



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS PAU DOS FERROS**

AMANDA DYLANA DANTAS CAVALCANTE

**PROJETO E ANÁLISE DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO PARA O BLOCO DOS
PROFESSORES DA UFRSA CENTRO
MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS
FERROS.**

PAU DOS FERROS

2017

AMANDA DYLANA DANTAS CAVALCANTE

**PROJETO E ANÁLISE DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO PARA O BLOCO DOS
PROFESSORES DA UFERSA CENTRO
MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS
FERROS.**

Trabalho de Conclusão de Curso submetida
à Coordenação do Curso de Bacharelado em
Ciência e Tecnologia, da Universidade Fede-
ral Rural do Semi-Árido, como requisito par-
cial para a obtenção do grau de Bacharel em
Ciência e Tecnologia

Orientador: Ádller de Oliveira Guimarães

Co-orientador: Adelson Menezes Lima

PAU DOS FERROS

2017

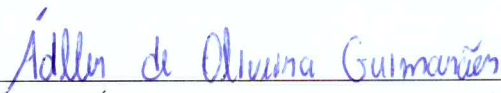
AMANDA DYLANA DANTAS CAVALCANTE

PROJETO E ANÁLISE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O BLOCO DOS PROFESSORES DA UFERSA CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS.

Trabalho de Conclusão de Curso submetida à Coordenação do Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia

Aprovada em 23/10/2017

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ádller de Oliveira Guimarães (Presidente)
Universidade Federal Rural do Semi-Árido



Prof. Me. Adelson Menezes Lima (1º Membro)
Universidade Federal Rural do Semi-Árido



Prof. Dr. Cecilio Martins de Souza Neto (2º Membro)
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C376p Cavalcante, Amanda Dylana Dantas .
Projeto e Análise de Um Sistema Fotovoltaico
para O Bloco dos Professores da UFERSA Centro
Multidisciplinar Pau dos Ferros. / Amanda Dylana
Dantas Cavalcante. - 2017.
50 f. : il.

Orientador: Adller de Oliveira Guimarães .
Coorientador: Adelson Menezes Lima .
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2017.

1. Energia Solar.. 2. Sistema Fotovoltaico
Conectado à Rede.. 3. Análise Econômica.. 4.
UFERSA/Pau dos Ferros.. 5. Semiárido.. I.
Guimarães , Adller de Oliveira, orient. II. Lima
, Adelson Menezes, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

*Em memória de tio
Nilton de Freitas
Cavalcante.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Bruno Fontes de Souza por todo o tempo de dedicação destinada a transferência deste trabalho para latex, pela paciência e boa vontade empregada até aqui.

Agradeço a Ádller de Oliveira Guimarães orientador do presente trabalho, por estar sempre disponível, pela dedicação prestada a este trabalho e pela confiança empregada a mim.

Agradeço também a Adelson Menezes Lima co-orientador do presente trabalho pela colaboração e suporte empregado a este trabalho.

Agradeço a Ayala Gurgel, meu primeiro orientador, pela confiança a mim prestada e por me ajudar a conseguir a base para produzir um trabalho de cunho científico.

Agradeço a Luma Sllary Fernandes Oliveira por estar sempre ao meu lado, se tornando meu maior suporte dentro da UFERSA, suporte esse que foi essencial para a conclusão deste e de outros trabalhos.

Agradeço a Alexsandro Linemberg por estar sempre disponível nas minhas horas de necessidades, pela amizade e por todo suporte prestado, neste trabalho e no restante do curso.

Agradeço acima de tudo a minha mãe Luzélia Olimpia Dantas, a principal responsável pelas minhas realizações, sendo ela a minha maior motivação nas horas difíceis. E em especial ao meu pai Arilton de Bessa Cavalcante, que mesmo distante consegue estar presente na minha vida.

Agradeço a Francisco de Freitas Regis, por comparecer no meu dia a dia, mesmo sem ter nenhuma obrigação. Por dar a nossa família o suporte necessário, pela paciência e dedicação prestada a mim e a Milton de Freitas Cavalcante Neto.

Agradeço a Dornellys Hallan de Bessa Cavalcante por todo o apoio dado por fora do curso.

Agradeço as minhas primas Juliana Dantas e Lanay Dantas pela amizade sincera e momentos únicos já compartilhados. E em especial a Marina Dantas, que comigo compartilha de algumas dificuldades, conseguindo tornar mais fáceis algumas delas.

Agradeço a Ana Flávia de Alves Bessa, por ter me recebido em sua casa na primeira metade do curso, sendo esta para mim, uma experiência única, agradeço pela amizade que até então compartilhamos.

Aos meus demais amigos e familiares, muito obrigado por tudo que me fizeram até o presente momento.

RESUMO

O presente trabalho se trata do projeto de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) para o bloco dos professores da UFERSA Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros, seguido da análise econômica do mesmo. A pesquisa se justifica em parte, pela necessidade de redução dos custos com energia elétrica no Centro Multidisciplinar da UFERSA em Pau dos Ferros, pela abundância de recurso solar disponível no semiárido brasileiro, juntamente com a necessidade de diversificação da matriz energética do país. A análise econômica é feita através do indicador econômico *Pay-back* descontado, do qual se obteve um projeto de um SFCR economicamente viável.

Palavras-chave: Energia Solar. Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Análise Econômica. UFERSA/Pau dos Ferros. Semiárido.

ABSTRACT

The present work deals with the project of a Connected Network Photovoltaic System (SFCR) for the UFERSA Professors' Block Pau dos Ferros Multidisciplinary Center, followed by the economic analysis of the same. The research is justified in part by the need to reduce electricity costs at the UFERSA Multidisciplinary Center in Pau dos Ferros, due to the abundance of available solar resources in the Brazilian semi-arid region, together with the need to diversify the country's energy matrix. The economic analysis is done through the discounted economic pay-back indicator, from which a project of a photovoltaic system connected to the economically viable network was obtained.

Keywords: Solar energy. Network-connected Photovoltaic System. Economic analysis. UFERSA/Pau dos Ferros. Semi-arid.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Tabela Climática de Pau dos Ferros.

Tabela 02: Média de radiação solar de Mossoró.

Tabela 03: Salas dos Professores.

Tabela 04: Apoio Docente.

Tabela 05: Copa.

Tabela 06: Auditório.

Tabela 07: Banheiros.

Tabela 08: Depósito.

Tabela 09: Corredor.

Tabela 10: Iluminação Externa.

Tabela 11: Consumo Total de Energia do Bloco de Professores.

Tabela 12: Custo de Instalação de Um Sistema Fotovoltaico.

Tabela 13: Padrão de Custo com os Demais Componentes.

Tabela 14: Custo com os Demais Componentes.

Tabela 15: Custo Total do Projeto.

Tabela 16: Viabilidade Econômica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Módulos Fotovoltaicos de Silício.

Figura 02: Diagrama de Sistemas Fotovoltaico em Função da Carga Utilizada.

Figura 03: Sistema Conectado à Rede.

Figura 04: Irradiação Solar Incidente Sobre Superfície com Inclinação Igual à Latitude do Local e Voltada para o Equador.

Figura 05: Vista Superior da UFERSA Campus Pau dos Ferros.

Figura 06: Vista Superior do Bloco de Professores I.

Figura 07: Norte Geográfico do Bloco de Professores I.

LISTA DE SÍMBOLOS

Nm	Número de módulos.
Ninv	Número de Inversores.
Pm	Potência do módulo.
PkWp	Potência instalada do sistema em kWp
Voc,string	Tensão do arranjo de módulos conectado em circuito aberto.
Voc	Tensão do módulo para circuito aberto.

LISTA DE SIGLAS

ABINNE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanceamento Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IFRN	Instituto Federal do Rio Grande do Norte
IGPM	Índice Geral de Preços de Mercado
IRT	Índice de Reajuste Tarifário
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	p. 14
1.1	Problema	p. 15
1.2	Justificativa	p. 15
1.3	Estado da Arte	p. 16
1.4	Objetivos	p. 17
1.4.1	Objetivo Geral	p. 17
1.4.2	Objetivos Específicos	p. 17
2	ENERGIA SOLAR	p. 18
2.1	Panorama da Energia Solar	p. 18
2.2	Energia Solar Fotovoltaica	p. 19
2.2.1	Efeito Fotovoltaico	p. 20
2.3	Sistemas de Energia	p. 21
2.3.1	Sistemas Autônômos	p. 21
2.3.2	Sistemas Conectados à Rede	p. 22
2.3.2.1	ANEEL- Resolução Normativa nº 482/2012 e nº 687/2015	p. 22
2.4	Custo de Produção	p. 23
2.5	Parâmetros de Viabilidade Econômica	p. 24
3	METODOLOGIA	p. 26
3.1	Dimensionamento	p. 26
3.1.0.1	Levantamento de Cargas	p. 28

3.1.1	Projeto: Sistema Conectado à rede	p. 29
4	VIABILIDADE ECONÔMICA	p. 32
4.1	Levantamento de Preços dos Equipamentos	p. 32
4.2	Viabilidade por meio do Pay-back Descontado	p. 34
5	CONCLUSÃO	p. 38
	REFERÊNCIAS	p. 39
	Anexo A – Anexo 1	p. 43
	Anexo B – Anexo 2	p. 45
	Anexo C – Anexo 3	p. 47

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o aumento da demanda por energia elétrica tem estimulado o crescimento de forma significativa em investimentos em fontes alternativas de energia, visando o uso complementar dessas fontes, de maneira responsável e sustentável, com ênfase em fontes alternativas limpas, como a eólica, solar, biomassa e muitas outras que compõe a vasta matriz energética. No que diz respeito à energia solar, essa demanda tem crescido muito, uma vez que, trata-se de uma fonte renovável, abundante, de fácil instalação e vasta aplicação. Segundo a ANEEL (2008), entre a década de 1973 até a atual, foi aumentada em 500% a participação da energia solar na matriz energética mundial.

