



## **USO DE ENERGIA SOLAR COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA EM UNIDADE DE CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO DE TIRIÓS - PA**

**José Emanuel do Vale Braz**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientadores: Eduardo Magalhães Braga

Jorge Laureano Moya Rodríguez

Belém

Agosto de 2016

**USO DE ENERGIA SOLAR COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA EM  
UNIDADE DE CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO DE TIRIÓS - PA**

José Emanuel do Vale Braz

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE  
PÓSGRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO  
PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO  
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

Examinada por:



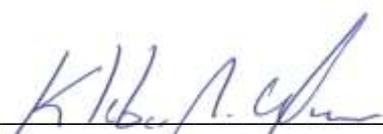
---

Prof. Eduardo de Magalhães Braga, Dr.  
(PPGEP/ITEC/UFPA-Orientador)



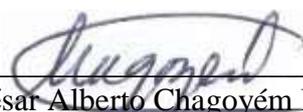
---

Prof. Jorge Laureano Moya Rodríguez, Ph.D.  
(PPGEP/ITEC /UFPA-Coorientador)



---

Prof. Kleber Bittencourt Oliveira, D.Eng.  
(PPGEP/ITEC /UFPA-Membro)



---

Prof. César Alberto Chagoym Mendez, Dr.  
(EST/UEA-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

AGOSTO DE 2016

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da UFPA**

---

Braz, José Emanuel do Vale, 1978-

Uso de energia solar como alternativa energética em unidade de controle de tráfego aéreo de Tiriós - PA / José Emanuel do Vale Braz - 2016.

Orientadores: Eduardo Magalhães Braga  
Jorge Moya Rodríguez

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, 2016

1. Energia solar 2. Energia- Fontes alternativas  
3. Geração de energia fotovoltaica I. Título

CDD 22.ed.621.47

---

*Dedico este trabalho à minha Família a qual é a razão de minhas vitórias e a qual desejo deixar o que há de melhor em mim através de meus exemplos de dignidade, honestidade e perseverança!*

## **AGRADECIMENTOS**

Para realização deste Trabalho de Conclusão de Mestrado sou grato primeiramente a Deus, pela força que me concede a cada dia em que acordo, pelo fortalecimento e sabedoria com que proveu minha mente e, como um guerreiro, lutar por valores de grandiosidade, liberdade, dignidade e caridade.

À minha família, por sua capacidade de acreditar no meu potencial, e a maneira paciente com que me envolve após cada batalha.

Agradeço também a todos os professores do Curso de Mestrado em Engenharia de Processo, que contribuíram em mais esta etapa acadêmica, em especial aos Professores Eduardo Magalhães Braga e Jorge Moya por sua orientação sempre dedicada e sábia.

Ao CINDACTA IV com todos os profissionais que nele dedicam seu trabalho, que incentivaram meu crescimento profissional através da troca de experiências e por meio dos desafios enfrentados com estes colegas de trabalho.

Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) e a Universidade Federal do Pará (UFPA), por promoverem a criação deste curso, possibilitando minha caminhada na transformação dos meus sonhos em realidade.

Enfim, agradeço aos que não foram citados e que de alguma forma colaboraram durante esta etapa da minha vida.

*O momento que vivemos é um momento pleno de desafios. Mais do que nunca é preciso ter coragem, é preciso ter esperanças para enfrentar o presente. É preciso resistir e sonhar. É necessário alimentar sonhos e concretizá-los dia a dia no horizonte de novos tempos mais humanos, mais justos, mais solidários.*

*Marilda Yamamoto (1998)*

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

## **USO DE ENERGIA SOLAR COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA EM UNIDADE DE CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO DE TIRIÓS - PA**

**José Emanuel do Vale Braz**

Agosto/ 2016

Orientadores: Eduardo Magalhães Braga

Jorge Laureano Moya Rodríguez

Área de Concentração: Engenharia de Processos

A relevância técnica deste estudo gera resultados econômicos, técnicos e de eficiência e eficácia, do uso da energia solar em regiões que tenham deficiência de fontes de energia estabilizadas, podendo ser aprimorada a técnica e estrutura para beneficiar, inclusive, pequenas comunidades ou cidades planejadas das quais tenham localização geográfica com restrição de recursos energéticos. A partir deste enfoque, a presente pesquisa tem como delimitação o estudo sobre a energia solar como alternativa energética em unidade de Controle do Espaço Aéreo de Tiriós – PA. Como objetivo geral tem-se a proposta de avaliar os resultados da utilização de um sistema híbrido Energia Solar/Térmica no Destacamento de Tiriós – PA, com a finalidade de reduzir os custos operacionais, impactos ambientais e de atender níveis excelentes de operacionalidade no fornecimento de energia desta Unidade. E como Objetivos Específicos: Dimensionar o potencial de energia fotovoltaica e sua utilização híbrida (solar/diesel) na Unidade de Tiriós – PA; avaliar os custos anuais com a energia térmica utilizada por esta Unidade e compará-los aos custos com sistema híbrido (Solar / Diesel) e; propor a utilização do sistema híbrido (Solar/Diesel) em outras unidades operacionais do CINDACTA IV. O presente estudo tem relevância científica porque pode estabelecer um novo paradigma na questão energética do País. É notório que o Brasil já experimentou alguns momentos de “Black out” que serviram de alerta para identificar

falhas, fragilidades e sistemas obsoletos de energia. Por isso, o uso da energia solar para grandes empreendimentos pode dar a necessária certeza científica de sua capacidade ainda inexplorada. Como metodologia o presente estudo utilizou como técnica de pesquisa o estudo de caso, tendo como unidade de análise o destacamento de controle de Tráfego e Espaço Aéreo de Tiriós - PA. O universo da pesquisa está constituído pelas diversas unidades militares que não tem energia elétrica convencional e que necessitam da utilização de grupos geradores diesel.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

**USE OF SOLAR ENERGY AS ENERGY ALTERNATIVE IN THE UNIT OF  
AIR TRAFFIC CONTROL OF THE MUNICIPALITY OF TIRIÓS - PA**

**José Emanuel do Vale Braz**

August/2016

Advisors: Eduardo Magalhães Braga

Jorge Laureano Moya Rodríguez

Research Area: Process Engineering

The technical relevance of this study generates economic, technical and efficiency and efficacy results, the use of solar energy in regions that have a deficiency of stabilized energy sources, and can be improved the technique and structure to benefit even small communities or cities planned of the Which are geographically restricted with energy resources. From this approach, the present research has as delimitation the study on the solar energy as an alternative energy of the unit of Airspace Control of Tiriós - PA. A general objective is to evaluate the results of the use of a hybrid solar / thermal energy system in the Detachment of Tiriós - PA, in order to reduce operational costs, environmental impacts and to meet excellent levels of operation in the supply of Of this Unit. And as Specific Objectives: To size the potential of photovoltaic energy and its hybrid use (solar / diesel) in the Tiriós - PA Unit; Evaluate the annual costs with the thermal energy used by this Unit and compare them with the costs with hybrid system (Solar / Diesel) and; Propose the use of the hybrid system (Solar / Diesel) in other operating units of CINDACTA IV. The present study has scientific relevance because it can establish a new paradigm in the energy issue of the Country. It is notorious that Brazil has experienced some moments of "Black out" that served as alert to identify faults, fragilities and obsolete systems of energy. Therefore, the use of solar energy for large enterprises can give the necessary scientific certainty of its capacity still unexplored. As methodology, the present study used as a research technique the

case study, having as a unit of analysis the control of traffic and airspace control of Tiriós - PA. The research universe consists of several military units that do not have conventional electricity and that require the use of diesel generator sets.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 - OBJETIVOS.....	3
1.1.1 - Objetivo geral.....	3
1.1.2 - Objetivos específicos.....	3
<b>CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	4
2.1 - A ENERGIA SOLAR.....	4
2.2 - SISTEMA FOTOVOLTAICO (FV).....	12
2.3 - REDUÇÃO DE CUSTOS ECONÔMICOS COM O USO DA ENERGIA SOLAR.....	17
2.4 - ENERGIA HÍBRIDA E ENERGIA TRADICIONAL.....	21
2.5 - DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	25
2.5.1 - Características do Sistema Fotovoltaico.....	26
2.5.2 - Banco de Baterias.....	26
2.5.3 - Pannel Fotovoltaico.....	27
2.5.4 - Cabeamento.....	27
<b>CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA</b> .....	30
3.1 - PROCEDIMENTO.....	30
3.2 - DELIMITAÇÃO.....	30
3.3 - LIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	31
3.4 - PROCEDIMENTO DE ANÁLISE.....	31
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	37
4.1 - DEFINIÇÃO DA ZONA DE ESTUDO E USO DE ENERGIA.....	37
4.2 - DETALHAMENTO DE PROJETO PARA O DESTACAMENTO DE TIRIÓS - PA.....	37
4.3 - INVERSORES BIDIRECIONAIS (INVERSORES/CARREGADORES) PARA SISTEMA ISOLADO.....	46
4.4 - BANCO DE BATERIAS OPZS.....	47
4.5 - CÁLCULO DA POTÊNCIA PICO EM RELAÇÃO A HSP.....	48
4.6 - TIPO DE FIXAÇÃO DOS MÓDULOS.....	48
4.6.1 - Estruturas de Suporte dos Módulos Fotovoltaicos.....	48
4.7 - MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	49
4.8 - INVERSORES FOTOVOLTAICOS (INVERSORES DE CONEXÃO À REDE).....	51
4.9 - PONTO DE CONEXÃO AO SISTEMA DE ENERGIA EXISTENTE.....	53
4.9.1 - Cabeamento Elétrico de CC e CA.....	54
4.9.2 - Investimento em Energia Fotovoltaica na Composição de Sistema Híbrido.....	55

<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>59</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b>	Leitura da Irradiação Solar.....	5
<b>Figura 2.2</b>	Formula de irradiação.....	6
<b>Figura 2.3</b>	Equação de unidade watt estruturada por James Watt.....	6
<b>Figura 2.4</b>	Módulo flexível de silício amorfo.....	8
<b>Figura 2.5</b>	Módulo de silício policristalino à esquerda.....	8
<b>Figura 2.6</b>	Exemplo de Sistema Fotovoltaico.....	13
<b>Figura 2.7</b>	Progressão mensal de gastos entre o sistema térmico e o fotovoltaico.	15
<b>Figura 2.8</b>	Matriz Energética Elétrica Brasileira.....	16
<b>Figura 2.9</b>	Uso de energia fotovoltaica no mundo.....	18
<b>Figura 2.10</b>	Estrutura Híbrida.....	23
<b>Figura 2.11</b>	Gráfico horário de picos de irradiação.....	25
<b>Figura 4.1</b>	Mapa da Região de Tiriós - PA.....	38
<b>Figura 4.2</b>	Área de Tiriós - PA.....	38
<b>Figura 4.3</b>	Latitude: 2,221343°N Longitude: -55,942519°.....	39
<b>Figura 4.4</b>	Imagem de satélite da área estudada.....	39
<b>Figura 4.5</b>	Área de instalação, Tiriós - PA.....	40
<b>Figura 4.6</b>	Etapas do software SWERA.....	41
<b>Figura 4.7</b>	Etapas do software SWERA.....	41
<b>Figura 4.8</b>	Etapas do software SWERA.....	42
<b>Figura 4.9</b>	Interface do software Radasol.....	43
<b>Figura 4.10</b>	Gráfico de Desempenho Temporal do Software Radasol.....	44
<b>Figura 4.11</b>	Gráfico de Desempenho Geral do Software Radasol.....	44
<b>Figura 4.12</b>	Tabela de irradiação média.....	45
<b>Figura 4.13</b>	Esquema de fornecimento de energia.....	53
<b>Figura 4.14</b>	Diagrama de blocos Multicluster-Box.....	54

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b>	Descrição do dimensionamento do banco de bateria.....	27
<b>Tabela 2.2</b>	Descrição do dimensionamento do painel fotovoltaico.....	28
<b>Tabela 2.3</b>	Descrição do dimensionamento do regulador de carga.....	28
<b>Tabela 3.1</b>	Matriz PMBOK.....	32
<b>Tabela 3.2</b>	Cronograma básico do projeto (marcos principais).....	35
<b>Tabela 3.3</b>	Estimativas iniciais de custo.....	35
<b>Tabela 4.1</b>	Códigos com os respectivos meses.....	42
<b>Tabela 4.2</b>	Tabela Numérica de irradiação.....	45
<b>Tabela 4.3</b>	Tabela de Fixação.....	48
<b>Tabela 4.4</b>	Dimensionamento Técnico.....	50
<b>Tabela 4.5</b>	Cálculos de Módulos.....	52
<b>Tabela 4.6</b>	Características econômicas.....	55
<b>Tabela 4.7</b>	Características econômicas gerais.....	56

## NOMENCLATURA

CINDACTA IV – Quarto Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego  
Aéreo

SIVAM – Sistema de Vigilância da Amazônia

DTCEA- Destacamento de Controle do Espaço Aéreo

DPS - Dispositivos de proteção de sobretensão

FV – Fotovoltaico

(SI) - Sistema Internacional de Unidades

NBR – ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

W/m<sup>2</sup> - Watts por metro quadrado.

