45	45	°C
P _{max}	172	176	180	W
V _{mp}	26.7	26.8	26.8	V
I _{mp}	6.45	6.58	6.72	A
V _{oc}	33.7	33.7	33.7	V
I _{sc}	6.95	7.21	7.36	A
PTC	217.3	219.1	223.7	W

Temperature Coefficients

P _{max}	-0.46	-0.46	-0.46	%/°C
V _{mp}	-0.52	-0.52	-0.52	%/°C
I _{mp}	0.0064	0.0065	0.0065	%/°C
V _{oc}	-0.36	-0.36	-0.36	%/°C
I _{sc}	0.060	0.060	0.060	%/°C
Operating Temp	-40 to +90	-40 to +90	-40 to +90	°C

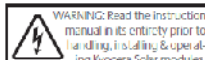
System Design

Series Fuse Rating	15 A
Maximum DC System Voltage (UL)	600 V
Hailstone Impact	1in (25mm) @ 51mph (23m/s)

* Subject to simulator measurement uncertainty of +/- 1%.

KYOCERA reserves the right to modify these specifications without notice.

NEC 2008 COMPLIANT
UL 1703 LISTED

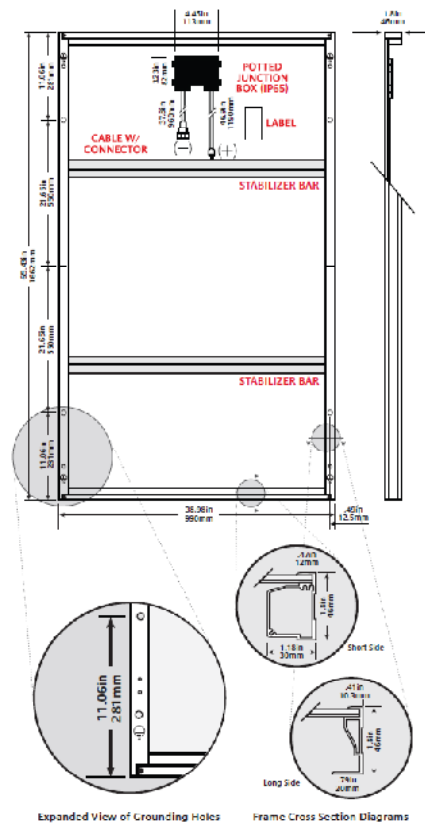


MODULE CHARACTERISTICS

Dimensions:	65.43in/38.98in/1.8in
length/width/height	(1662mm/990mm/46mm)
Weight:	46.3lbs (21.0kg)

PACKAGING SPECIFICATIONS

Modules per pallet:	20
Pallets per 53' container:	36
Pallet box dimensions:	66in/40in/47in
length/width/height	(1675mm/1005mm/1175mm)
Pallet box weight:	1040 lbs (470kg)



Expanded View of Mounting Holes Frame Cross Section Diagrams

Legend

○ MOUNTING HOLES .35in (9mm) ■ DRAINAGE HOLES .35in (9mm) ⊕ GROUND SYMBOL .35in (9mm)

047212

OUR VALUED PARTNER

KYOCERA Solar, Inc. 800-223-9580 800-523-2329 fax www.kyocerasolar.com

ANEXO 12 - CATÁLOGO DO INVERSOR ESCOLHIDO

Figura 1 - Inversor PVI SUNNY TRIPOWER 10000TL do fabricante SMA

SUNNY TRIPOWER
5000TL – 12000TL



Economical

- Maximum efficiency of 98.3 %
- Shade management with OptiTrac Global Peak
- Active temperature management with OptiCool

Flexible

- DC input voltage of up to 1,000 V
- Integrated grid management functions
- Reactive power supply
- Module-tailored system design with Optiflex

Communicative

- SMA Webconnect
- Sunny Portal communication
- Bluetooth® communication
- Simple country configuration
- Multifunction relay comes standard