O grande potencial solar no Brasil e as novas regras de geração do setor elétrico favorecem ainda mais a expansão dessa fonte, que por meio de programas como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e Programa para o Desenvolvimento de Energia nos Estados e Municípios (PRODEEM) têm se mostrado como uma solução não só de uso complementar, mas também de uso sustentável e autossuficiente em locais mais isolados. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2013), em comparação com os maiores produtores do mundo, Alemanha e Itália por exemplo, o Brasil, em especial a região Nordeste, apresenta os maiores índices de irradiação solar global, não deixando a desejar, o Rio Grande do Norte também apresenta altos índices de irradiação solar.

O aumento na geração de energia elétrica por meio de usinas solares, requer antes da sua instalação estudos de viabilidade econômica, que através de métodos da matemática financeira conseguem indicar se um projeto é ou não viável. Uma grande referência em estudos aplicados a dimensionamento de custos de um sistema fotovoltaico é a ABINEE (Associação Brasileira de Indústria Elétrica e Eletrônica) pela qual foi adotado o método do *Pay-back* descontado na análise do projeto do sistema fotovoltaico dimensionado para o bloco dos professores do Centro Multidisciplinar da UFERSA em Pau dos Ferros.

A implementação do projeto de um sistema fotovoltaico de acordo com a análise econômica, é viável. Atuando de maneira coerente nos que diz respeito, as características

da região do alto oeste potiguar onde situa-se a cidade de Pau dos Ferros está localizada em uma área que recebe alta incidência energética solar, devido a sua localização geográfica, próxima a linha do equador. Com isso espera-se que futuramente a energia solar fotovoltaica torne-se uma forte alternativa do mercado energético regional juntamente com a energia eólica que já é presente no estado. (RIO GRANDE DO NORTE, 2016).

1.1 Problema

Atualmente busca-se a redução dos problemas e impactos oriundos das fontes convencionais de energia que vão desde o esgotamento de recursos naturais como os combustíveis fósseis, a emissão de gases para a atmosfera, alteração da paisagem, que é um dos impactos causados pelo excesso de linhas de transmissão. No Brasil, a fonte principal de abastecimento energético é a energia hidrelétrica que embora seja uma fonte limpa, provoca impactos significativos, tais como a diminuição da correnteza dos rios e alteração da temperatura dos rios. Uma alternativa concreta para a redução dos impactos das fontes convencionais é o uso de fontes renováveis, as quais podem ser utilizadas de forma complementar a geração hidroelétrica (Alves, 2014, p.25).

Segundo Nascimento (2015), o governo federal voltou-se para o uso de fontes alternativas por consequência de uma crise hídrica, onde parte das hidrelétricas no país estão funcionando a “Fio D’água”. A expressão fio d’água faz referência ao modelo de usina PCH (Pequena Central Hidrelétrica), o que indica níveis críticos em relação ao nível das represas que atualmente funcionam assim, tal fator traz limitações a atual matriz energética.

Vale lembrar que o Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros está em fase de expansão, onde parte dos blocos estão em construção, e a chegada destes reflete diretamente no aumento do consumo de energia do campus. Diante disso se faz necessária a busca por novas alternativas de energia.

1.2 Justificativa

Sabe-se que uma universidade possui um alto custo com energia elétrica, que mantém ativos os recursos oferecidos, custo este que na UFERSA em Pau dos Ferros está em crescimento, visto que existem obras em andamento e em breve estarão em funcionamento

juntamente com os blocos ocupados, aumentando ainda mais esta demanda por energia. O crescimento deste custo é apresentado por Aquino (2017), ao fazer uma análise em cima das demandas por energia de 2013 a 2017, onde o custo mensal com energia passou de 2.776,58 reais a 4.603,15 reais em meses letivos para as demandas contratadas. Além disso, com a implementação do Curso de Engenharia de Software e a inauguração de cinco novos blocos fica claro que essa demanda tende a aumentar mais de 100%, refletindo diretamente nos custos atuais.

O favorável potencial da energia solar fotovoltaica tem impulsionado pesquisas no mundo todo, com ênfase em reduzir os custos de um sistema fotovoltaico, essa redução torna-a ainda mais viável para a região na qual a UFERSA está inserida. Além disso, já foi provada a viabilidade local de energia solar em Pau dos Ferros, uma vez que, está em funcionamento uma usina de minigeração solar fotovoltaica no campus Pau dos Ferros do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), onde Queiroz (2016), após uma análise de desenvolvimento desse sistema, concluiu que o desempenho após uns meses foi maior que o esperado, onde o *pay-back* será de abaixo de 12 anos.

Por outro lado, ressalta-se que todos os segmentos da sociedade devem contribuir efetivamente para uma melhoria do meio ambiente, pois os riscos devido ao aquecimento global são reais e as atitudes e ações devem ser concretas, principalmente os referentes à conservação e eficiência de energia. Essa mudança de paradigma contribuirá substancialmente para futuras gerações (MELO, et al., 2010).

Ainda com enfoque na responsabilidade social, a energia hidrelétrica está na base de toda a cadeia de produção industrial, agropecuária e também na prestação de serviços. A necessidade de reduzir o custo deste insumo é grande. Isto produz enormes benefícios não só para a cadeia produtiva, tornando-a mais competitiva, mas também para a população em geral, pois os preços finais dos produtos ou serviços acabam sendo reduzidos (MELO, et al., 2010).

1.3 Estado da Arte

Ribeiro (2012) em seu trabalho de conclusão de curso fez uma pesquisa objetivada no levantamento de dados técnicos e econômicos para a avaliação da viabilidade econômica da geração de energia elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos como geradores distribuídos no cenário brasileiro.

Na dissertação de Nascimento (2015), o objetivo foi estudar e analisar a viabilidade

da energia solar fotovoltaica no nordeste do Brasil, buscando frisar os maiores desafios de sua implementação, apontando sua vantagens e desvantagens , mostrando como as modificações de um ambiente regulatório pode influenciar na evolução de desenvolvimento da geração solar no país.

O trabalho de conclusão de Queiroz (2016), teve como enfoque da pesquisa deu-se ao emprego da energia solar na geração de eletricidade a partir da conversão feita por módulos fotovoltaicos, com enfoque maior na atuação dessa solução sustentável em escala de minigeração solar, onde a usina objeto de estudo foi usina de geração solar fotovoltaica conectada à rede localizada IFRN campus Pau dos Ferros.

Siqueira (2015) apresentou em sua dissertação uma metodologia para dimensionamento de um sistema de microgeração solar fotovoltaico conectado à rede elétrica e a análise da viabilidade econômica da instalação.

No artigo de Texeira, Carvalho e Leite (2017), o objetivo foi analisar por meio de cálculos, as possibilidades técnicas e econômicas para implantação de um sistema de energia solar através da Termoconversão e da Fotoconversão em locais onde já possui a rede elétrica da concessionária para comparação dos dois sistemas em Belo Horizonte, em três tipos de cenários diferentes.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede no bloco dos professores da UFERSA no Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Obter dados sobre o consumo de energia elétrica no campus;
- Levantamento das cargas do bloco de professores;
- Estimar o consumo de energia elétrica do prédio;
- Projetar um sistema solar fotovoltaico conectado à rede;
- Analisar a viabilidade econômica dos sistema projetado.