MW - Megawatts

PV - Photovoltaic - Fotovoltaica

CSP - Energia Solar Concentrada

KWh - Kilowattpico

Aw - attowatts

A - Alpha

B - Beta

Θ - Theta

z - Zeta

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

A classificação de energia solar pode ser definida como todo tipo de captação de energia luminosa, energia térmica (e suas combinações) proveniente do sol, que ao ser transformada, produz a força combustível utilizável pelo homem, seja esta usada como forma de aquecimento de água ou ainda como energia elétrica ou energia térmica.

De acordo com dados científicos, quanto a Terra executa o seu movimento de translação ao redor do Sol, a Terra é exposta a 1.410 W/m<sup>2</sup> de energia, medição feita numa superfície normal (com ângulo reto) com o Sol. Deste volume de energia, aproximadamente 19% apenas é absorvido pela atmosfera e, aproximadamente 35% dessa energia é refletida através das nuvens. Quando a esta energia passa pela atmosfera terrestre, a maior parte da mesma está na forma de luz visível e luz ultravioleta.

A energia oriunda da radiação solar, complementada com outros recursos secundários de alimentação, como por exemplo a energia eólica e das ondas, hidroeletricidade e biomassa, são responsáveis por grande parte da energia renovável disponível na terra. Porém, apenas uma minúscula fração da energia solar disponível é utilizada.

Todo o planeta passa por uma fase de conceitos de sustentabilidade, do qual a energia solar faz parte integrante desta nova etapa. O presente estudo contempla uma viabilidade do uso da energia solar em termos de sustentabilidade, economia financeira e utilização de energia limpa sem impactos para a natureza e o homem.

Nesse âmbito e a partir da vivência do autor em unidade da força aérea, durante a viabilização do projeto SIVAM construiu-se um Destacamento de Controle do Espaço Aéreo nesta localidade para intensificar a vigilância do espaço Aéreo e o controle da circulação aérea. Por não haver energia elétrica na comunidade construiu-se um Destacamento que fosse autossuficiente eletricamente.

Neste contexto, a Unidade de Controle de Tráfego e do Espaço Aéreo de Tiriós – PA com os altos custos dos combustíveis e da logística aérea mensal, além das cobranças internacionais e nacionais em manter o Meio Ambiente buscou uma alternativa energética que diminuísse os altos custos do Destacamento de Tiriós.

E a partir de avaliações constantes sobre o clima, iluminação natural e duração desta iluminação, foram impelidas à experiência do uso da energia solar, que apesar de

ter seu uso já comumente utilizada na área rural e até urbana na esfera doméstica, não se saberia qual sua capacidade na autossuficiência da unidade de Tiriós – PA, visto que sua demanda é de grande porte.

Desta forma, o presente estudo busca relatar a experiência da Unidade de Controle de Tráfego e Espaço Aéreo de Tiriós – PA, para avaliar seus benefícios e implementar seu uso na autossuficiência desta Unidade.

Este estudo justifica-se por apontar relevância científica porque pode estabelecer um novo paradigma na questão energética do País. É notório que o Brasil já experimentou alguns momentos de “*black out*” que serviram de alerta para identificar falhas, fragilidades e sistemas obsoletos de energia. Por isso, o uso da energia solar para grandes empreendimentos pode dar a necessária certeza científica de sua capacidade ainda inexplorada.

Na questão específica do destacamento de Tiriós – PA, justifica-se por ser a possibilidade mais viável de reduzir custos econômicos e financeiros e ainda, implementar a reprodução da estrutura energética para outras unidades, sendo este sistema de fornecimento de energia Híbrida (Solar/Térmica).

Sendo o QUARTO CENTRO INTEGRADO DE DEFESA AÉREA E CONTROLE DE TRAFEGO AÉREO - CINDACTA IV o órgão responsável pelo controle de tráfego aéreo e defesa aérea, na Região Amazônica, necessita ter assegurada a operacionalidade dos equipamentos que fornecem energia com qualidade, para os radares, auxílios à navegação e sala técnica sob sua jurisdição. Pois, o perfeito funcionamento desta classe de equipamento (sistema de energia) é essencial para garantir a prestação dos serviços.

O presente estudo também apresenta justificativa relevante por se considerar como um laboratório experimental na busca de uma autonomia energética solar, energia esta considerada como uma opção inesgotável e que pode reconfigurar a questão econômica do ponto de vista do preço de energia para toda a sociedade brasileira, retomando o crescimento do país retirando barreiras operacionais ao desenvolvimento.

Esta pesquisa busca responder a problemática: O uso da energia solar como componente híbrido da matriz energética em unidade operacional do CINDACTA IV destacamento da cidade de Tiriós – PA, pode reduzir significativamente custos financeiros e econômicos para a Instituição?

## **1.1 - OBJETIVOS**

A presente dissertação busca objetivos que possam ter relevância para produzir resultados econômicos, técnicos e de eficiência e eficácia, do uso da energia solar em unidades de grande porte, como é o complexo militar brasileiro em regiões que tenham deficiência de fontes de energia estabilizadas, podendo ser aprimorada a técnica e estrutura para beneficiar, inclusive, pequenas comunidades ou cidades planejadas das quais tenham localização geográfica com restrição de recursos energéticos.

Assim, em termos de contribuição científica e relevância socioeconômica, implementar uma nova era energética brasileira, a qual possui uma fonte inesgotável e que vem apresentando cada vez mais uma segurança de seu uso em escala de grande porte como é o caso do destacamento militar brasileiro. Outrossim, estabelecer benefícios para toda a nação, já que tem neste empreendimento, um laboratório de experiências a serem testadas a fim de prover o sistema energético nacional.

### **1.1.1 – Objetivo geral**

Avaliar os resultados da utilização de um sistema híbrido Energia Solar/Térmica no Destacamento de Tiriós – PA, com a finalidade de reduzir os custos operacionais, impactos ambientais e de atender níveis excelentes de operacionalidade no fornecimento de energia desta Unidade.

### **1.1.2 – Objetivos específicos**

- Dimensionar o potencial de energia fotovoltaica e sua utilização híbrida (solar/diesel) na Unidade de Tiriós – PA;
- Avaliar os custos anuais com a energia térmica utilizada por esta Unidade e compará-los aos custos com sistema híbrido (Solar / Diesel);
- Propor a utilização do sistema híbrido (Solar/Diesel) em outras unidades operacionais do CINDACTA IV.

## CAPÍTULO 2

### REFERENCIAL TEÓRICO

#### 2.1 - A ENERGIA SOLAR

De acordo com ABREU (2000), o planeta Terra recebe aproximadamente 174 petawatts (GT) de radiação solar (insolação) na zona superior da atmosfera. Dessa radiação, cerca de 30% é refletida para o espaço, enquanto o restante é absorvido pelas nuvens, mares e massas terrestres. O espectro da luz solar na superfície da Terra é mais difundido em toda a gama visível e infravermelho e uma pequena gama de radiação ultravioleta.

O globo terrestre, os oceanos e atmosfera absorvem a radiação solar, e isso resulta no aumento de sua temperatura. O ar quente que contém a água evaporada dos oceanos sobe, provocando a circulação e convecção atmosférica (ALVARENGA, 2001).

Assim, quando o ar atinge uma altitude elevada, onde a temperatura é baixa, o vapor de água condensa-se, formando nuvens, que posteriormente provocam precipitação sobre a superfície da Terra, completando o ciclo da água. O calor latente de condensação de água aumenta a convecção, produzindo fenômenos atmosféricos, como o vento, ciclones e anticiclones. A luz solar absorvida pelos oceanos e as massas de terra mantém a superfície a uma temperatura média de 14 ° C. A fotossíntese das plantas verdes converte a energia solar em energia química, que produz alimentos, madeira e biomassa a partir do qual os combustíveis fósseis são derivados (ABREU, 2000).

De acordo com AMARAL *et al.* (2006), o montante de energia solar absorvida pela atmosfera terrestre, oceanos e as massas de terra é de aproximadamente 3.850.000 exajoules (EJ) por ano. E essa energia solar pode ser aproveitada em diferentes níveis em todo o mundo. Consoante a localização geográfica, quanto mais perto do equador, mais energia solar pode ser potencialmente captada.

As grandes áreas de deserto, onde as nuvens são baixas e estão localizadas em latitudes próximas ao equador são mais favoráveis à captação da energia solar. Os desertos que se encontram relativamente perto de zonas de maior consumo em países desenvolvidos têm a sofisticação técnica necessária para a captura de energia solar.

Realizações cada vez mais importantes como o Deserto de Mojave (Califórnia), onde existe uma planta termosolar com uma capacidade total de 354 MW (JOSÉ, 2008).

Em relação ao termo irradiação, se refere à radiação captada em uma determinada área na superfície terrestre durante um determinado tempo. Por exemplo, ao falar em 100 kWh/m<sup>2</sup> de irradiação significa que foram captados 100 quilowatts de radiação em uma hora por metro quadrado (ASTROSOL, 2015), como cita a Figura 2.1 (leitura de irradiação solar), destacando a irradiação global em seus aspectos inclinada e difusa.

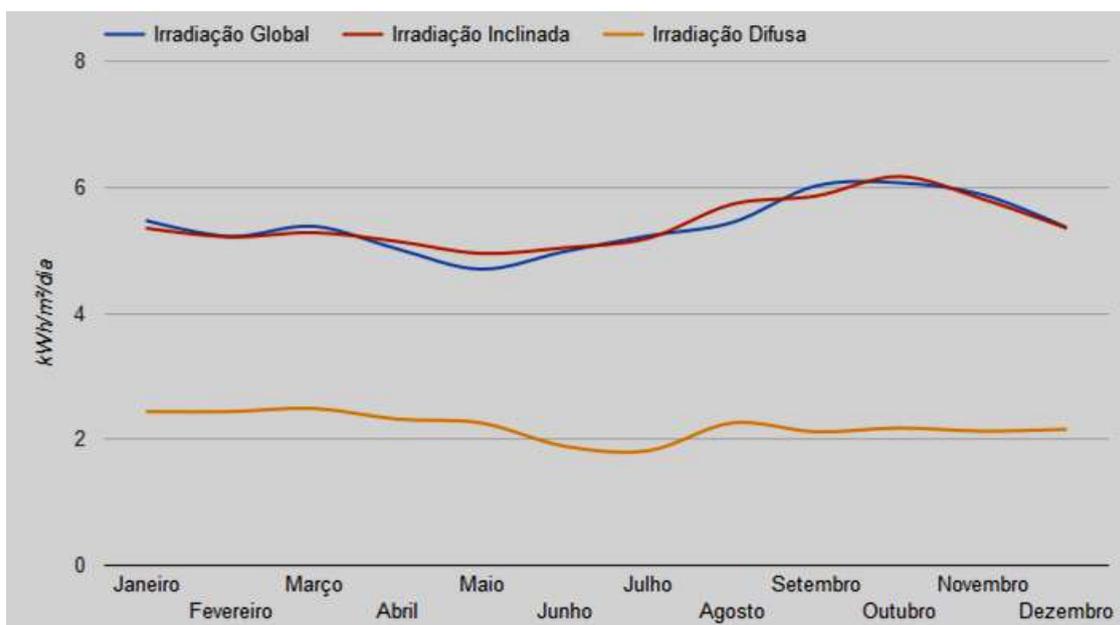


Figura 2.1 - Leitura da Irradiação Solar.  
Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil (2015).