Easy-to-Use

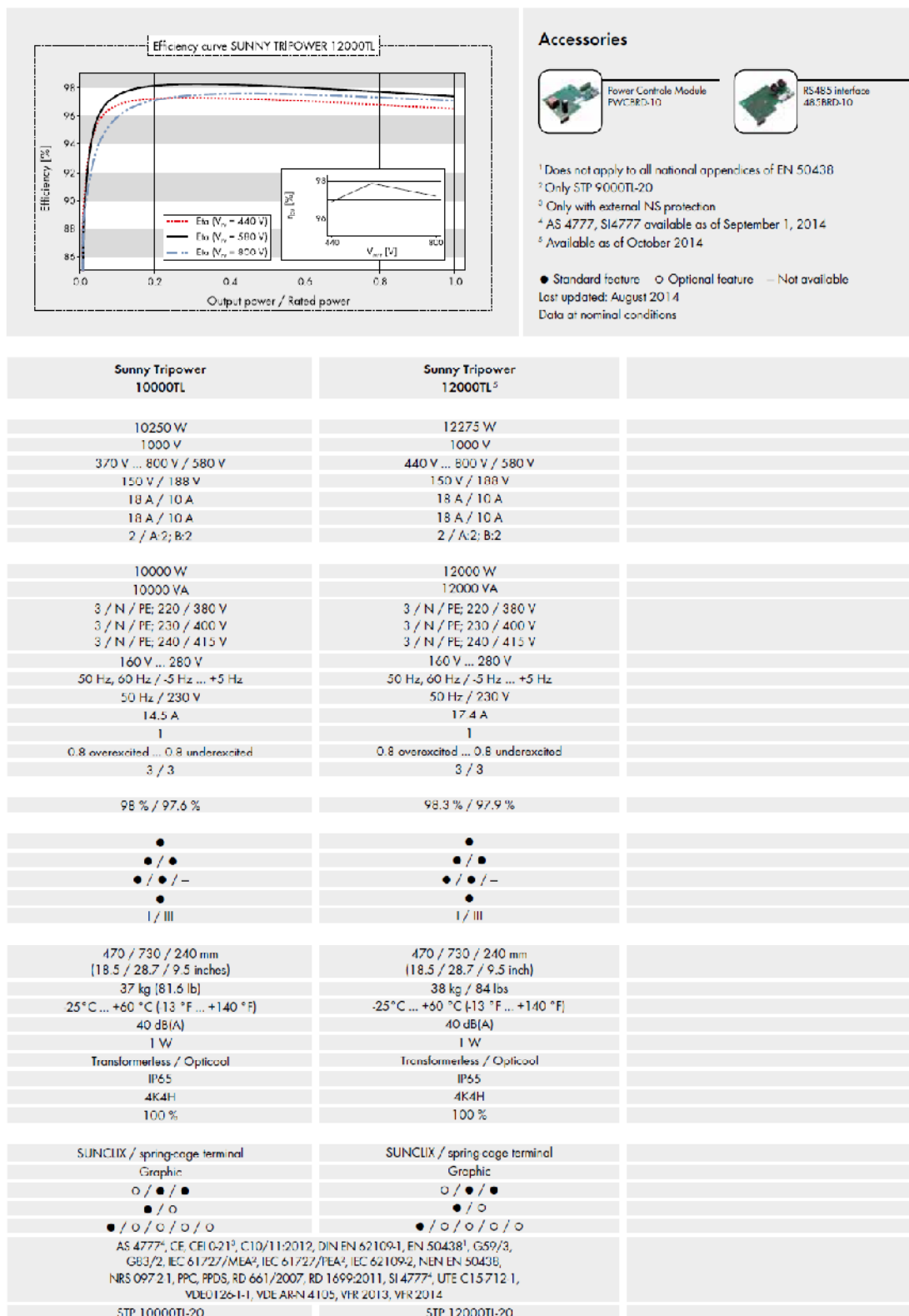
- Three-phase feed-in
- Cable connection without tools
- SUNCLIX DC plug-in system
- Integrated ESS (Electronic Solar Switch)
- Easy wall mounting

SUNNY TRIPOWER 5000TL – 12000TL

The Three-Phase Inverter – Not Only for Your Home...

...but also perfectly suited to the design of the traditional residential PV system up to the higher power outage range. After all, with the addition of the new 10 kVA and 12 kVA versions to the portfolio, the Sunny Tripower product range covers a broad spectrum of applications. Users benefit from numerous tried-and-tested product features. Highly flexible with its proven Optiflex technology and asymmetrical multistring, it delivers maximum yields with a top efficiency rating and OptiTrac Global Peak. In addition to Bluetooth communication, it also comes standard with a direct Sunny Portal connection via SMA Webconnect. Other standard features include integrated grid management functions, reactive power supply and suitability for operation with a 30 mA RCD. In summary, when it comes to system design in the 5 to 12 kW power classes, the Sunny Tripower is the optimum product solution – for applications ranging from use in your own home and larger PV rooftop systems to implementation of smaller-scale PV farms.

Figura 2 - Especificações técnicas do inversor do fabricante SMA



ANEXO 13 - ORÇAMENTO PROPOSTO PELAS EMPRESAS NACIONAIS

Quadro 1 - Orçamento proposto pelas empresas

Fabricante	Descrição	Potência Instalada (kWp)	Preço do Wp	Preço Total
Kyocera	Sistema Fotovoltaico em regime turn-key incluindo: (estrutura metálica, módulos fotovoltaicos, fiação CC, caixas de combinação, inversores CC/CA, serviços de instalação CC, proteções, serviços de instalação CA, projeto, fretes, treinamento, comissionamento, software de monitoramento).	160	R\$ 12,00	R\$ 1.920.000,00
Martifer	Projeto Fotovoltaico EPC (Engineering, procurement and construction), incluindo: Módulos Fotovoltaicos: fornecimento e instalação Inversores e instalação elétrica: fornecimento e instalação Sistema de monitorização: fornecimento e instalação Estruturas e trabalhos de construção civil: fornecimento e instalação	160	R\$ 8,06	R\$ 1.289.600,00
Araxá Solar	Sistema Fotovoltaico em regime turn-key incluindo: Módulos fotovoltaicos, inversores e software de monitoramento Administração do Projeto	160	R\$ 8,00	R\$ 1.280.000,00

	Trabalhos preparatórios Instalação Comissionamento do sistema e procedimentos finais			
Jovic Engenharia	Fornecimento de módulos fotovoltaicos e inversores Estrutura metálica para instalação Quadro de Interligação e proteção Cabos Conectores MC4 Instalação Projeto para regularização (ART) Manual de Operação e Manutenção	160	R\$ 6,76	R\$ 1.081.600,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).