2 ENERGIA SOLAR

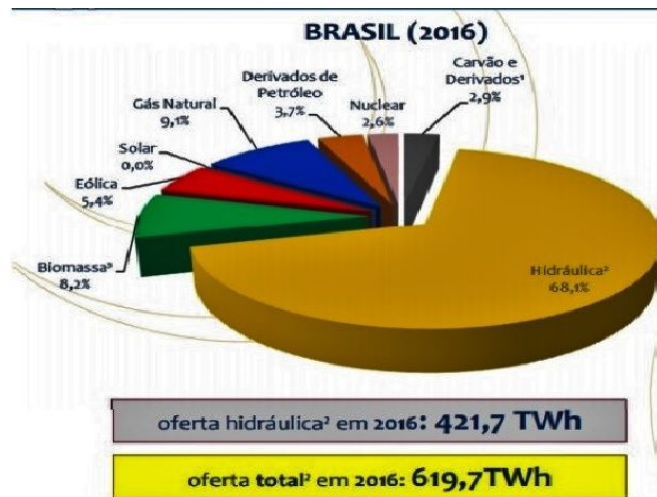
A energia solar é uma fonte promissora, levando em conta suas inúmeras qualidades, uma fonte de energia alternativa, inesgotável e renovável. Além disso é uma fonte primária, o que quer dizer que a energia provinda do sol é também base para basicamente todas as fontes que existem atualmente. Segundo RIBEIRO (2008), diante da necessidade de diversificar a matriz energética, no Brasil e no resto do mundo um estudo de viabilidade de implantação de um sistema solar é de extrema importância, principalmente se tratando de fontes alternativas de energia.

2.1 Panorama da Energia Solar

No ano de 2016, segundo dados do Balanceamento Energético Nacional (BEN), o Brasil possui uma capacidade instalada para geração elétrica de 15.0338 MW, no mesmo ano, foi gerado por autoprodução de eletricidade 98.600 GWh. Mas estes valores são menores que os valores de 2015, pelo relatório final de 2017 do BEN-2017 o ano de 2016 apresentou uma queda no consumo interno e externo de energia elétrica no Brasil nos setores comerciais, industriais, residencial e também na demanda de exportação. Fato esse que é mostrado em dados levantados em 2014, foram produzidos 591 TWh de energia elétrica, isso correspondeu a 2,5% da produção mundial no ano de 2014. Como se sabe a principal contribuinte na geração de energia elétrica no Brasil é a energia provinda das hidrelétricas que de acordo com os levantamentos do BEN-2017, dos 591 TWh produzidos em 2014, 373 TWh são de usinas hidrelétricas, deixando o Brasil como terceiro maior produtor de energia hidrelétrica, perdendo apenas para o Canadá e para a China que é o maior produtor mundial. Esses dados mostram que cerca de 65% da demanda interna do país é atendida por usinas hidrelétricas, ou seja, a geração de energia no país depende do funcionamento das hidrelétricas. Os recursos fósseis também são bastantes explorados, deixando as fontes alternativas com menor destaque na matriz energética, tal

qual mostra o Gráfico 01.

Gráfico 01: Matriz Elétrica Brasileira.



Fonte: BEN, 2107

No entanto diversificar uma matriz energética é um processo que requer tempo, o processo está acontecendo, a energia eólica apresentou um aumento significativo, sendo responsável por 5,4% da oferta interna de 2016. De acordo com a matriz energética do BEN-2017 (Balanceamento Energético Nacional- 2017) a oferta interna de energia solar subiu 44,7%, produzindo 85 GWh em 2016, com 26 centrais elétricas de serviço público e 59 centrais elétricas autoprodutoras.

2.2 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é um meio de geração de energia elétrica através do efeito fotovoltaico. Sistemas fotovoltaicos têm a capacidade de captar diretamente a luz solar e produzir corrente elétrica (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

A corrente captada é processada por dispositivos controladores e conversores. A energia gerada pode ser armazenada em baterias em sistemas autônomos e sistemas híbridos e pode ser utilizada diretamente em sistemas conectados à rede.

2.2.1 Efeito Fotovoltaico

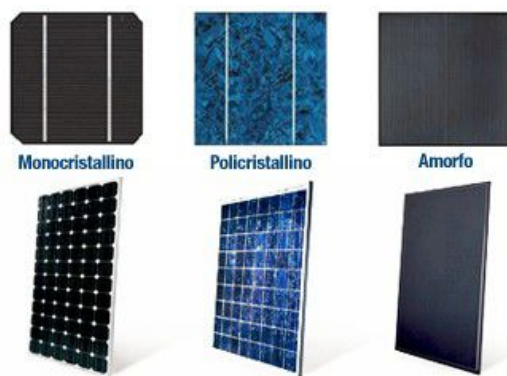
Efeito fotovoltaico é um processo que resulta na criação de tensão elétrica ou corrente elétrica num material após a sua exposição a luz solar, ou segundo Nascimento (2004), nada mais é que a energia solar obtida através da conversão direta da luz em eletricidade.

Segundo Souza e Chaves Neto (2016), o efeito fotovoltaico é um processo interno ao material, sendo descrito para semicondutores, é no geral assimilado ao efeito fotoelétrico descrito por Einstein, no entanto, são efeitos distintos, o fotoelétrico é definido como um processo externo e de arrancamento de elétrons do material.

Na célula solar o efeito fotovoltaico se dá no momento em que os fótons de radiação solar incidem a superfície da célula, que atravessam uma camada mais interna da célula, fazendo com que o elétrons ganhem energia dos fótons e consigam atravessar a região de depleção passando para a superfície metálica da célula originando uma diferença de potencial. Para obter potências maiores é necessário associar várias células formando o módulo fotovoltaico.

Alguns fatores influenciam o comportamento da célula fotovoltaica, como por exemplo o material pelo qual é composta, alguns materiais possuem propriedades semicondutores melhores que outros. Em geral, as células comercializadas são compostas por silício amorfo, silício monocristalino e policristalino, como é ilustrado na Figura 01.

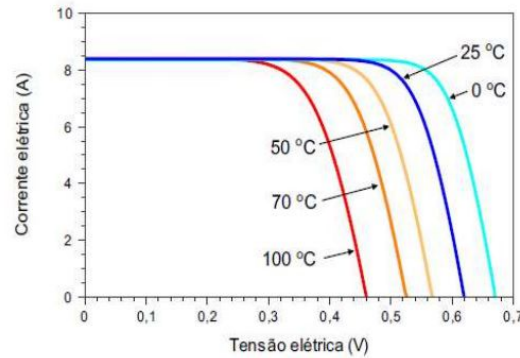
Figura 01: Módulos Fotovoltaicos de Silício.



Fonte: Enersave, 2014.

Os parâmetros de temperatura e irradiação solar são bem relevantes para a geração de corrente em semicondutores. O Gráfico 02 mostra a influência da temperatura e da irradiação solar sobre um módulo fotovoltaico fabricado com silício.

Gráfico 02: Influência da temperatura da célula de silício amorfo no comportamento da curva correnteXtensão.



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, p. 127, 2014.

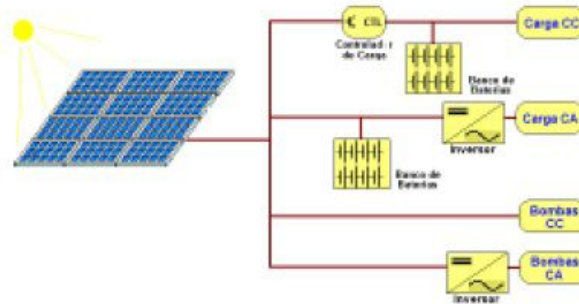
2.3 Sistemas de Energia

Sistema de Energia Elétrica pode ser definido como um conjunto de equipamentos que operam em conjunto e de maneira coordenada de forma a gerar, transmitir e fornecer energia elétrica aos consumidores, mantendo o melhor padrão de qualidade possível. Os equipamentos de um sistema de energia geralmente são geradores, transformadores, linhas de transmissão, disjuntores, para-raios, relés, medidores etc. Existem diversos modelos de sistemas, os mais usados são os autônomos, híbridos e os sistemas ligado à rede.

2.3.1 Sistemas Autônomos

Os sistemas autônomos necessitam de armazenamento de energia em baterias. O controlador de carga é usado em sistemas pequenos onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão corrente contínua (CC). Para alimentação de equipamentos de corrente alternada (CA) é necessário um inversor, assim como mostra a Figura 02. Esse sistema é utilizado para baixas demandas de energia.

Figura 02: Diagrama de sistemas fotovoltaico em função da carga utilizada.