Esse fator é explicado pela potência da radiação do Sol. A radiação solar é um termo utilizado para se referir à forma de transferência da energia vinda do sol através da propagação de ondas eletromagnéticas. A quantidade de radiação solar que chega em cada ponto da Terra depende dos obstáculos que tais ondas encontram na atmosfera. Porém, a radiação que chega a qualquer ponto do topo da atmosfera é constante e conhecida como "Constante Solar". A constante solar é estimada em 1.366 W/m<sup>2</sup>. Ao chegar à superfície da Terra, ela alcança no máximo 1000 W/m<sup>2</sup>. Assim, se a eficiência de determinado painel solar é de 10%, isso significa que ele será capaz de captar no máximo 100 W/m<sup>2</sup> (ASTROSOL, 2015).

Comparado com o consumo de energia do mundo, que em 2007 na fonte primária foi de 11.099,3 x10<sup>6</sup> tep (BP, 2008), transformando para MW, 1tep = 4

MWhe, (EPE, 2007) o consumo de energia em 2007 foi de  $4,4397 \times 10^{16}$  Whe, o que corresponde à irradiação solar recebida pela Terra em aproximadamente 20 minutos (Figura 2.2).

$$\frac{4,4397 \times 10^{16} \cdot 60}{1,278 \times 10^{14} \cdot 1000} = 20,84 \text{ min}$$

Figura 2.2 – Formula de irradiação.  
Fonte: EPE (2007).

Nesse sentido, para maior entendimento, ao se relatar a potência possível obtida, cabe definir a medida de potência que é o Watt-pico (Wp), normalmente associada com células fotovoltaicas. A unidade mais correntemente usada são os múltiplos do Wp, como o kWp ou o MWp. Dado que as condições de produção de energia elétrica dependem bastante de fatores externos à célula, o valor da potência dado em Wp é um valor obtido em condições ideais específicas. Assim, o valor de Wp de um determinado sistema fotovoltaico que funcione em corrente contínua é a potência medida, quando este sistema é irradiado por uma luz que simula a luz solar com a potência de 1000 W/m<sup>2</sup>, à temperatura de 25 °C. O watt (símbolo: W) é a unidade de potência do Sistema Internacional de Unidades (SI). É equivalente a um joule por segundo (1 J/s), como demonstra a Figura 2.3. A unidade watt recebeu este nome em homenagem a James Watt, pelas suas contribuições para o desenvolvimento do motor a vapor, e foi adotada pelo segundo congresso da associação britânica para o avanço da ciência em 1889. E resulta da seguinte equação:

$$W = J \cdot s^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$$

$$1 W = \frac{1 J}{s}$$

$$J = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$$

$$1 J = 1 kg \cdot \frac{m^2}{s^2}$$

Figura 2.3 – Equação de unidade watt estruturada por James Watt.

Verificou-se que os percentuais de geração mensal têm certa defasagem dos percentuais de irradiação solar. Isso se deve em parte aos valores de irradiação global ser referentes à média histórica de dados, fornecida pelo SWERA (PEREIRA *et al.*, 2006), enquanto os dados de geração são do ano de 2007. Isso pode indicar que no ano de 2007 houve maiores ou menores níveis de irradiação devido a algumas características climáticas diferentes da média histórica, como chuvas e nuvens. Então estes dados deviam ser comparados com dados climáticos do ano de 2007 para retirar o fator da média histórica. Entretanto, quando comparados com os dados de irradiação tomados pela estação solarimétrica do LABSOLAR, medidos durante o ano de 2007 e locados na mesma cidade que os dois sistemas analisados, também se percebe alguma defasagem entre o percentual de geração e de irradiação, embora sejam menores que a defasagem em relação aos dados do SWERA.

A temperatura de trabalho dos módulos também pode ter alterado os níveis de geração, já que os módulos possuem sua maior eficiência nas condições standard, a 25°. Segundo o estudo do Conselho Mundial da Energia com um estudo publicado em 2007, em 2100, 70% da energia consumida será de origem solar. Em 2009 a capacidade instalada mundial de energia solar era de 2,6 GW, cerca de 18% da capacidade instalada de Itaipu. Os principais países produtores, curiosamente, estão situados em latitudes médias e altas. O maior produtor mundial atualmente é o Japão (com 1,13 GW instalados), seguido da Alemanha (com 794 MW) e Estados Unidos (365 MW) (ANEEL, 2015).

Assim geram mais energia em dias ensolarados e frios (com alta radiação solar e menor temperatura de trabalho), já que o módulo se aquece pela exposição à irradiação solar, diminuindo a eficiência (RÜTHER, 2007). Mas para isso os meses de verão deveriam ter menor percentual de geração do que de irradiação, o que também não ocorre.

Deste modo se torna abstrato identificar quais os elementos responsáveis pela caracterização exata dos níveis de geração, merecendo um estudo a parte, já que este tema não é o foco do presente trabalho. Neste trabalho será considerado que há uma relação direta entre os níveis de radiação e de geração, mas que também existem outros fatores que podem alterar os níveis de geração. Assim ao tomar como base os níveis de geração de sistemas já instalados e em funcionamento, e não uma estimativa de geração somente a partir dos níveis de irradiação, os valores utilizados serão mais próximos do real e terão incorporados outras variáveis além dos níveis de irradiação solar.

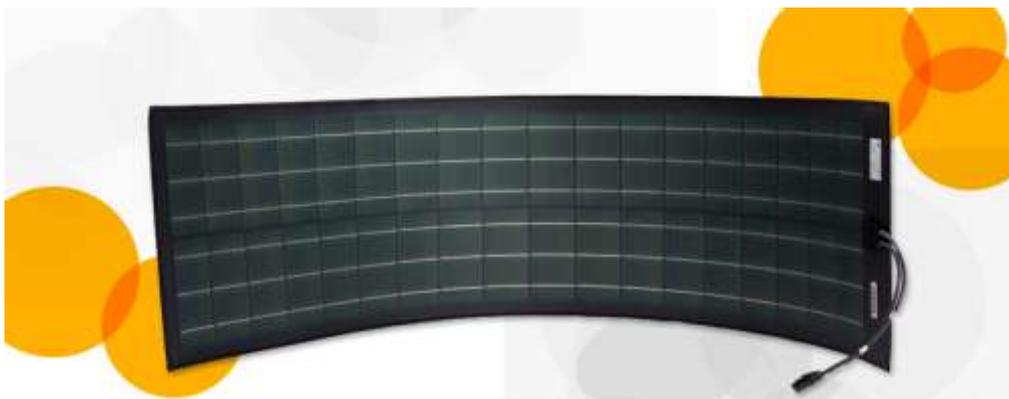


Figura 2.4 - Módulo flexível de silício amorfo.  
Fonte: Uni-Solar®.



Figura 2.5 - Módulo de silício policristalino à esquerda.  
Fonte: Kyocera®.

Através dos valores de geração em relação ao potencial instalado, pode-se perceber também que há uma correlação entre a geração das duas tecnologias. Ou seja, os módulos de silício amorfo (Figura 2.4) geram mais energia que os módulos de silício policristalino (Figura 2.5), isso sobre as mesmas condições climáticas e mesmos níveis de irradiação. Este fator de correlação representa a relação entre o yield de cada sistema, ou seja, a sua geração anual por kWp instalado. No caso deste estudo temos que o yield do sistema de a-Si representa em média 1,06 vezes o yield do sistema de p-Si. Esta questão é importante de ser percebida pela disponibilidade de dados do sistema de a-Si, a cada quatro minutos, e da não existência dos mesmos valores para o p-Si, onde somente se integra a energia gerada (kWh). Assim quando necessário pode-se estimar uma curva de geração diária para o p-Si a partir dos dados do a-Si.

Entrou em funcionamento em 27 de março de 2007 a Central Solar Fotovoltaica de Serpa (CSFS), que na altura de absorção, representa a maior unidade do gênero no Mundo. Fica situada na freguesia de Brinches, Alentejo, Portugal, numa das áreas de maior exposição solar da Europa. Tem capacidade instalada de 11 MW, suficiente para abastecer cerca de oito mil habitações. Entretanto está projetada e já em fase de construção outra central com cerca de seis vezes a capacidade de produção desta, também no Alentejo, em Amareleja, Concelho de Moura - Portugal.

Muito mais ambicioso foi o projeto australiano de uma central de 154 MW, capaz de satisfazer o consumo de 45 000 casas. Está situada em Victoria - Austrália e entrou em funcionamento em 2013. A redução de emissão de gases de estufa conseguida por esta fonte de energia limpa foi de 489.000 toneladas por ano, superando inclusive sua meta inicial de 400 000 toneladas. Em outro ponto, em março de 2013, foi inaugurada nos Emirados Árabes Unidos a maior central fotovoltaica no mundo, com uma capacidade de 100 megawatts e um custo de 600 milhões de dólares, permitindo fornecer energia a 20.000 casas inicialmente e chegando a capacidade de 34.000 residências no final de 2015.

O seu parque solar é formado por grandes parabólicas de sensores espelhados, cobrindo uma superfície equivalente a 285 estádios de futebol. O parque está instalado em pleno deserto de Madinat Zayed, na região ocidental do país, a cerca de 120 quilômetros a sudoeste de Abu-Dhabi, uma das regiões mais ensolaradas e quentes do mundo. Destaca ainda, que a energia vinda do sol é tão grande que três semanas de energia solar recebida na Terra equivalem a todas as reservas de combustíveis fósseis da terra.

A maior parte da energia gerada em todo o mundo utiliza combustíveis fósseis que envolvem a emissão de dióxido de carbono e é prejudicial ao ambiente e ao esgotamento dos recursos de combustíveis fósseis. A variação contínua dos preços dos combustíveis adicionou uma grande preocupação sobre o seu uso sustentável para as necessidades energéticas futuras. A fim de minimizar a degradação do meio ambiente durante o processo de produção de energia e principalmente devido às emissões de gases perigosos na atmosfera terrestre, a utilização de fontes de energias renováveis se apresenta como o uso correto dos recursos naturais e tem a marcante característica de serem classificadas como energia limpa e sustentável.

Devido a uma crescente demanda de energia limpa, um aumento acentuado na utilização de energia solar naturalmente disponível tem sido observado. Atualmente,

existem várias rotas possíveis para a evolução tecnológica da energia solar. A fim de utilizar eficazmente o sistema de energia solar, é preciso conhecer a tecnologia e sua adequação de acordo com as exigências e natureza do uso.

E nesse sentido, é importante enfatizar que tem sido a energia solar fotovoltaica (PV) e a energia solar concentrada (CSP) as possibilidades mais viáveis para o atual momento da humanidade. Seus fatores como tipo, mecanismo, e eficiência e custos têm sido intensamente discutidos. Foi observado que a energia solar fotovoltaica é a mais completa comercialmente e sua tecnologia madura é adequada tanto para aplicações de pequeno, quanto de grande porte. E dentro desse mesmo mercado, a tecnologia CSP apesar de ter custo maior em sua implantação, possui rendimentos com maiores retornos econômicos e é adequada para aplicações em grande escala. Cada tecnologia de energia solar tem a sua própria vantagem e desvantagem e seu uso preferencial é basicamente dependente do caso específico e condições dadas. Também tem sido observado que a energia solar, que é uma fonte relativamente estável e disponível de forma consistente, tem potencial significativo para atender necessidades de eletricidade sempre crescente no Mundo (KHAN e ARSALAN, 2016).

A produção de energia de forma segura e sem perigo é uma das maiores preocupações do mundo. Desde o início do Protocolo de Kyoto, que foi adotada em 1997 e entrou em vigor em fevereiro de 2005, os países começaram a adotar medidas diferentes para redução de emissões, tais como a produção de eletricidade a partir de fontes de energia renováveis e livre de gás efeito estufa (GEE) ou de emissão de CO<sub>2</sub>. Legislações e incentivos financeiros foram fornecidos por alguns governos para fomentar e garantir bons retornos para os investidores no setor das energias renováveis (ADAM e APAYDIN, 2016).

As mudanças climáticas por conta das emissões de gases de combustíveis fósseis, como o efeito estufa, levou vários governos a canalizar recursos na utilização comercial das fontes de energia renováveis. E para superar o impacto negativo sobre o ambiente e outros problemas associados com os combustíveis fósseis, a energia solar é uma das melhores fontes alternativas e com menor impacto sobre o ambiente. Entre os usos dessa energia, estão os casos de sucesso no processo de dessalinização da água e técnicas de purificação de água ultrapura, produzindo água destilada (KABEEL *et al.*, 2016).