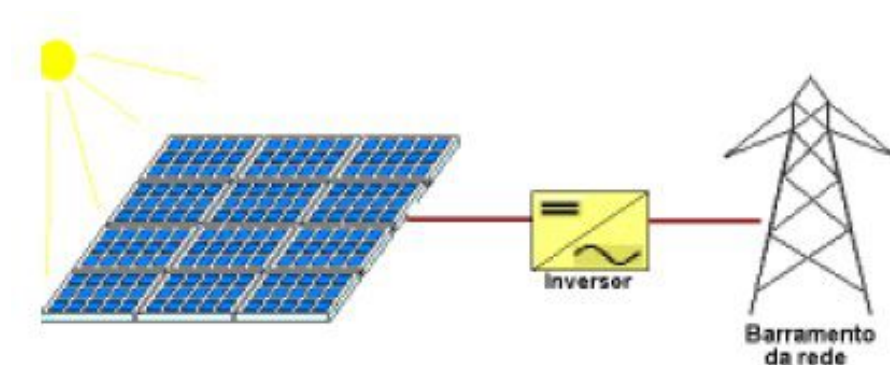


Fonte: CRESESB, 2006

2.3.2 Sistemas Conectados à Rede

Sistemas Ligados a Rede utilizam grandes números de painéis fotovoltaicos, e não utilizam armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente na rede, conforme mostra a Figura 03. Este sistema requer inversores que satisfaçam as existências de qualidade e segurança da concessionária para que a rede não seja prejudicada.

Figura 03: Sistema Conectado à Rede.



Fonte: CRESESB, 2006

2.3.2.1 ANEEL- Resolução Normativa nº 482/2012 e nº 687/2015

Define-se geração distribuída como a geração de energia elétrica realizada junto ou próxima do consumidor independente da potência instalada, tecnologia ou fonte utilizada.

No Brasil, a ANEEL é o setor responsável pela fiscalização e regulamentação de geração e distribuição de energia elétrica. Sendo as resoluções nº482/2012 e nº687/2015 que regem o funcionamento de geração distribuída.

Desde 17 de abril de 2012 está em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº482/2012, que permite ao consumidor brasileiro gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Além disso, a central de geração pode fornecer o excedente de energia para a rede de distribuição de sua localidade.

Segundo dados da ANEEL (2015) os estímulos a geração distribuída se justificam pelos potenciais benéficos que esta modalidade pode trazer ao sistema elétrico.

Afim de reduzir custos e tempo para a conexão de micro e mini geração, entrou em vigor a Resolução Normativa nº687/2015 que está valendo desde 1º de março de 2016, esta, classifica a geração de acordo com a potência instalada da central geradora, sendo microgeração distribuída a central com potência instalada até 75kW e minigeração distribuída a central com potência acima de 75kW e menor ou igual a 5MW, conectados na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Em relação aos excedentes, no mês em que a quantidade de energia for maior que a consumida, o consumidor terá um crédito que pode ser utilizado para reduzir a fatura dos meses seguintes. Esse crédito possui uma validade de 60 meses, podendo também ser usado em unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local através do autoconsumo remoto.

2.4 Custo de Produção

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), o custo de produção (CP) de um sistema fotovoltaico é expresso em R\$/kWp, e pode ser calculado através da Equação 2.1.

$$CP = \frac{[CAPEX + VP(OPEX)]}{VP(EP)} \quad (2.1)$$

Onde:

CP – Custo de Produção (R\$/kWp)

CAPEX – Custo do Sistema Fotovoltaico (R\$)

VP(OPEX) – Custo de Operação e Manutenção ao longo da vida útil do Sistema (R\$)

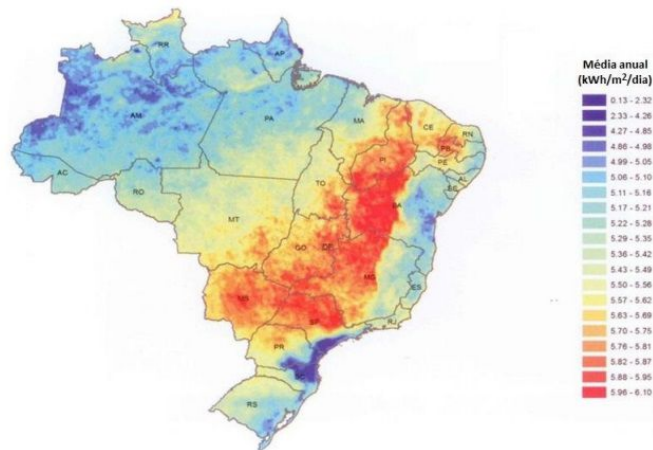
VP(EP) – Valor da energia produzida ao longo da vida útil da instalação (kWh)

Dessa forma, pode-se perceber que o cálculo do custo de produção leva em consi-

deração tanto os investimentos iniciais como àqueles decorrentes da operação e manutenção ao longo da vida útil da instalação.

De acordo com GTES-CEPEL-DTE-CRESESB(2014), o fator de capacidade é elemento chave para definir o custo de produção [CP] da geração solar fotovoltaica, mantendo os parâmetros do custo de produção [CP], o custo da geração é determinado pela irradiação verificada numa dada região. O mapa representado na Figura 04 apresenta médias anuais do total de irradiação diária recebida pela referida superfície.

Figura 04: Irradiação solar incidente sobre superfície com inclinação igual à latitude do local e voltada para o equador.



Fonte: ABINEE, 2012.

Segundo ABINEE (2012), quanto maior a disponibilidade de recurso solar, menores são os custos de produção, estes, se apresentam na faixa mais central do país, indo desde o MS e o oeste do estado de SP, passando por GO, MG, BA e TO, incluindo todo o PI e no nordeste passa por MA, CE, PB e RN.

2.5 Parâmetros de Viabilidade Econômica

De acordo com Samanez (2014), orçamentação de capital é o processo de decisões de procura e aquisição de ativos de longo prazo. Para esse processo existem diversas técnicas, métodos que são utilizados na análise e no processo decisório. O valor de um projeto é baseado em sua capacidade de gerar fluxos de caixas futuros. Os métodos que

são geralmente utilizados para medir a rentabilidade e analisar a viabilidade econômica das alternativas de investimento são os seguintes:

- Método do valor presente líquido (VPL): Esse método tem por finalidade calcular, em termos de valor presente, o impacto dos eventos futuros associados a uma alternativa de investimento, o VPL mede o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto ao longo de sua vida útil.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + K)^t} \quad (2.2)$$

onde

FC_t representa o fluxo de caixa no t-ésimo período.

I representa o investimento inicial.

K é o custo do capital.

O somatório deve ser feito com a data 1 até a data n dos fluxos de caixa descontados no período inicial. O critério de decisão é que se o VPL for positivo, o projeto é economicamente viável.

- Método da taxa interna de retorno (TIR): é a taxa de retorno do projeto de investimento, seu objetivo é encontrar uma taxa intrínseca de rendimento. A TIR é uma taxa hipotética que anula o VPL, é o valor de i que satisfaz a seguinte Equação 2.2:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + i)^t} = 0 \quad (2.3)$$

onde i deve ser maior que K para que o projeto seja economicamente viável.

- Método do *pay-back* descontado: Esse método pode ser utilizado para saber em quanto tempo é recuperado o investimento aplicado no projeto. O *pay-back* é utilizado em conjunto com outros métodos, como o VPL e a TIR por exemplo.

3 METODOLOGIA

Inicialmente será realizado um levantamento acerca de trabalhos da área que contemplam conceitos e dados que contribuam para uma maior credibilidade da pesquisa, objetivando adquirir o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento do trabalho.

Em seguida será realizado um levantamento de carga *in loco* do bloco de professores para estimar o consumo de energia elétrica no prédio. A partir dos dados obtidos neste levantamento e da estimativa de consumo obtida por meio dele será projetado um sistema fotovoltaico que atenda ao consumo de energia elétrica estimado.

3.1 Dimensionamento

A pesquisa foi desenvolvida no campus Pau dos Ferros da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) que é apresentado na Figura 04, na cidade de Pau dos Ferros/RN. O município está situado na região do semiárido nordestino, com localização geográfica definida pelas coordenadas geográficas de $06^{\circ} 06' 33''$ Latitude Sul (S) e $38^{\circ} 12' 16''$ Longitude Oeste (W), e a uma altitude de 193m acima do nível do mar.

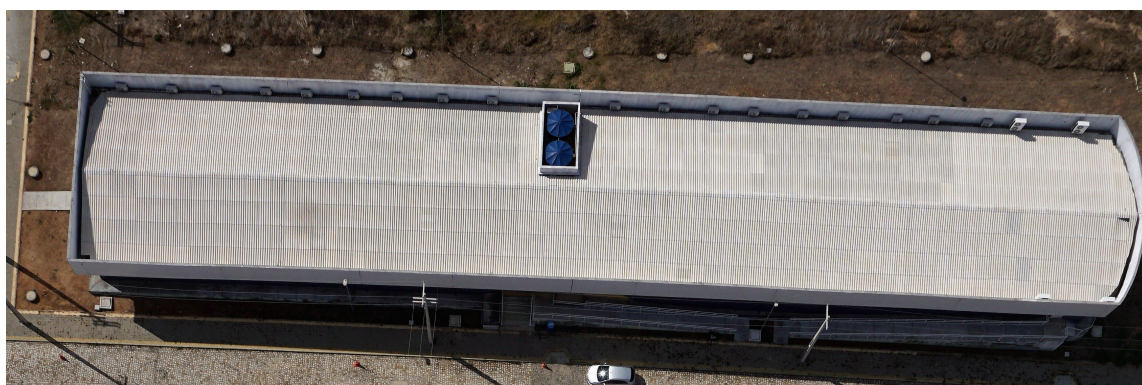
Figura 04: Vista Superior da UFERSA Campus Pau dos Ferros.