Um dos pontos mais atraentes do uso da energia solar são os custos com combustíveis fósseis e com energia elétrica. Um exemplo bem recente no Brasil é o

aumento estabelecido pelo governo para a energia elétrica, que subiu para patamares de mais de 40% de aumento. Os impactos ambientais negativos, fontes limitadas de combustíveis fósseis e um elevado consumo de energia e alimentos têm gerado a necessidade de uma energia barata e com um selo verde e sustentável como a fonte solar (HASSANIEN e DONG LIN, 2016)

A Arábia Saudita revelou o desenvolvimento de energia renovável no país anunciando um ambicioso plano para instalar 41 GW de capacidade solar e investir US \$ 108,9 bilhões até 2032. Os incentivos oferecidos pelo governo saudita para incentivar a criação de uma indústria de energia solar também são ousados, incluindo o financiamento e grandes incentivos fiscais (ALYAHYA e IRFAN, 2016).

A Turquia por sua vez, obteve o mais rápido crescimento no mercado de energia do mundo em paralelo com o seu crescimento econômico registrado nos últimos 10 anos e está ganhando rapidamente uma estrutura competitiva. Este país está cada vez mais se voltando para fontes de energia renováveis como um meio para melhorar a sua segurança energética e reduzir a dependência do gás importado da Rússia e do Irã. A Turquia é um país que tem enormes potenciais de energia hidrelétrica, eólica e solar entre os países europeus, constituindo-se numa meta governamental a política energética verde, seja esta de fonte solar, geotérmica, eólica ou hidrelétrica até 2023 (BENLI, 2016).

Outro exemplo é o território Russo, que é fortemente dependente de fontes a diesel. A geração de energia a partir deste combustível impõe um encargo econômico e social muito grande para a população local, trazendo como consequência impactos ambientais das emissões de gases de efeito estufa, o carbono negro e derrames de petróleo. E apesar do território Russo possuir grandes recursos petrolíferos, a mudança para energias renováveis reduzirá o custo econômico, social e ambiental atual de fornecimento de energia elétrica em áreas remotas da Rússia (BOUTE, 2016).

Mais um exemplo internacional é o caso do governo australiano, que está com dificuldades em gerir os custos crescentes de fornecimento de eletricidade apesar de a geração distribuída cumprir os objetivos sociais e acessibilidade em áreas remotas. As populações isoladas e dispersas geograficamente são geralmente eletrificadas por redes distribuídas usando geradores a diesel. Este é caro, ambientalmente prejudicial e não explora os vastos recursos renováveis disponíveis (BYRNES, 2016).

Atualmente, a comunidade global está ciente do limite crítico da poluição proveniente de combustíveis fósseis. Muitos países, incluindo Tailândia, têm explorado

energias alternativas, uma das quais é a energia solar. Em particular, o uso de energia solar para geração de eletricidade é importante para reduzir a energia importada, já que as importações de energia comerciais primárias da Tailândia representam cerca de 50%, de toda a energia usada no país. O governo então tem apoiado as energias renováveis através do longo prazo de 22 anos do Plano Alternativo de Desenvolvimento Energético 2015-2036 (AEDP, 2015), que visa impulsionar a produção de eletricidade a partir de energias renováveis, especialmente solar; até 6000 MW até o ano de 2036 (CHIMRES e WONGWISES, 2016).

No Brasil, a energia hidrelétrica é a espinha dorsal do setor de geração de energia, mesmo que o uso deste recurso não emita gases que contribuam para o efeito estufa, o último ano de secas severas também tem exposto o país a grandes intempéries já que o mesmo possui uma enorme dependência da hidroeletricidade. O sistema de abastecimento de energia elétrica do Brasil tem se mostrado vulnerável à escassez de eletricidade e exigiu revisão significativa a fim de resolver seus desafios (CORRÊA DA SILVA; DE MARCHI NETO e SILVA SEIFERT, 2016).

A Espanha deve reduzir seu consumo de energia em 23% e atingir 100% de energias renováveis na produção de eletricidade em 2030. Em 2012 a Espanha foi o país europeu número dois em termos de energia renovável instalada. A tecnologia de energia solar fotovoltaica tem o potencial para atender a demanda futura de energia da Espanha e seus desafios ambientais associados (GIRARD *et al.*, 2016).

A partir das experiências aplicadas em outros países, pode-se afirmar que o investimento em energia solar é extremamente baixo, representando menos de 3% do investimento, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica do Brasil – ANEEL, que configura a matriz energética elétrica do País de acordo com o Figura 2.8.

## 2.2 - SISTEMA FOTOVOLTAICO (FV)

Em 2014 a capacidade global instalada acumulada, segundo a EPIA (*European Photovoltaic Industry Association*), foi de 178 GW, sendo que só a Alemanha acumulou impressionantes 38 GW instalados em sua matriz, seguida pela China (28 GW) e Japão (23 GW) Vale lembrar aqui, como comparação, que Itaipu ainda é a maior usina hidrelétrica do mundo em geração de energia, com capacidade instalada de 14 GW.

Sistemas Fotovoltaicos (FV) são conjuntos de equipamentos através dos quais se converte a energia solar em energia elétrica utilizável. Os dois tipos principais de

sistemas FV são o interligado a rede e o autônomo. Este último, em locais não atendidos pela rede elétrica pública. O sistema FV interligado a rede pode ainda ser integrado a arquitetura do prédio que atende (os chamados "edifícios FV").

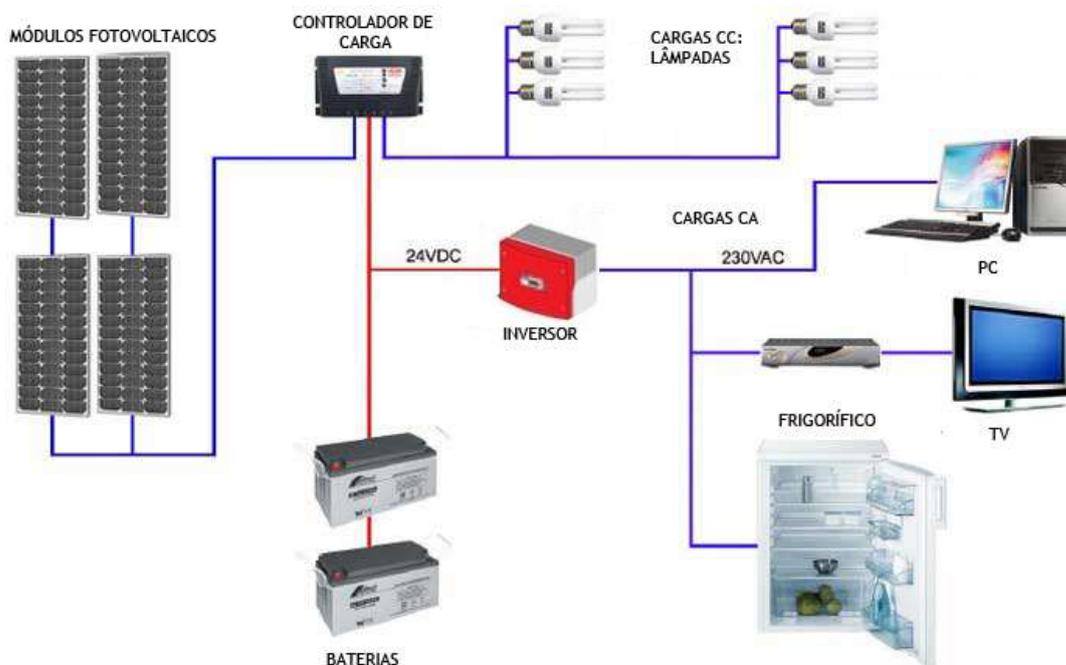


Figura 2.6 – Exemplo de Sistema Fotovoltaico.

Os módulos fotovoltaicos geram Corrente Contínua (CC) \* e não estável, sendo necessária a introdução de um Controlador de Carga, para regular e estabilizar a corrente gerada e proteger os componentes seguintes. A energia criada pode ser armazenada ou utilizada diretamente.

Para armazenar utilizam-se Baterias, que são protegidas de sobrecarga ou de descarga completa pelo Controlador. Pode-se utilizar a energia gerada ou armazenada de duas maneiras: Corrente Contínua (CC) \* ou Corrente Alternada (CA) \*. Para utilizar a CC basta ligar os componentes de acordo com a sua Voltagem. Para utilizar CA, tanto no caso de injeção na rede como de aplicações CA, tem de existir um Inversor que se encarrega de transformar por exemplo CC 12V em CA 230V.

Para projetar um sistema fotovoltaico, deve-se ter em atenção o seguinte:

- a. Para uma maior eficiência os painéis devem ser orientados a sul, com uma ligeira inclinação que depende do local do globo.
- b. Evitar locais que com sombras, saber a trajetória do sol que é diferente no Verão e no Inverno

- c. Os painéis solares podem ser muito pesados, condicionando a sua localização em locais altos, como telhados.

Os principais componentes de um sistema FV são os módulos fotovoltaicos (nos quais ocorre a conversão direta de energia solar em energia elétrica em corrente contínua e variável, através do efeito FV), o inversor (presente em sistemas FV conectados à rede ou em sistemas FV autônomos com cargas em corrente alternada) e banco de baterias com controlador de carga-descarga (normalmente não é utilizado em sistemas conectados à rede).

Voltando ao Brasil, considerando os três leilões de reserva já realizados para energia fotovoltaica, sendo um em 2014 e dois em 2015, foram contratados pouco mais de 3 GW em mais de 100 empreendimentos de geração centralizada, com início de operação destas usinas previsto para o final de 2017. A maior usina solar em operação hoje é do Complexo de Fontes em Tacaratu- Pernambuco, inaugurada em outubro passado com 11 MW. Trata-se de uma usina híbrida, gerando em conjunto com um parque eólico de 80 MW. Apesar do governo já ter sinalizado através do PDE 2024 (Plano Decenal de Energia) a intenção de instalar 7 GW de geração solar centralizada, e a EPE (Empresa de Pesquisas Energéticas), apresentou uma previsão de mercado de 1,3 GW em geração distribuída, ambos até 2023. Desta forma estamos falando de um mercado que irá saltar de 35 MW atuais para mais de mais de 8 GW em menos de uma década (ANEEL, 2016).

Contudo, existem desafios enormes a serem vencidos, entre burocracia, regulamentações, impostos, financiamentos, incentivos e interesses diversos. Dentro deste cenário e de um mercado em franca expansão, também torna-se uma necessidade urgente a capacitação de mão de obra especializada para atender as necessidades e oportunidades que começam a surgir. Neste ponto vemos algumas empresas se especializando e desenvolvendo centros de treinamento específicos e focados no instalador fotovoltaico. Estudos apontam que a geração de postos de trabalho na área solar fotovoltaica é de aproximadamente 30 empregos por MW instalado, superando outros segmentos como eólica e térmicas (NEOSOLAR, 2016).

Outro ponto positivo foi a sinalização do Ministério de Minas e Energia em transformar os lagos das usinas hidroelétricas em usinas solares, através de sistemas de flutuação dos painéis solares, iniciando pelos lagos de Sobradinho e Balbina, trazendo confiabilidade ao discurso dos ambientalistas, de que se cobrirmos a área equivalente ao

Lago de Itaipu com painéis solares, podemos gerar até três vezes mais energia que própria capacidade da usina.

De acordo com o Atlas Solarimétrico do Brasil, fornecido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPTEL / Eletrobrás (2015), mostram a redução média progressiva que se obtém no custo com o fornecimento de energia (Térmica) quando se instala um sistema fotovoltaico, tendo a média mensal de consumo que é de aproximadamente 250 kWp. Na Figura 2.7 pode-se ainda fazer um comparativo de consumo, em custo financeiro, do quanto em kWh se gasta com o combustível pelo consumo de eletricidade (barras cinzas) e quanto se gasta, em kWh, a partir da instalação de um sistema fotovoltaico em sua edificação (barras amarelas). A projeção pode ser avaliada de acordo com a geração elétrica mensal de seu sistema fotovoltaico. Caso seu o gerador produza maior quantidade de energia além do que você consome no mês, o excedente será armazenado em baterias extras capazes de dar suporte em situações de pico, situação prevista pelo projeto.

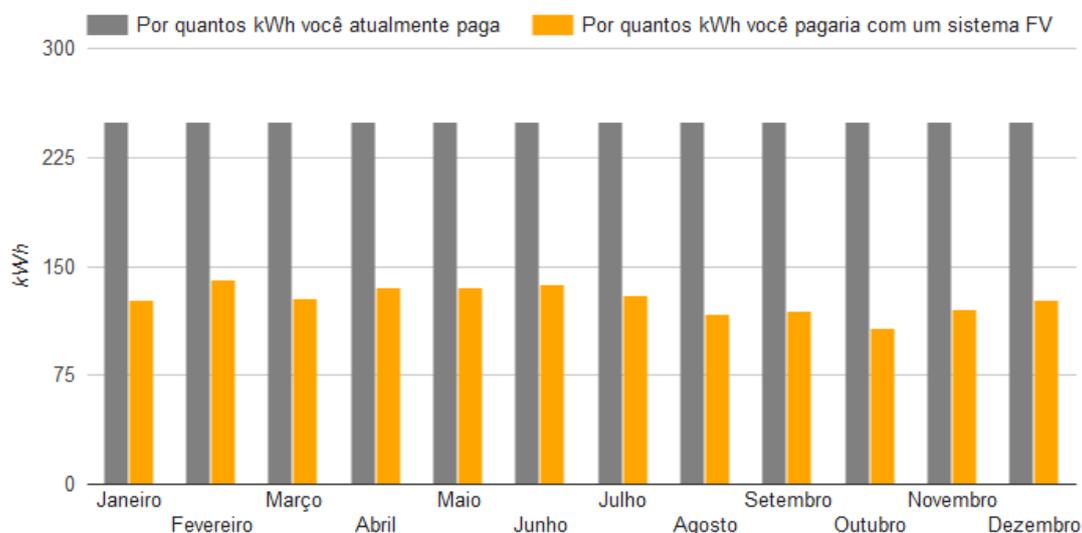


Figura 2.7 - Progressão mensal de gastos entre o sistema térmico e o fotovoltaico.  
Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil (2015).

Cabe ressaltar também que, ainda que não se gaste energia, o consumo no sistema térmico nunca é igual a zero, pois como o destacamento trabalha com rede **trifásica**, nunca se desligando, o excedente é perdido e o custo de disponibilidade é um valor em reais que equivale a 100 kWh.

A partir dos cálculos básicos feitos em relação à redução de custos de energia térmica, os próprios equipamentos já preveem uma redução de até 44% diariamente,

finalizando em média de 41% a 44% mensalmente. Este fato tem relevância financeira, pois a energia utilizada nos equipamentos atingirá um grande impacto de redução da energia de fonte térmica diária, mensal e anual nos custos de energia.

Desta forma, considerando que a geração solar é feita de forma descentralizada em usinas de pequeno porte e principalmente em telhados, e não através das usinas gigantescas, não existindo a necessidade de alagar um único centímetro de terra e nem desalojar ninguém, mas acima de tudo, mitigando o potencial de corrupção envolvido nas megaobras civis brasileiras (NEOSOLAR, 2016).

A ANEEL também contabilizou em 2015 a quantidade de 1.675 instalações de geração distribuída (geração própria em telhados), com capacidade instalada de 13,4 MW. Desta forma o Brasil fechou 2015 com aproximadamente 35 MW instalados de geração solar conectada à rede, ante 15,2 MW em 2014, totalizando um crescimento acima de 100%.

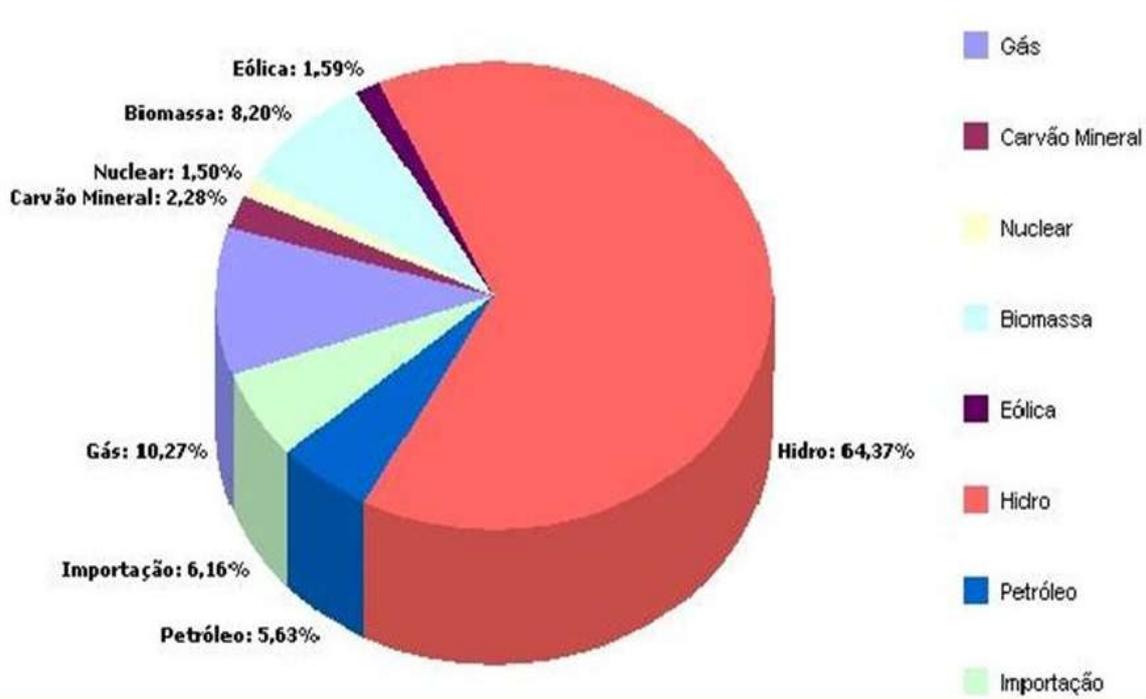


Figura 2.8 - Matriz Energética Elétrica Brasileira.  
Fonte: ANEEL (2015).

Em 2015 estima-se que a capacidade global FV instalada tenha atingido 233 GW, com acréscimo de 55 GW em relação à 2014. Segundo a consultoria IHS, a China foi disparado, quem mais investiu na fonte solar em 2015, seguida do Japão, Estados Unidos, Reino Unido e Alemanha, conforme podemos ver na Figura abaixo.

É possível perceber que o uso da energia solar nem se quer aparece na matriz energética brasileiro, em contrapartida, a principal fonte de energia é a esgotável, que é a fósil, o que deve necessitar de uma grande reflexão mundial sobre esta questão.

### 2.3 - REDUÇÃO DE CUSTOS ECONÔMICOS COM O USO DA ENERGIA SOLAR

A demanda por eletricidade está aumentando dia a dia, o que não pode ser cumprida por fontes de energia não renováveis por si só. Fontes de energia renováveis, como solar e eólica são onipresentes e amigas do ambiente. As fontes de energia renováveis são opções emergentes para atender a demanda de energia, contudo, ainda possuem algumas fragilidades devido à natureza estocástica de sua ocorrência e o nível de tecnologia atual da humanidade. Por isso, o sistema de energia renovável híbrida (HRES) combina duas ou mais fontes de energia renováveis, como a energia eólica e a solar para manter os níveis de confiabilidade adequados a demanda (KHARE, NEMA, e BAREDAR, 2016).

O sistema fotovoltaico (PV) integrado ou híbrido, não só reduz a exigência de área, mas também reduz os custos de material e infraestrutura e, portanto, cumpre o impulso técnico para requisitos de construção inteligentes. Estes sistemas integrados consideram não apenas a energia elétrica, mas também a energia térmica, para ter nível de desempenho adequado e promissor para a maioria das aplicações da vida real, especialmente, em que ambas as formas de energia são necessárias simultaneamente (PANDEY, *et al.*, 2016).

Tornou-se imperativo para os engenheiros olhar para as fontes de energia renováveis, como a solar, eólica, geotérmica, ondas e biomassa como alternativas sustentáveis e rentáveis, a vantagem de serem amigáveis para o meio ambiente e para as fontes de energia convencionais. No entanto, a falta de disponibilidade desses recursos renováveis de energia o tempo todo ao longo do ano, considerou que os sistemas híbridos têm custo benefício mais relevantes. Nos últimos anos, muitas pesquisas foram executadas com o intuito de otimização, operação e controle dos sistemas de energia híbrida renováveis. E na verdade, é evidente que essa área ainda está revelando um vasto campo de trabalho. O desenvolvimento na investigação sobre a modelagem de recursos híbridos de energia (sistemas fotovoltaicos), sistemas de energia de backup (célula de combustível, bateria, Ultra-capacitor, Diesel Gerador), unidades de condicionamento de energia (conversores MPPT, conversores Buck / Boost,

carregadores de bateria) e técnicas de energia e gestão do fluxo foram discutidos em detalhe (BAJPAI e DASH, 2012).

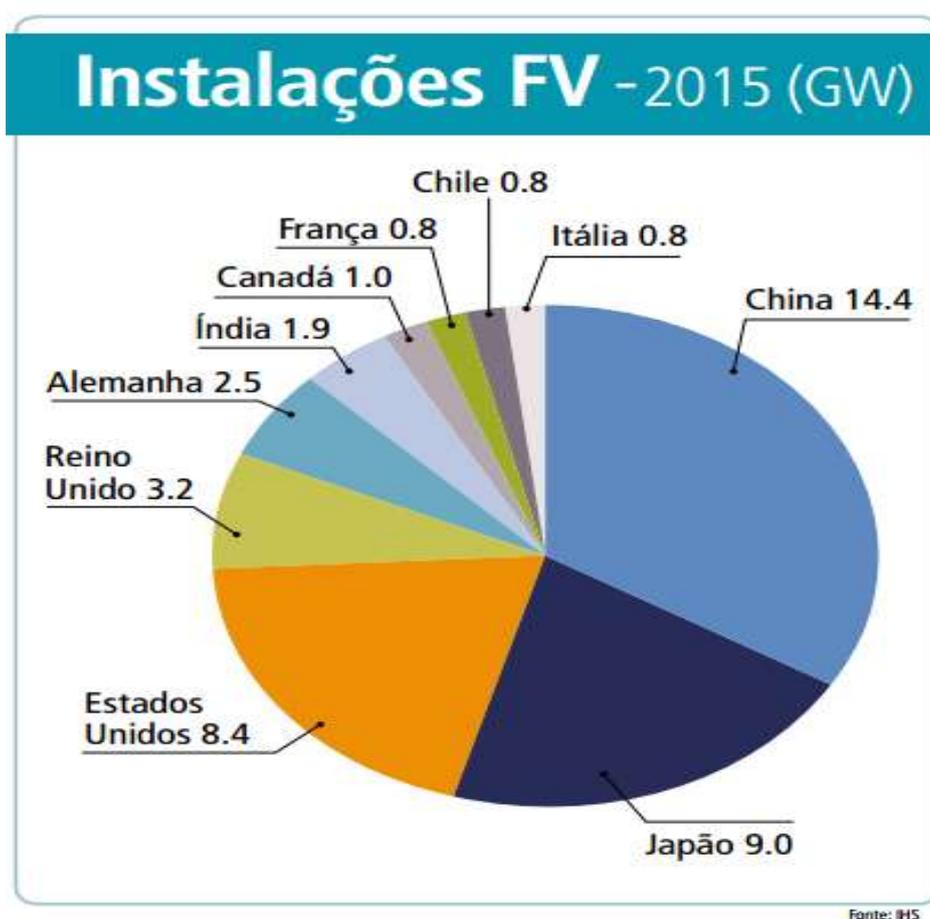


Figura 2.9 - Uso de energia fotovoltaica no mundo.  
Fonte: ANEEL (2015).

Desde 2012, cerca de 1,3 bilhão de pessoas, ou 18,41% da população do mundo, ficaram sem eletricidade eventualmente. Muitas dessas pessoas vivem em áreas remotas onde a geração descentralizada é o único método de eletrificação. A maioria das mini-redes são energizadas por geradores a diesel, mas novos sistemas híbridos, incorporando fontes de energia renováveis, estão se tornando um método eficiente na redução do custo total do sistema diesel. Estações solares híbridas com a propriedade GridStability System ("GSS") maximiza a entrada de energia solar à rede sem interferir com os sistemas de controle de gerador a diesel existentes, maximizando assim a economia de combustível. Os dados do sistema instalado foram utilizados para validar as capacidades e desempenho GSS (CHAUDHARY *et al.*, 2014).