Fonte: Programa Acesso à Terra Urbanizada, 2017

O bloco objeto de estudo foi o Bloco dos Professores I, localizado ao lado do Centro de Convivência, a Figura 05 mostra com detalhe a parte superior do bloco que possui dimensões 39.3927m x 6.3582m.

Figura 05: Vista Superior do Bloco dos Professores I.



Fonte: Programa Acesso à Terra Urbanizada, 2017

Segundo Lima, Silva e Gurgel (2013), o clima de Pau dos Ferros é caracterizado como semiárido quente com temperatura média anual em torno dos 27 °C e precipitação média é de 843,1 milímetros (mm) anuais. O tempo médio de insolação do município é de aproximadamente 2 700 horas anuais, sendo 5,14 horas de sol pleno por dia, com umidade

relativa do ar de 66%. As temperaturas médias ao longo do ano são de predomínio alto, favoráveis na redução de custo de produção de energia solar fotovoltaica conforme mostra a Tabela 01.

Tabela 01: Tabela Climática de Pau dos Ferros.												
Temperatura	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média °C	27.6	27.1	26.5	26.2	25.9	25.5	25.6	26.2	27	27.6	27.8	27.9
Mínima °C	22.5	22.3	22.2	22	21.6	20.8	20.4	20.5	21.1	21.7	22.1	22.5
Máxima °C	32.8	31.9	30.9	30.5	30.2	30.3	30.8	31.9	32.9	33.5	33.5	33.4

Climate-data.org, 2015

Diante da falta de dados de radiação na cidade de Pau dos Ferros, será tomado o índice de radiação da cidade de Mossoró que de acordo com Vieira (2014), é localizada a 152,5 km de distância de Pau dos Ferros. O índice médio de radiação solar anual de Mossoró é de 5,23 kWh/m².dia, apresentado juntamente com as médias mensais no Tabela 02.

Tabela 02: Média de radiação solar de Mossoró.												
Radiação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média(kWh/m ² .dia)	5,6	5,6	5,04	4,48	4,48	4,48	4,48	5,6	5,6	6,16	5,6	5,6

Fonte: Tiba, 2000

3.1.0.1 Levantamento de Cargas

Para o dimensionamento do sistema solar, foi realizado um levantamento de cargas no Bloco de Professores I, sendo este composto pelos seguintes dispositivos e ambientes:

- 35 salas individuais para professores;
- 1 sala de apoio docente;
- 1 copa;
- 1 auditório;
- 1 depósito;
- 2 banheiros;

- 1 corredor;
- Iluminação externa do bloco.

Dentre os cômodos que compõe o prédio são distribuídas algumas cargas elétricas que atendem aos valores mostrados nas tabelas (Tabela 03 a Tabela 10 presentes no anexo 3) produzidas de acordo com a finalidade dada ao cômodo.

Tabela 11: Consumo Total de Energia do Bloco de Professores					
Ambiente	Quantidade	Tensão(V)	Potência(W)	Wh/dia	kWh/mês
Salas dos Professores	35	220	70.407	96.412,8	24.484,4
Apoio Docente	1	220	3.544,6	75.087,2	2.252,62
Copa	1	220	4.911	13.084	325,02
Auditório	1	220	6.568	3.775,1	113,25
Banheiros	2	220	256	1.024	30,72
Depósito	1	220	64	128	3,84
Corredor	1	220	1.408	5.632	168,96
Iluminação Externa	1	220	252	1.008	30,3
Total	43	220	87.410,6	913.636,3	27.409,1

Fonte: Autoria Própria, 2017.

De acordo com a Tabela 11, o bloco de professores apresenta um consumo médio de 27.409,1 kWh/mês, totalizando um total de 12% da energia consumida na UFERSA Pau dos Ferros.

3.1.1 Projeto: Sistema Conectado à rede

No dimensionamento do SFCR foi utilizada a metodologia descrita em Villalva e Gazoli (2013). Já a estimativa dos custos de cabos e serviços foi realizada conforme procedimento descrito pela ABINEE (2017). Segundo Villalva e Gazoli (2013), o número de módulos é dado por:

$$Np = \frac{Energia do Sistema(kWh)}{Energia do Módulo(kWh)} \quad (3.1)$$

Sendo:

Nm = Número de módulos da instalação fotovoltaica.

Energia do Sistema = Energia produzida pelo sistema [kWh] no intervalo de tempo considerado.

Energia do Módulo = Energia produzida por um módulo [kWh] no mesmo intervalo de tempo.

Para obtenção do número de módulos segue as devidas informações:

Energia do Sistema = 913.6 kWh por dia.

O módulo GBR250P-250 W na devidas condições produz em um mês = 31,25 kWh e 1,04 kwh por dia.

$$Nm = \frac{913,6(kWh)}{1,04(kWh)} = 878$$

Para esse dimensionamento é considerado um arranjo no qual os módulos estejam em série. Dessa forma, o dimensionamento do inversor será realizado de acordo com a tensão total do sistema [Voc, string].

Dimensionamento dos Inversores:

Após calculado o número de módulos [Nm] é importante verificar se esses módulos podem ser conectados em série. Pela folha de dados do fabricante presente no Anexo 1, se tem que a tensão de circuito aberto dos módulos em STC é Voc = 37,5 V.

$$Voc, string = Nm \times Voc \quad (3.2)$$

Essa é a tensão obtida se todos os módulos forem instalados em série:

$$Voc, string = 878 \times 37,5V = 32.925V$$

No entanto, a folha de dados do fabricante informa que a tensão máxima de entrada do sistema é de 1000v. Neste caso, se faz necessária a divisão do sistema em n inversores para então dividir a tensão.

Por outro lado, o cálculo da quantidade de inversores também deve atender a potência instalada do sistema [kWp], que será definida pela seguinte relação:

$$PkWp = \frac{(Nm \times Pm)}{1000} \quad (3.3)$$

Sendo:

PkWp = Potencia instalada do sistema em kWp.

P_m = Potencia do módulo.

logo,

$N_m = 878$

$P_m = 250 \text{ Wp}$

$$kW_p = \frac{(878 \times 250)}{1000} = 219,5 kW_p$$

Após calculada a potencia instalada [PkWp], o próximo passo é encontrar o número de inversores que atenda a essa potência instalada. No geral, são comercializados inversores de 600V e 1000V de tensão máxima de entrada, isso equivale à tensão máxima de entrada que um sistema instalado em série com uso dos módulos GBR250P-250W suporta. Dessa forma, o sistema foi dividido de maneira que a tensão de entrada não ultrapasse 1000V.

Considerando que o sistema não estará funcionando em potência máxima constantemente, se pode fazer a seguinte relação:

Para 27 módulos têm-se uma tensão de 1.012,5V

Sabendo que $N_p = 878$, então o número de inversores será:

$$N_{inv} = \frac{878}{27} = 33$$

Calculado o número de inversores, é preciso encontrar um modelo que atenda além do requisito de tensão, a potência instalada. Como o sistema foi dividido e o número de inversores é alto, o modelo escolhido foi o Fronius 4210060 780 PRIMO 8.2-1, com potência 8,2 kW, como consta a folha de dados presente no Anexo 2.

A área mínima para o SFCR é $1441,67 \text{ m}^2$, levando em consideração as dimensões dos módulos fotovoltaicos, o distanciamento adequado entre 33 fileiras de módulos fotovoltaicos conectados em série. Visto que a demanda por espaço é um problema na UFERSA Pau dos Ferros, é sugestivo os espaços disponíveis nos telhados dos blocos. No bloco dos professores, por exemplo, cabe pelo menos 3 SFCRs com 27 módulos conectados em série.

4 VIABILIDADE ECONÔMICA

4.1 Levantamento de Preços dos Equipamentos

Na Tabela 12 é apresentado o custo inicial de implantação do sistema fotovoltaico.

Tabela 12: Custo de Instalação de Um Sistema Fotovoltaico.		
Item	Preço Unitário(R\$)	Valor Total (R\$)
14 Módulos GBR250P-250W	1.125	15.750,00
36 Pallet-24 unidades	18.240	656.640,00
33 Inversores Fronius –8.200W	11.650,00	378.625,00
Total		1.051.015,00

Fonte: Autoria Própria, 2017.

A divisão realizada na Tabela 12 foi baseada pela forma como os módulos são comercializados, sendo que para 878 módulos, têm-se 36 pallets contendo cada unidade 24 módulos, sobrando 14 unidades de módulos fotovoltaicos.

É importante frisar que o preço dos módulos solar no mundo todo é negociado em dólares (U\$) por Watt. Mesmo que o módulo solar seja fabricado no Brasil, as células fotovoltaicas não são fabricadas no Brasil. O preço da célula varia de acordo com o dólar. Como referência, 65% do custo do módulo solar é a célula fotovoltaica. Dessa maneira, se o dolar baixar, o preço dos módulos solares baixam no mundo inteiro.

Da mesma maneira, quanto maior for a potência do módulo, maior é o seu custo. Embora módulos de potência maiores resultassem em um número menor de módulos no dimensionamento do SFCR, o custo ultrapassava o valor dos módulos do SFCR projetado para módulos de 250Wp. Além disso, potências maiores de módulos fotovoltaicos levam a um aumento na potência instalada total do sistema, demandando um número maior de inversores e consequentemente um aumento no custo do projeto.

Na Tabela 13 é apresentado os custos com os demais componentes de um SFCR, que variam de acordo com a potência instalada do sistema fotovoltaico, classificando-os em uso de porte residencial, comercial e usina.

Tabela 13: Padrão de custo com os demais componentes.			
Tipo de sistema	Residencial	Comercial	Usina
Capacidade	3kW	30kW	30MW
Cabos e Proteções	R\$ 2.250,00	R\$ 18.000,0	R\$13.100.000,00
Sistema de Fixação	R\$ 3.750,00	R\$ 24.000,00	R\$ 14.000.000,00
Serviços	R\$ 3.750,00	R\$ 30.000,00	R\$ 18.000.000,00
Total	R\$ 9.750,00	R\$ 72.000,00	R\$ 45.100.000,00

ABINEE, 2017.

Baseado na Tabela 13 foi realizada a estimativa dos demais custos do projeto. A partir da potência instalada do SFCR de 219,5kWp, os valores foram interpolados dando origem a Tabela 14.

Tabela 14: Custo com os demais componentes.	
Capacidade	219,5kW
Cabos e Proteções	R\$ 100.751,09
Sistema de Fixação	R\$ 112.551,40
Serviços	R\$ 143.473,05
Total	R\$ 356.775,54

Fonte: Autoria Própria, 2017.

Além dos custos já dimensionados, na Tabela 14 é mostrado um novo parâmetro definido como *outros*, que está ligado ao custo de outros elementos presentes em um sistema (Disjuntores, Medidor Trifásico Bidirecional, etc.). Para esse custo é considerado uma média em torno de 0,5% do custo total do projeto.

Segundo ABINEE (2017), esses valores pela estimativa geral chegam a representarem um custo igual à soma do custo dos módulos e inversores. Obviamente, isso varia de um sistema para outro, há muitos fatores a considerar.

Tabela 15: Custo total do projeto.	
Equipamentos	Valor
Módulos	R\$ 672.390,00
Inversor	R\$ 378.625,00
Cabos e Proteções	R\$ 100.751,09
Sistema de Fixação	R\$ 112.551,40
Serviços	R\$ 143.473,05
Outros*	R\$ 70.389,52*
Custo Total	R\$ 1.478.180,06

Fonte: Autoria Própria, 2017.

A estimativa do custo do projeto (R\$/Wp) é feita a partir do Custo Total em relação a Potência Instalada. De acordo com os dados obtidos neste trabalho, o custo do projeto obtido foi de 6,73R\$/Wp. De acordo com a ABINEE (2017), o custo total de instalação é de aproximadamente 7,12 R\$/Wp para instalações residenciais, 6,27 R\$/Wp para instalações comerciais e 5,37 R\$/Wp para usinas.

Dessa forma, o valor estimado se encontra dentro dos padrões, tendo em vista que, conforme a estimativa da ABINEE dos custos mostrada na Tabela 13, a potência instalada para a mini usina projetada nesse trabalho (219,5 KW) se encontra mais próxima de uma instalação comercial (30 kW) do que de uma usina de grande porte (30MW).

4.2 Viabilidade por meio do Pay-back Descontado

A realização de estudos de viabilidade para sistemas fotovoltaicos deve seguir as legislações aplicadas no local, sendo de suma importância no desenvolvimento de um projeto. Neste trabalho será utilizado o indicador econômico *pay-back* descontado, e serão utilizados os seguintes parâmetros na análise do custo de produção:

- Vida útil do Sistema Fotovoltaico: 25 anos.
- Custo do investimento (CAPEX): -1.478.180,06.
- Custo de Operação e Manutenção (OPEX): estimado em 1% do CAPEX ao ano.
- Eficiência das células: redução de 1,5% no primeiro ano e 0,75% nos próximos anos.

Com relação à tarifa de energia, parte depende do Índice Geral de Preços do Mercado (IGPM) e seu reajuste é feito através de um Índice de Reajuste Tarifário (IRT). A partir

de estudos feitos na variação tarifária das contas de energia da UFERSA/Pau dos Ferros, chegou-se a um valor de 5% ao ano.

Na Tabela 16 é apresentada a viabilidade econômica do projeto, em que foram realizados cálculos levando em consideração a queda na eficiência dos módulos fotovoltaicos. Vale salientar que a geração e a economia consideradas são anuais.

Tabela 16: Viabilidade Econômica.						
Ano	Desempenho	Tarifa(R\$)	Geração(kWh)	Economia(R\$)	OeM(R\$)	Fluxo(R\$)
0						-1.478.180,06
1	100%	0,33554305	328.909,2	110.363,19	-14.781,80	-1.382.598,67
2	98,5%	0,35232020	323.975,56	114.143,13	-13.825,98	-1.282.281,52
3	97,8%	0,36993621	321.673,19	118.998,56	-12.822,81	-1.176.105,77
4	97,0%	0,38843302	319.041,92	123.926,41	-11.761,05	-1.063.939,41
5	96,3%	0,40785467	316.739,55	129.183,70	-10.639,39	-945.395,10
6	95,5%	0,42824740	314.108,28	134.516,05	-9.453,95	-820.333,00
7	94,8%	0,44965977	311.805,92	140.206,57	-8.203,33	-688.329,76
8	94,0%	0,47214276	309.174,64	145.974,56	-6.883,29	-549.238,49
9	93,3%	0,49574990	306.872,28	152.131,90	-5.492,38	-402.598,97
10	92,5%	0,52053740	304.241,01	158.368,82	-4.025,98	-248.256,13
11	91,8%	0,54656427	301.938,64	165.028,87	-2.482,56	-85.709,82
12	91,0%	0,57389248	299.307,37	171.770,24	-857,09	+85.203,33
13	90,3%	0,60258710	297.005,00	178.971,38	-852,03	+263.322,68
14	89,5%	0,63271646	294.373,73	186.255,10	-2.633,22	+446.944,56
15	88,8%	0,66435228	292.071,36	194.038,27	-4.469,44	+636.513,39
16	88,0%	0,69759690	289.440,09	201.912,50	-6.365,13	+832.060,76
17	87,3%	0,73244839	287.137,73	210.313,56	-8.320,60	+1.034.053,72
18	86,5%	0,76907081	284.506,45	218.805,60	-10.340,53	+1.242.518,79
19	85,8%	0,80752435	282.204,09	227.886,67	-12.425,18	+1.457.980,28
20	85,0%	0,84790057	279.572,82	237.049,95	-14.579,80	+1.680.450,43
21	84,3%	0,89029560	277.270,45	246.852,66	-16.804,50	+1.910.498,59
22	83,5%	0,93481038	274.639,18	256.735,55	-19.104,98	+2.148.129,16
23	82,8%	0,98155090	272.336,81	267.312,44	-21.481,29	+2.393.960,31
24	82,0%	1,03062844	269.705,54	277.966,19	-23.939,60	+2.647.986,90
25	81,3%	1,08215987	267.403,17	289.372,97	-26.479,86	+2.910.880,01

Fonte: Autoria Própria, 2017.

De acordo com os dados mostrados na Tabela 16, a economia ao longo da vida útil do sistema se mostra relevante, podendo-se acumular um fluxo de caixa equivalente a duas vezes o valor do investimento. Sendo um ótimo investimento a médio ou longo prazo, visto que o custo com manutenção dos equipamentos mostra-se baixo comparado ao seu

fluxo de caixa acumulado.

O gráfico 03 obtido a partir dos dados da Tabela 16, representa o fluxo de caixa acumulado ao longo dos 25 anos de geração da Usina Solar Fotovoltaica.

Gráfico 03: Fluxo de Caixa acumulado durante 25 anos.