A sensibilização do público para a necessidade de reduzir o aquecimento global e o aumento significativo dos preços das fontes de energia convencionais têm

encorajado muitos países para fornecer novas políticas energéticas que promovem as aplicações das energias renováveis. Tais fontes de energia renováveis, como a eólica, solar, energias com base hídrica, etc., são ambientes amigáveis e tem potencial para ser mais amplamente utilizado. A combinação destas fontes de energia renováveis com unidades de back-up para formar um sistema híbrido pode fornecer uma oferta econômica atraente e de maior grau de confiabilidade, gerando um ambiente de energia elétrica em todas as condições de carga de demanda em relação ao uso único de tais sistemas. Uma das questões mais importantes neste tipo de sistema híbrido é otimizar a utilização dos componentes do sistema híbrido como suficiente para cumprir todos os requisitos de carga com possíveis custos mínimos de investimento e de operação. Existem muitos estudos sobre a otimização e dimensionamento de sistemas de energias renováveis híbridos desde a recente utilização popular de fontes de energia renováveis (ERDINC e UZUNOGLU, 2012).

Exemplos como o caso do Irã, ao qual quase todas as aldeias que consistem em mais de 20 famílias no Irã já estão se conectando à rede de recursos renováveis com o forte Plano de Desenvolvimento econômico de cinco anos proposto pelo governo iraniano (2005-2010). No entanto, há muitas comunidades isoladas com menos de 20 famílias que ainda necessitam de eletrificação. Atualmente, a única tecnologia que fornece energia elétrica para essas comunidades é geradora a diesel, que não só causam problemas ambientais e de saúde humana, mas também alto custo na manutenção e custos operacionais (GHASEMI *et al.*, 2013).

Sistemas de energia renovável híbrida, combinando vários tipos de tecnologias, têm demonstrado capacidades relativamente elevadas para resolver problemas de confiabilidade e reduziram desafios de custo. O uso de tecnologias de produção de eletricidade / armazenamento híbridos como sistemas de fora da rede stand-alone é razoável para superar deficiências relacionadas. Energia solar e eólica são as fontes renováveis que têm precedência em comparação com os outros tipos. Com base na radiação solar e mapas de velocidade média do vento, sistemas de tecnologias economicamente otimizadas são concebidos através da simulação de comportamento de várias combinações de sistemas de energias renováveis com dimensionamento diferente, incluindo turbina eólica (WT), fotovoltaica (PV), célula de combustível (FC), e bancos de bateria (HOSSEINALIZADE *et al.*, 2016).

Uma busca moderna para o desenvolvimento de energia renovável (RE), as condições ideais para a produção e utilização de sistema de energia são consideradas

como um recurso econômico indispensável para os custos de energia. Este é um fato de racionalização levando em consideração o aumento do preço da energia para o desenvolvimento socioeconômico (MOHAMMED *et al.*, 2014).

A área de atuação utilizando a energia solar é bastante ampla, valendo ressaltar algumas aplicações mais conhecidas, tais como:

- Eletrificação - Utiliza-se para eletrificação de residências, escolas, comércio, fazendas, cercas, estradas, indústrias, estações e postos avançados de vigilância e de radiodifusão.
- Telecomunicações – Telefonia rural, torres e retransmissores, estações terrestres, radiotelefonía e radiocomunicações.
- Sinalização aérea e náutica – Faróis náuticos, sinalização em antenas de transmissão de energia elétrica e de radiodifusão, sinalização em portos e aeroportos.
- Sinalização rodoferroviária – painéis de mensagens randômicas e variáveis, para sinais luminosos e na iluminação de placas de sinalização.
- Televigilância – Depósitos e silos, tráfego rodoviário, rios, e pontos sujeitos a enchente.
- Refrigeradores e freezer.
- Bombeamento de água.
- Aquecimento de água (PALZ, 2002).

De acordo com AMARAL (2006) um sistema de armazenamento solar instalado corretamente pode economizar até 40% da energia elétrica consumida por unidade de consumo. Essa proporção, entretanto, depende do correto dimensionamento do equipamento para atender o nível de necessidade pretendida pelos usuários.

Estudos da Companhia Energética de Minas Gerais S.A., que é uma das principais concessionárias de energia elétrica do Brasil, tendo sede na cidade de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais - CEMIG (2015) indica que a maioria das falhas deve-se a erros no projeto de armazenamento solar é de 44%; Projetos arquitetônicos inadequados respondem pelo mau funcionamento de 33% dos sistemas de aquecimento solar e erros no próprio sistema, como a instalação errada ou placas de má qualidade respondem por apenas 11% das falhas. Contudo, de acordo com a Cemig, quando bem instalado, o sistema de armazenamento solar é surpreendentemente eficiente, atingindo a marca de 78% a 86% de sua capacidade.

Em termos técnicos, para um melhor aproveitamento dos coletores solares, os mesmos devem estar voltados para a face norte e se não for possível, para o noroeste ou nordeste. Caso se utilize a face leste ou oeste da estrutura deve-se acrescentar mais 25% de área de coletor solar (AMBIENTEBRASIL, 2015).

Deve-se observar também a inclinação do coletor, que deve ser igual à latitude local + 5 graus. Quando isso não for possível, deve ser considerada uma inclinação de 15 graus. Um desnível de 60 cm entre o nível inferior da placa e a saída de distribuição da casa deve ser considerado, para que a convecção natural aconteça, no caso de sistemas de circulação natural (CEMIG, 2015).

Com o objetivo de familiarizar o leitor com o tipo de unidade operacional a qual a pesquisa foi realizada, destacamos a geografia, latitude e características ambientais. Em seguida o detalhamento do projeto ao qual o estudo se propõe a analisar, destacando dados técnicos e necessidade energética para a hibridação da matriz energética da unidade de Tiriós.

#### 2.4 - ENERGIA HÍBRIDA E ENERGIA TRADICIONAL

Estes sistemas estão sendo bastante utilizados por causa da eficiência em integrar sistemas novos ou já utilizados. A complementação é um dos pontos principais, pois no sistema nos dias em que o céu estiver nublado e a obtenção de energia da placa fotovoltaica for reduzida o gerador a diesel continua sua produção sem interferência e sustenta o sistema.

Um sistema híbrido pode operar diretamente conectado à carga, que pode ser utilizada para bombeamento de água e aplicações que não exijam estabilidade e eficiência, por exemplo. Novamente citando o sistema eólico/solar não se pode armazenar ventos e luz, por isso durante os períodos de baixa geração e para a utilização posterior, o método convencional de armazenamento são as baterias. Tecnicamente, a retenção e passagem de energia, os geradores podem operar de acordo com as associações em série ou paralelo, no entanto, para a “geração”, é usual a associação em paralelo, pois a corrente gerada pelas diferentes fontes de energia é somada à rede elétrica, elevando a potência total (<http://energiahibrida.blogspot.com.br>).

Utilizando baterias estacionárias de ciclo profundo tem-se o melhor desempenho com 4 a 5 anos de vida útil, já, as baterias de chumbo ácido, nestas aplicações, tem sua vida útil limitada a 2 anos. A imagem abaixo explica melhor:

O sistema fotovoltaico (PV) integrado ou híbrido, não só reduz a exigência de área, mas também reduz os custos de material e infraestrutura e, portanto, cumpre o impulso técnico para requisitos de construção inteligentes. Estes sistemas integrados consideram não apenas a energia elétrica, mas também a energia térmica, para ter nível de desempenho adequado e promissor para a maioria das aplicações da vida real, especialmente, em que ambas as formas de energia são necessárias simultaneamente (PANDEY *et al.*, 2016).

Tornou-se imperativo para os engenheiros olhar para as fontes de energia renováveis, como a solar, eólica, geotérmica, ondas e biomassa como alternativas sustentáveis e rentáveis, a vantagem de serem amigáveis para o meio ambiente e para as fontes de energia convencionais. No entanto, a falta de disponibilidade desses recursos renováveis de energia o tempo todo ao longo do ano, considerou que os sistemas híbridos têm custo benefício mais relevantes. O desenvolvimento na investigação sobre a modelagem de recursos híbridos de energia (sistemas fotovoltaicos), sistemas de energia de backup (célula de combustível, bateria, Ultra-capacitor, Diesel Gerador), unidades de condicionamento de energia (conversores MPPT, conversores Buck / Boost, carregadores de bateria) e técnicas de energia e gestão do fluxo foram discutidos em detalhe (BAJPAI e DASH, 2012).

Desde 2012, cerca de 1,3 bilhão de pessoas, ou 18,41% da população do mundo, ficaram sem eletricidade eventualmente. Muitas dessas pessoas vivem em áreas remotas onde a geração descentralizada é o único método de eletrificação. A maioria das mini-redes são energizadas por geradores a diesel, mas novos sistemas híbridos, incorporando fontes de energia renováveis, estão se tornando um método eficiente na redução do custo total do sistema diesel. Estações solares híbridas com a propriedade GridStability System ("GSS") maximiza a entrada de energia solar à rede sem interferir com os sistemas de controle de gerador a diesel existentes, maximizando assim a economia de combustível. Os dados do sistema instalado foram utilizados para validar as capacidades e desempenho GSS (CHAUDHARY *et al.*, 2014).

A sensibilização do público para a necessidade de reduzir o aquecimento global e o aumento significativo dos preços das fontes de energia convencionais têm encorajado muitos países para fornecer novas políticas energéticas que promovem as aplicações das energias renováveis. Tais fontes de energia renováveis, como a eólica, solar, energias com base hídrica, etc., são ambientes amigável e tem potencial para ser mais amplamente utilizado (Figura 2.10). A combinação destas fontes de energia

renováveis com unidades de back-up para formar um sistema híbrido pode fornecer uma oferta econômica atraente e de maior grau de confiabilidade, gerando um ambiente de energia elétrica em todas as condições de carga de demanda em relação ao uso único de tais sistemas. Existem muitos estudos sobre a otimização e dimensionamento de sistemas de energias renováveis híbridos desde a recente utilização popular de fontes de energia renováveis (ERDINCE e UZUNOGLU, 2012).

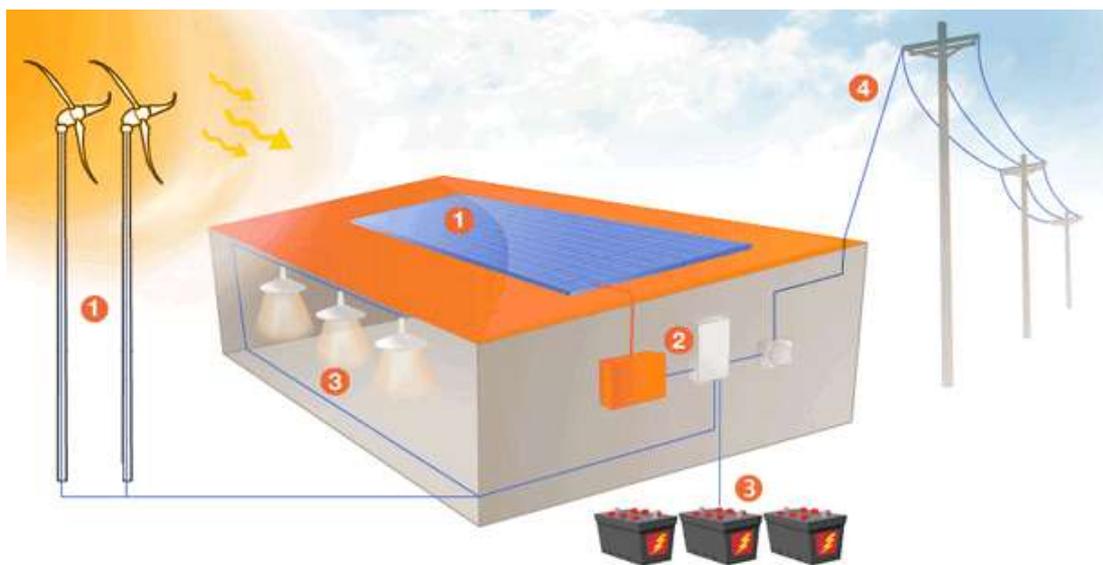


Figura 2.10 - Estrutura Híbrida.

Exemplos como o caso do Irã, ao qual quase todas as aldeias que consistem em mais de 20 famílias no Irã já estão se conectando à rede de recursos renováveis com o forte Plano de Desenvolvimento econômico de cinco anos proposto pelo governo iraniano (2005-2010). No entanto, há muitas comunidades isoladas com menos de 20 famílias que ainda necessitam de eletrificação. Atualmente, a única tecnologia que fornece energia elétrica para essas comunidades é geradora a diesel, que não só causam problemas ambientais e de saúde humana, mas também alto custo na manutenção e custos operacionais (GHASEMI *et al.*, 2013).

Sistemas de energia renovável, combinando vários tipos de tecnologias, têm demonstrado capacidades relativamente elevadas para resolver problemas de confiabilidade e reduziram desafios de custo. O uso de tecnologias de produção de eletricidade / armazenamento híbridos como sistemas de fora da rede *stand-alone* é razoável para superar deficiências relacionadas. Energia solar e eólica são as fontes renováveis que têm precedência em comparação com os outros tipos. Com base na

radiação solar e mapas de velocidade média do vento, sistemas de tecnologias economicamente otimizadas são concebidos através da simulação de comportamento de várias combinações de sistemas de energias renováveis com dimensionamento diferente, incluindo turbina eólica (WT), fotovoltaica (PV), célula de combustível (FC), e bancos de bateria (HOSSEINALIZADEH *et al.*, 2016).

A análise mais simples de ser feita é a comparação das fontes de energia através de seu custo de implantação por unidade de potência, pois investimentos iniciais elevados tendem a não atrair facilmente os investidores, especialmente quando a taxa de juros é elevada.

Um recente estudo do custo da implantação de sistemas fotovoltaicos, publicado em 2005, analisou o preço de 47 sistemas isolados de 100 a 6600 W, de 1987 a 2004, indicando que esses sistemas apresentam uma tendência de redução de preços de aproximadamente 1 U\$/W ao ano, com custos variando entre 7 e 10 U\$/W (HEGEDUS e OKUBO, 2005).

Outro estudo, publicado pelo Programa de Sistemas Fotovoltaicos de Potência da Agência Internacional de Energia, confirma que os preços estão reduzindo ano após ano, e indica que os sistemas isolados tendem a custar aproximadamente o dobro quando comparados com sistemas conectados à rede, por não necessitarem de baterias e demais componentes associados. Em 2004, sistemas isolados de até 1 kW apresentam variação de preço de 9 a 25 U\$/W, sendo que o valor típico se encontra em torno de 13 U\$/W. Sistemas maiores de 1 kW apresentam variação semelhante e preços ligeiramente menores. Para sistemas conectados à rede os valores chegam à 6 U\$/W (IEA-PVPS, 2006).

Considerando o valor típico de 13 U\$/W para sistemas fotovoltaicos isolados, este número, por si só, mostra-se extremamente antieconômico e não competitivo quando comparado com o custo da implantação das demais fontes. Os valores típicos de instalação, tanto informados pela Agência Nacional de Energia Elétrica quanto publicados em um estudo da CESP e IMT. Outra conta que costuma ser realizada quando essa comparação é feita é a capacidade de geração de energia em um dia. Um sistema dotado de fonte não intermitente pode gerar energia durante 24 horas por dia, enquanto que um sistema solar de mesma potência instalada pode gerar, dependendo de sua localização geográfica, uma média de 6 horas equivalentes de potência nominal ao longo do dia. Logo, para que o sistema fotovoltaico possa produzir a mesma quantidade

de energia em um dia, ele deve ter sua potência aumentada em 4 vezes, o que eleva seu custo de implantação para 52 US\$/WPICO ( $13 * 4$ ).

## 2.5 - DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A Radiação solar varia durante o dia e tem sua maior intensidade ao meio-dia-solar. A partir do momento em que o sol aparece no horizonte até o ocaso, a radiação solar vai do mínimo ao máximo (ao meio-dia-solar), e de volta ao mínimo. As nuvens influenciam a Irradiância Direta, fazendo com que mesmo ao meio-dia-solar possamos captar menos energia que no começo da manhã ou final da tarde.

Se colocarmos em um gráfico a variação da Irradiância em um dia médio, podemos observar as horas do dia em que a Irradiância é próxima ou igual a  $1000 \text{ W/m}^2$  (Figura 2.11).

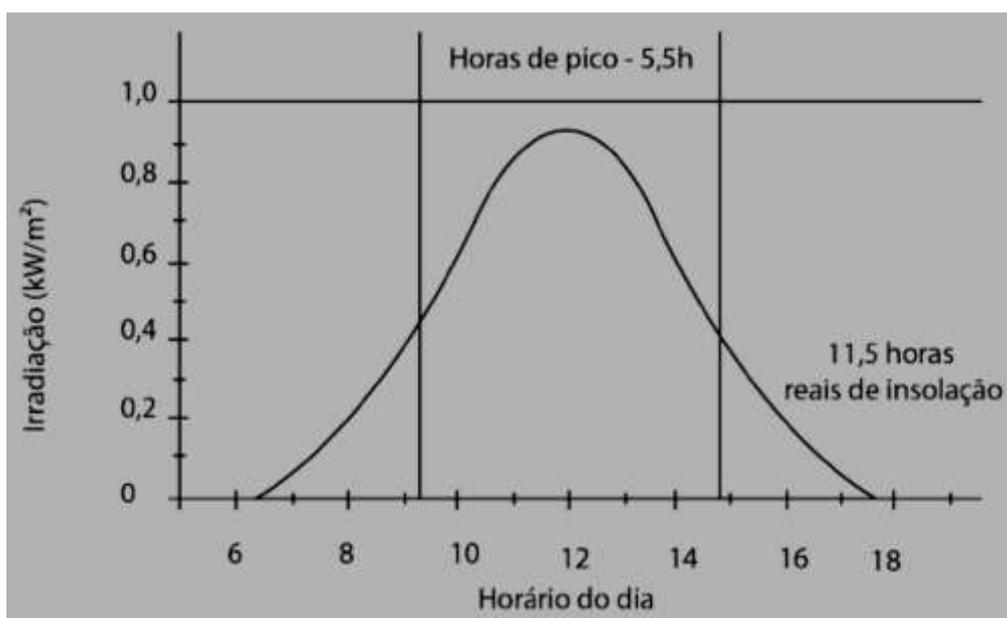


Figura 2.11 - Gráfico horário de picos de irradiação.  
Fonte: BLUE SOL (2016).

Ângulo de Incidência ( $\gamma$ ): é formado entre os raios solares e a normal à superfície de captação. Quanto menor esse ângulo, mais energia será captada.

Ângulo Azimutal de Superfície ( $\alpha_w$ ): Entre a projeção da normal à superfície do painel solar e a direção norte-sul. Para o hemisfério sul o azimute é o norte e, portanto, o deslocamento angular será a partir deste ponto cardeal, sendo positivo em sentido horário (leste) e negativo no sentido anti-horário (oeste). O ângulo Azimutal de

superfície estará entre:  $-180^\circ \leq a_w \leq 180^\circ$ . Internacionalmente convencionou-se o azimute  $0^\circ$  como sendo o Sul, e o Norte tem ângulo azimutal de  $180^\circ$ .

Ângulo Azimutal do Sol ( $a_s$ ): é o ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte-Sul. Tem as mesmas convenções que o Ângulo Azimutal de Superfície.

Altura Solar ( $\alpha$ ): ângulo entre os raios solares e sua projeção sobre um plano horizontal.

Inclinação ( $\beta$ ): ângulo entre o painel solar e o plano horizontal.

Ângulo Horário do Sol ou Hora Angular ( $\omega$ ): é o deslocamento angular do sol, no sentido Leste-Oeste, a partir do meridiano local, devido ao movimento de rotação da Terra. A Terra dá uma volta completa ( $360^\circ$ ) em torno de si mesma em 24 horas. Portanto, cada hora corresponde a um deslocamento de  $15^\circ$ .

Ângulo Zenital ( $\theta_z$ ): é o ângulo formado entre os raios solares e a vertical (Zênite). O ângulo zenital é o inverso da altura solar. O sol só alcança o Zênite nas localidades entre os trópicos (zona tropical). Fora dos trópicos, em nenhuma localidade haverá, ao meio dia solar, ângulo zenital igual a zero.

De acordo com a Bluesol (2016) para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico autônomo, são necessários alguns passos e verificações. São quatro etapas base, nas quais estudamos cada uma das variáveis do projeto, definimos os dispositivos utilizados, sua quantidade e potência:

### **2.5.1 - Características do Sistema Fotovoltaico**

- Demandas de energia média diária (ED e ER);
- Potência dos inversores autônomos.

### **2.5.2 - Banco de Baterias**

- Capacidade Útil (CU);
- Profundidade de descarga (Pd);
- Capacidade Real (CR);
- Quantidade e configuração dos elementos (NB; BS; BP);

### 2.5.3 - Painel Fotovoltaico

- Disponibilidade Solar Local (HSP);
- Potencial Solar no plano do painel fotovoltaico (HSPk);
- Quantidade e configuração dos elementos (Nm; ms; mp);
- Controladores de Carga (IE; IS).

### 2.5.4 - Cabeamento

Para dimensionar um sistema fotovoltaico, utilizamos de uma série de equações, fórmulas e considerações que, ao final, resultará na quantidade de componentes. Os valores de cada uma das variáveis vêm das considerações de projeto e das características de cada componente. A tabela 1, 2 e 3 demonstram as variáveis e considerações mais comuns de um sistema fotovoltaico autônomo:

Tabela 2.1 - Descrição do dimensionamento do banco de bateria.

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Energia Diária (ED)	5880,00	Wh/dia
2	Rendimento Global (R)	89,00	%
3	Energia Real (ER=ED/R)	6606,74	Wh/dia
4	Autonomia do Sistema Fotovoltaico (N)	1,00	Dia
5	Tensão Nominal de Operação do Sistema Fotovoltaico (Vi)	48,00	Volts
6	Profundidade de Descarga (Pd)	60,00	%
7	Capacidade Útil do Banco de Bateria (CU=ER x N / Vi)	137,64	A/h
8	Capacidade Real do Banco de Bateria (CR=CU / PD)	229,4	A/h
9	Número de Baterias em Série (BS) 240 A/h.	4,00	Equipamento
10	Número de Baterias em Paralelo (BP) 240 A/h- (BP=CR / 240 Ah)	1,00	Equipamento
11	Total de Baterias (TB) 240 A/h	4,00	Equipamento

Tabela 2.2 - Descrição do dimensionamento do painel fotovoltaico.

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	EP=Potencia a Ser Gerada Pelo Painel Fotovoltaico (Para Inversores)	6606,74	Wh/dia
	Com MPPT - EP=ER		
2	Corrente a Ser Gerada Pelo Painel Fotovoltaico (IP - IP=EP/Vi)	137,64	Amperes
3	Tensão Nominal de Trabalho, do Módulo Fotovoltaico (Vm)	12,00	Volts
4	Corrente em Máxima Potência, do Módulo Fotovoltaico (IMPP)	7,67	Amperes
5	Corrente de Curto Circuito do Módulo Fotovoltaico (ISC)	8,36	Amperes
6	Número de Módulos Associados em Serie (Por String) - (ms=Vi/Vm)	4,00	Módulos
7	Número de Módulos Associados Paralelo (Por String)-(mP). $mp = \frac{Ip}{R^{\circ}Cpmax \times Impp \times HSPk}$ em	7,00	Módulos
8	Número Total de Módulos Fotovoltaicos - (Nm). Nm=mP x mS	28,00	Módulos

Tabela 2.3 - Descrição do dimensionamento do regulador de carga.

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Corrente de Curto Circuito do Painel Fotovoltaico (ISCP). (ISCP=ISC x mp)	58,52	Amperes
2	Capacidade de Corrente de Entrada do Controlador de Carga (IE). (IE=ISCP x 1,25)	73,15	Amperes
3	Capacidade de Corrente de Saída do Controlador de Carga (IS). (IS= PT/ Vi)	35,08	Amperes
4	Controlador de Carga 48 V/80 Amperes	1,00	Equipamento

Os sistemas fotovoltaicos normalmente são localizados nas partes externas, podem estar expostos a uma descarga atmosférica direta. Os efeitos indiretos de descargas atmosféricas podem ser atenuados pela adequada utilização dos dispositivos de proteção de sobretensão (DPS).