Fonte: Autoria Própria, 2017.

O gráfico do fluxo de caixa evidencia a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico dimensionado, mostrando que entre o 11º e 12º ano, o projeto começa a apresentar retorno financeiro. Dessa forma, pode-se destacar a economia de energia ao longo dos anos no Centro Multidisplinar de Pau dos Ferros, tendo em vista que a mini usina fotovoltaica atenderia aproximadamente 12% da demanda do consumo total.

5 CONCLUSÃO

A partir do desenvolvimento do presente trabalho, foi possível projetar e analisar uma mini usina fotovoltaica conectada à rede elétrica com capacidade de 219,5 kWp para atender ao consumo de energia elétrica do Bloco de Professores da UFERSA Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros. De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que a viabilidade do projeto é confirmada por meio do critério de *pay-back*, o qual mostrou que entre o 11º e 12º ano o sistema passa a gerar lucros. O projeto não só proporciona o retorno do capital, como também gera um lucro que ultrapassa o capital investido.

Vale destacar que, de acordo com a potência instalada para o SFCR projetado, o sistema atenderia aproximadamente 12% do consumo total de energia elétrica do campus Pau dos Ferros, o que representaria uma considerável economia de energia à médio e longo prazo. Por fim, levando-se em consideração que o levantamento de carga foi realizado por meio da estimativa de alta demanda de energia do bloco de professores, o SFCR estaria atendendo, em diferentes horários ao longo do dia, à outros setores da UFERSA Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros.

Por fim, é sugerido a partir do presente trabalho, a expansão do projeto para todo o Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros ou uma análise econômica detalhada sobre o SFCR já projetado.

REFERÊNCIAS

ABINEE, June. *Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira. Site da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica*. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>, 2012.

ALVES, Gustavo Henrique. *Estudo Sobre a Utilização de Energia Solar no Brasil para Uso Residencial*, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP). 2014.

AQUINO., Luiz Felipe de Souza. *EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: SOLUÇÕES DE MELHORIAS ENERGÉTICAS PARA O CAMPUS UFERSA - PAU DOS FERROS*. 2017. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Exatas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros Rn, 2017.

BEN-2017, Balanceamento Energético Nacional. *Matriz Energética Nacional 2017 – Ano Base 2016*. 2017. Disponível em: <http://ben.epe.gov.br/default.aspx?anoColeta=2017>. Acesso em: 22 set. 2017.

BEN-2017, Balanceamento Energético Nacional. *Relatório Final 2017*. 2017. Disponível em: <http://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2017&anoFimColeta=2016>. Acesso em: 22 set. 2017.

BEN-2017, Balanceamento Energético Nacional. *Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2017*. 2017. Disponível em: ben.epe.gov.br/BENRelatorio Sintese.aspx?anoColeta=2017&anoFimColeta=2016. Acesso em: 22 set. 2017.

BITTENCOURT. *Estudo comparativo do aproveitamento da energia solar fotovoltaica em relação a rede de distribuição na eletrificação rural do estado de Tocantins*. 2011. Dissertação (pós-Graduação de Engenharia), Universidade Federal de Lavras.

BRAGA, Renata Pereira. *Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações*. 2008. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro RJ, 2008.

BRASÍLIA. SRD. (Ed.). *Geração Distribuída: Micro e Minigeração Distribuídas*. 2015. ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 12 out. 2017.

CAMARGO, F. *Desafios e Oportunidades para a Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Recomendações para Políticas Públicas*. Brasília: WWF, 44 p. 2015.

CORTEZ, Ramiro José Monteiro. *Sistema de Seguimento Solar em Produção de Energia Fotovoltaica*. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). *Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2014-2023)*. – Rio de Janeiro; dezembro de 2013.

GTES-CEPEL-DTE-CRESESB, Grupo de Trabalho de Energia Solar. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro RJ: CEPEL-CRESESB, 2014. 530 p.

LOPES, Ricardo Jorge Cabral. *EFEITO DO SOMBREAMENTO NOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS*. 2013. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica, Engenharia de Sistemas de Potência e Automação, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013. Cap. 4.

LIMA, Livia Gabriela Damião de; SILVA, Patrícia Tâmara da; GURGEL, Taís Cristina Nunes Pereira. *O PROCESSO DE EXPANSÃO DA MALHA URBANA DE PAU DOS FERROS/RN*. Geo Temas, Pau dos Ferros Rn, v. 3, n. 1, p.47-48, jul. 2013.

LUCIANO, A. C. S. *Modelagem da Distribuição da Radiação Solar Incidente na Superfície do Terreno a Partir de Dados SRTM*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 112 f. 2015.

MELO, (et al.) *Análise Da Eficiência Energética Na Indústria- Proposta De Metodologia*. VI Nacional Congress Of Mechanical Engineering August 18-21, Campina Grande- Paraíba- Brazil, 2010.

NASCIMENTO, Adriana de Souza. *Energia Solar Fotovoltaica: Estudo e Viabilidade no Nordeste Brasileiro*. Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT- João Pessoa/PA, 2015. 145f.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. *PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA CÉLULA FOTOVOLTAICA*. 2004. 21 f. Monografia (Especialização) - Curso de Fontes Alternativas de Energia, Tecnológico, Universidade Federal de Lavras, Lavras Mg, 2004.

PORTAL ENERGIA. *Vantagens e Desvantagens da Energia Solar*. 2016. Disponível em: www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-daenergia-solar/. Acesso em: 10 maio 2016.

QUEIROZ, José Henrique Maciel de. *MONITORAMENTO DE DESEMPENHO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA DO INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE CAMPUS PAU DOS*

FERROS. 2017. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Exatas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros RN, 2017.

RESOLUÇÃO NORMATIVA, Nº 482, 17 de Abril de 2012. 2012.

RIBEIRO, J. S. F. *Construção e levantamento de desempenho de um concentrador cilíndrico parabólico com mecanismo automático de rastreamento solar*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade do Rio Grande do Norte, 2008.

RIO GRANDE DO NORTE. Sedec/assecom. Secretaria do Desenvolvimento Econômico. *Energia Renovável*. 2016. Disponível em: www.sedec.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=15443&ACT;=&PGE=0&PARM;=&LBL=Energia. Acesso em: 31 jul. 2016.

SAMANEZ, Carlos Patricio. *Matemática Financeira*. 5. ed. São Paulo Sp: Pearson Prentice Hall, 2010. 286 p.

SIMÕES, Felipe. *Entenda o que Influencia a Geração do Seu Sistema Solar*. 2015. Enova. Disponível em: <http://www.enovaenergia.com.br/blog/post/entenda-o-que-influencia-a-geracao-do-seu-sistema-solar>. Acesso em: 04 set. 2017.

SIQUEIRA, Luciana Maria Paulo de. *VIABILIDADE DA MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA RESIDÊNCIA POR UM SISTEMA COMPOSTO POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE*. 2013. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10008110.pdf>. Acesso em: 13 set. 2017.

SOUSA, Wanderley Lemgruber de. *Impacto Ambiental de Hidrelétricas: Uma Análise Comparativa de Duas Abordagens*. [Rio de Janeiro] 2000 VII, 154p. 29,7cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento Energético, 2000).

SOUZA, José Ricardo Patrício da Silva; CHAVES NETO, Antonio Maia de Jesus. *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: Conceitos e Aplicações para o Ensino Médio*. 2016. 20 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Física, Exatas, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 2016. Cap. 1.

TEIXEIRA, Alexandre de Almeida; CARVALHO, Matheus Costa; LEITE, Leonardo Henrique de Melo. *ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL*. 2011. Revista E-xacta. Disponível em: www.unibh.br/revistas/exacta/. Acesso em: 01 set. 2017.

VIEIRA, Romênia Gurgel. *ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO ENTRE UM PAINEL SOLAR ESTÁTICO E COM RASTREAMENTO NO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN*. 2014. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas de Comunicação e Automação, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró - Rn, 2014.

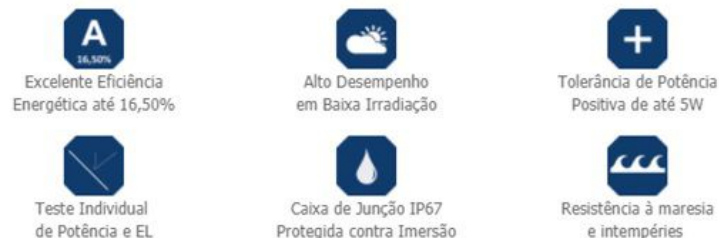
VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. *Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações: Sistemas Isolados e Conectados à Rede*. São Paulo Sp: Editora Érica Ltda, 2013. 224 p.

ANEXO A – Anexo 1

Datasheet do módulo fotovoltaico GBR 250P-250 W

Módulo Fotovoltaico de Silício Policristalino

Todos os painéis solares produzidos pela GLOBO BRASIL possuem um alto nível de qualidade. São fabricados com as melhores matérias-primas disponíveis no mundo. A caixa de junção, por exemplo, é da Weidmüller Alemanha e oferece diversas vantagens. Assim como o selante PV-804 da Dow Corning, produzido na Holanda e o filme de proteção de alta durabilidade Kynar Film® by ARKEMA.



**PAINEL SOLAR
PRODUZIDO
NO BRASIL**



Todos os painéis solares produzidos pela GLOBO BRASIL possuem classificação energética A na [tabela do INMETRO](#).

Características

Célula:	60 Células - Policristalina - 156x156mm
Tamanho:	1640 x 990 x 40mm
Peso:	19kg
Vidro:	3.2mm - Temperado - Baixo Teor de Ferro Prismático - Anti-Reflexo - Antisujidade
Moldura:	Alumínio Anodizado Fosco
Caixa de Junção:	Weidmüller - 3 Diodos - IP67
Cabos:	TÜV 4mm² - 800mm
Conectores:	Weidmüller - Compatível MC4
Filme de Proteção:	Backsheets de alta durabilidade com filmes fluorados Kynar Film® by ARKEMA

Performance Elétrica

Performance Elétrica	GBR250p	GBR255p	GBR260p	GBR265p
Potência Nominal Máxima (Pmax)	250W	255W	260W	265W
Tensão de Potência Máxima (Vmp)	30.0V	30.16V	30.24V	30.65V
Corrente de Máxima Potência (Imp)	8.35A	8.46A	8.60A	8.65A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	37.5V	37.56V	37.65V	37.90V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	8.92A	9.07A	9.11A	9.15A
Eficiência do módulo	15,39%	15,70%	16,05%	16,40%
Temperatura de Operação	-40°C a + 85°C			
Tensão Máxima do Sistema	1000 V DC (IEC)			
Corrente Máxima por Fusíveis em Série	20A			
Tolerância de Potência	0~+5W			
Produção Média Mensal de Energia	31,25 kWh	31,88 kWh	32,50 kWh	33,13 kWh

Condição padrão de teste STC: temperatura ambiente de 25°C e irradiância de 1000W/m².

Características de Temperatura

Coefficiente de Temperatura da Pmax	-0,43%/°C
Coefficiente de Temperatura da Voc	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Isc	0,065%/°C
Temperatura Nominal de Funcionamento da Célula (NOCT)	45±2°C



ANEXO B – Anexo 2

Datasheet do inversor Fronius 4210060 780 PRIMO 8.2-1, com de potência 8,2 kW

DADOS DE ENTRADA	Fronius Primo 8.2-1
Max. corrente de entrada (Idc max1 / Idc max2)	18.0 A / 18.0 A
Max. conjunto corrente curto-circuito (MPP1 / MPP2)	27.0 A / 27.0 A
Min. tensão de entrada (Udc min)	80 V
Feed-in tensão de entrada (Udc start)	80 V
Tensão nominal de entrada (Udc,r)	710 V
Max. tensão de entrada (Udc max)	1,000 V
Faixa de tensão MPP (Umpp min - Umpp max)	270 - 800 V
Numeros de rastreadores MPP	2
Numero de conexões CC	2 + 2

DADOS DE SAÍDA	
Tensão nominal de saída (Pac,r)	8,200 W
Max.potência de saída	8,200 VA
Max. corrente de saída (Iac max)	35.7 A
Conexão a rede (faixa de tensão)	1 ~ NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)
Frequencia	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)
Distorção harmônica total	< 5 %
Fator de potência (cos φac,r)	0.85 - 1 ind. / cap.

DADOS GERAIS	
Dimensões (height x width x depth)	645 x 431 x 204 mm
Peso	21.5 kg
Grau de proteção	IP 65
Classe de proteção	1
Categoria de sobrecarga (CC/CA) ¹⁾	2 / 3
Consumo noturno	< 1 W
Design do inversor	Sem transformador
Resfriamento	Refrigeração de ar comprimido
Instalação	Montagem interna e externa
Faixa de temperatura ambiente	-40°C / +55°C
Umidade relativa permitida	0 - 100 %
Max. altitude	4,000 m
Tecnologia de conexão	2x DC+1, 2x DC+2 and 4x DC- parafusos terminais 2.5 - 16 mm ²
Tecnologia de conexão rede	3-pin CA de parafusos terminais 2,5 a 16 mm ²)
Certificados	DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21

EFICIÊNCIA	
Max. eficiência	98.1 %
Eficiência Europeia (η _{EU})	97.5 %
MPP adaptação eficiente	> 99.9 %
DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO	
Medição de isolamento CC	Sim
Comportamento de sobrecarga	Mudança do ponto de operação, limitação da produção
Disjuntor CC	Sim

INTERFACES	
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)
6 entradas ou 4 digital in/out	Interface com receptor de telecomando
USB (A socket)	Para entradas USB
2 x RS422 (RJ45 socket)	Fronius Solar Net, protocolo Interface
Saída de sinal	Gerenciamento de energia (saída de relé livre de potencial)
Datalogger e Webserver	Integrado
Entrada externa	Medidor de conexão S0 / Avaliação da proteção da sobretensão
RS485	Modbus RTU SunSpec ou medidor de conexão

ANEXO C – Anexo 3

Levantamento de cargas do bloco dos professores I

Tabela 03: Salas dos Professores						
Aparelho	Quantidade	Tensão(V)	Tempo(h)	Potência(W)	Wh/dia	kWh/mês
Lâmpadas	140	220	4	32	53760	1.612,8
Central de ar	35	220	10	1514	529.900	15.897
Computador	70	220	10	300	210.000	6.300
Telefone Fixo	70	220	24	12	20160	604,8
Outros	1	220	24	97	2328	69,84
Total	316	220	72	70407	964128	28.923,84

Fonte: Autoria Própria, 2017.

Tabela 04: Apoio Docente						
Aparelho	Quantidade	Tensão(V)	Tempo(h)	Potência(W)	Wh/dia	kWh/mês
Lâmpadas	4	220	4	32	512	15,36
Central de ar	1	220	24	1514	36336	1.090,08
Impressora	1	220	10	825	9900	297
Swicth	7	220	24	768(total)	18432	552,96
Fonte	4	220	24	103.2	9907.2	297,21
Total	17	220	86	3544.6	75087.2	2.252,61

Fonte: Autoria Própria, 2017.

Tabela 05: Copa						
Aparelho	Quantidade	Tensão(V)	Tempo(h)	Potência(W)	Wh/dia	kWh/mês
Lâmpadas	2	220	4	32	32	0,96
Geladeira	1	220	24	250	6000	180
Cafeteira	1	220	0,5	600	300	9
Expresso	1	220	0,5	1150	575	17,25
Micro-ondas	1	220	0,5	1450	725	21,75
Sanduicheira	1	220	0,5	750	375	11,25
Liquidificador	1	220	0,5	550	275	8,25
Gelagua	1	220	24	97	2328	69,84
Total	9	220	56,5	4911	10834	325.020

Fonte: Autoria Própria, 2017.

Tabela 06: Banheiros						
Aparelho	Quantidade	Tensão(V)	Tempo(h)	Potência(W)	Wh/dia	kWh/mês
Lâmpadas	8	220	4	32	1024	30,72
Total	8	220	4	256	1024	30,72

Fonte: Autoria Própria, 2017.

Tabela 07: Auditório						
Aparelho	Quantidade	Tensão(V)	Tempo(h)	Potência(W)	Wh/dia	kWh/mês
Lâmpadas	24	220	0,6	32	460.8	13,82
Central de ar	4	220	0,142	5800	3314.3	99,42
Total	28	220	0,74	6568	3775.1	113,25

Fonte: Autoria Própria, 2017.

Tabela 08: Depósito						
Aparelho	Quantidade	Tensão(V)	Tempo(h)	Potência(W)	Wh/dia	kWh/mês
Lâmpadas	2	220	2	32	128	3,84
Total	2	220	2	64	128	3,84

Fonte: Autoria Própria, 2017.

Tabela 09: Corredor						
Aparelho	Quantidade	Tensão(V)	Tempo(h)	Potência(W)	Wh/dia	kWh/mês
Lâmpadas	44	220	4	32	5632	168,96
Total	44	220	4	1408	5632	168,96

Fonte: Autoria Própria, 2017.

Tabela 10: Iluminação Externa do Prédio						
Aparelho	Quantidade	Tensão(V)	Tempo(h)	Potência(W)	Wh/dia	kWh/mês
Lâmpadas	6	220	4	42	1008	30,24
Total	6	220	4	252	1008	30,24

Fonte: Autoria Própria, 2017.