No sistema fotovoltaico o inversor de corrente e os painéis são as partes mais frágeis, podendo ser danificados pelas altas correntes de surto causadas pelas descargas

atmosféricas. Este risco pode ser reduzido com uso de medidas de proteção envolvendo o aterramento, equipotencialização, utilização de blindagem e roteamento de cabos. Embora cada medida seja específica, elas constituem um conjunto integrado dentro de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

Para calcular o DPS utilizou-se a seguinte fórmula:

$$DPS = 1,2 \times N \times Uoc(\text{painel})$$

$$DPS = 1,2 \times 4 \times 12 = 57,6 V$$

Sendo:

**N** = número de módulos conectados em série.

**(Uoc-painel)** = é a tensão sem carga de um painel fotovoltaico individual em condições normais.

Para este dimensionamento será utilizado 1 DPS para cada circuito, totalizando 06 DPS com tensão nominal de 57V, pois a distância do painel para o inversor será inferior a 20 metros. A vida útil estimada dos painéis fotovoltaicos é de 25 anos, durante este período se tem a necessidade de substituir os demais componentes do sistema ao qual condiz com 25 vezes o banco de baterias, 3 vezes o banco de inversores e 3 vezes o banco de controladores de cargas (DINIZ *et al.*, 2013).

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGIA**

#### **3.1 - PROCEDIMENTO**

O método de comprovação desse estudo ocorre através da análise dos resultados que demonstram que o uso de energia fotovoltaica além de reduzir custos econômicos e financeiros também traz ganhos para o CINDACTA IV de estabilidade e status politicamente correto, sendo possível sua aplicação para qualquer unidade que possua esse tipo de processo.

Outra evidência é o fato de que após a conclusão desse estudo, o CINDACTA IV vem estruturando suas unidades a se equiparem nesta mesma metodologia para os processos de autonomia energética.

#### **3.2 - DELIMITAÇÃO**

Esta pesquisa foi aplicada em uma unidade controladora de tráfego aéreo ligada ao CINDACTA IV, tendo a mesma sua matriz energética a base de energia térmica e, aplicado um modelo híbrido de matriz energética (solar/térmica) na tentativa de reduzir custos operacionais e financeiros.

O fornecimento de recursos para a manutenção da matriz energética desta unidade (Tiriós – PA), demanda não somente custos operacionais e financeiros, como ocupa uma logística bastante trabalhosa, pois a matéria prima da energia térmica trabalhada recebe continuamente cargas de combustível diesel que oneram mais ainda o processo. A localização geográfica desta unidade não possui acesso viável por terra, sendo o abastecimento feito por via aérea.

Escolheu-se a unidade de Tiriós – PA por denotar um maior desafio para o CINDACTA IV em manter o seu fornecimento energético. Porém, outras unidades da instituição também possam por semelhante situação, o que revela mais um atrativo do projeto: a possibilidade de reprodução em outras unidades.

A partir deste enfoque, a presente pesquisa tem como delimitação o estudo sobre a utilização da energia solar como componente híbrido para geração de formas combustíveis em unidade das Forças Aéreas de Tiriós – PA, no período de abril a

agosto de 2015. Sendo estabelecido o título de: A ENERGIA SOLAR COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA EM UNIDADE DE CONTROLE DE TRAFÉGO E DO ESPAÇO AÉREO DE TIRIÓS - PA.

### 3.3 - LIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa tem como limitação aspectos temporais, de particularidade e de segmento. Como aspectos temporais: os resultados da pesquisa têm validade para o período analisado, excluindo outros fatores influenciadores, tais como clima, demografia e contingenciamento de recursos. Como aspecto de Particularidade: os resultados da pesquisa são restritos à especificidade da unidade operacional a que se destina, ou seja, sua rotina, suas fragilidades, seu desempenho e seu contexto operacional.

Aspectos de segmento: os resultados da pesquisa são provenientes do conjunto particular do objeto da pesquisa direcionados ao segmento. Ou seja, as fragilidades e desempenho são inerentes a unidade operacional em estudo, não tendo a responsabilidade de fechar a questão sobre a eficiência e a eficácia das técnicas utilizadas neste projeto.

Entretanto, as informações obtidas serão passíveis de uma comparação superficial, mas contundente na medida da viabilidade da análise, sendo possível utilizar sua experiência para aprimorar novos projetos e identificar fatores contrários a implantação de sistema híbrido de energia (solar/Térmica) em unidades operacionais.

### 3.4 - PROCEDIMENTO DE ANÁLISE

O presente trabalho foi elaborado pela observação direta dos aspectos pertinentes à logística de abastecimento do destacamento de Tiriós – PA e apresentado ao Comando Geral para inserir alternativas de redução de custos com combustível na geração de energia térmica. Desta forma, como elemento norteador para a estrutura e execução do projeto, adotou-se o *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK), que é um conjunto de práticas na gestão de projetos organizado pelo *Project Management Institute* (PMI) e é considerado a base do conhecimento sobre gestão de projetos por profissionais da área.

Esta estrutura de gerenciamento faz a identificação de um subconjunto do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos, que é amplamente reconhecido como boa prática, sendo em razão disso, utilizado como base pelo (PMI). Uma boa prática não significa que o conhecimento e as práticas devem ser aplicados uniformemente a todos os projetos, sem considerar se são ou não apropriados. Assim, ele fornece e promove um vocabulário comum para se discutir, escrever e aplicar o gerenciamento de projetos possibilitando o intercâmbio eficiente de informações entre os profissionais de gerência de projetos. Por ser baseado em processos e subprocessos para descrever de forma organizada o trabalho a ser realizado durante o projeto. Essa abordagem se assemelha à empregada por outras normas como a ISO 9000 e o *Software Engineering Institute's*, CMMI. Os processos descritos se relacionam e interagem durante a condução do trabalho. A descrição de cada um deles é feita em termos de:

- Entradas (documentos, produtos etc.);
- Ferramentas e técnicas (que se aplicam às entradas);
- Saídas (documentos, produtos etc.).

A escala de gerenciamento descreve os grupos de processos de gerenciamento de projetos nos seguintes itens:

1. Iniciação;
2. Planejamento;
3. Execução;
4. Monitoramento e controle;
5. Encerramento.

Tabela 3.1 - Matriz PMBOK.

Áreas de Conhecimento	Iniciação	Planejamento	Execução	Monitoramento e controle	Encerramento
<b>Integração</b>	1. Desenvolver o termo de abertura do projeto	2. Desenvolver o plano de gerenciamento do projeto	3. Orientar e gerenciar a execução do projeto	4. Monitorar e controlar o trabalho do projeto 5. Realizar o controle integrado de mudanças	6. Encerrar o projeto ou fase 1
<b>Escopo</b>		1. Coletar os requisitos 2. Definir o escopo 3. Criar a EAP		4. Verificar o escopo 5. Controlar o escopo	

<b>Tempo</b>		1. Definir as atividades 2. Sequenciar as atividades 3. Estimar os recursos das atividades 4. Estimar as durações das atividades 5. Desenvolver o cronograma		6. Controlar o cronograma	
<b>Custos</b>		1. Estimar os custos 2. Determinar o orçamento		3. Controlar os custos	
<b>Qualidade</b>		1. Planejar a qualidade	2. Realizar a garantia de qualidade	3. Realizar o controle da qualidade	
<b>Recursos Humanos</b>		1. Desenvolver o plano de recursos humanos	2. Mobilizar a equipe do projeto 3. Desenvolver a equipe de projeto 4. Gerenciar a equipe do projeto		
<b>Comunicação</b>	1. Identificar as partes interessadas	2. Planejar as comunicações	3. Distribuir as informações 4. Gerenciar as expectativas das partes interessadas	5. Reportar o desempenho	
<b>Riscos</b>		1. Planejar o gerenciamento dos riscos 2. Identificar os riscos 3. Realizar a análise qualitativa dos riscos 4. Realizar a análise quantitativa dos riscos 5. Planejar as respostas aos riscos		6. Monitorar e controlar os riscos	
<b>Aquisição</b>		1. Planejar as aquisições	2. Conduzir as aquisições	3. Administrar as aquisições	4. Encerrar as aquisições

Fonte: VARGAS (2014).

De acordo com LAKATOS (2010) o Termo de Abertura do Projeto (TAP) ou *Project Charter* é o documento que autoriza formalmente o projeto. Ele designa o gerente e concede a este a autoridade para utilizar os recursos da organização na execução das atividades do projeto.

### **Título do projeto**

Proposta do Uso de Energia Solar como Alternativa Energética em Unidade de controle de Tráfego e do Espaço Aéreo de Tiriós – Pa.

### **Justificativa do projeto**

A Proposta do Uso de Energia Solar como Alternativa Energética em Unidade de controle de Tráfego e do Espaço Aéreo de Tiriós – PA tem como justificativa relevante perante a sociedade, a redução de custos de instituições públicas e o uso politicamente correto dos recursos naturais. Como relevância científica, pode-se afirmar que o resultado do estudo servirá de base e exemplo para outras instituições que estejam enfrentando o mesmo problema, ou seja, compartilhando aspectos organizacionais com fins de contribuir para a solução de problemáticas.

### **Objetivos do projeto e critérios de sucesso**

Avaliar os resultados da utilização de um sistema híbrido Energia Solar/Térmica no Destacamento de Tiriós – PA, com a finalidade de reduzir os custos operacionais, impactos ambientais e de atender níveis excelentes de operacionalidade no fornecimento de energia desta Unidade.

### **Critérios de Sucesso**

- Caráter acadêmico sem custos de mão-de-obra para instituição;
- Planejamento minucioso de execução;
- Compromisso com a qualidade e os meios tecnológicos atualizados que possam reduzir custos de tempo, financeiros e logísticos.

### **Requisitos principais do cliente**

- Instituição Pública;
- Segmento Militar;

- Custo altos de logística e combustível;
- Localização geográfica de difícil acesso.

### Produto (s) do projeto

Uso de Energia Solar como Alternativa Energética em Unidade de controle de Tráfego e do Espaço Aéreo de Tiriós – PA.

**Tabela 3.2** - Cronograma básico do projeto (marcos principais).

ATIVIDADES (2016)	JAN	FEV	MAR	ABR
Instalações Físicas de Fundações prediais, Aquisição de Equipamentos Fotovoltaicos, etc.	X			
Avaliação dos potenciais a serem atingidos e execução da estrutura de instalação.		X		
Instalação dos equipamentos fotovoltaicos, tais como painéis, estrutura de cabeamento e distribuição de energia fotovoltaica e conexão com o sistema térmico de energia.			X	
Manipulação e monitoramento da estrutura híbrida de energia (fotovoltaica/termal).				X

**Tabela 3.3** - Estimativas iniciais de custo.

EQUIPAMENTOS E MATERIAIS	PREÇO
Projeto e Gerente de Projeto	R\$ 220.000,00
Materiais e equipamentos Fotovoltaicos e de Estrutura	R\$ 4.000.000,00
Condicionadores de Ar, Bebedouros e Eletrodomésticos em geral com compatibilidade para a energia Fotovoltaica.	R\$ 24.000,00
Remanejamento de Mão-de-obra para atuação no projeto	R\$ 50.000,00
Logística	R\$ 3.500.000,00
<b>TOTAL PARCIAL</b>	<b>R\$ 7.794.000,00</b>

## **Requisitos de aprovação do projeto**

O projeto já conta com o espaço físico, mão-de-obra já atuando no próprio projeto de hibridação de energia (fotovoltaica/termal), tem custo extremamente baixo se relacionado a custo/benefício, e já tem determinação do Comando para sua execução.

## **Nome do gerente do projeto, responsabilidades e autoridade**

Gerente de Projeto: José Emanuel do Vale Braz

Responsabilidades: Coordenar – Gerenciar e aprimorar suas ações.

Autoridade: Autonomia Completa no âmbito do Projeto.

## **Principais partes interessadas**

As principais partes interessadas identificadas preliminarmente são:

A própria Instituição, ou seja, o Quarto Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo – CINDACTA IV, através de seu destacamento de Tiriós – Pa.

## **Identificação do Patrocinador**

Quarto Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo – CINDACTA IV.

Segundo Lakatos (2010) a Gerência da integração do projeto é o núcleo do gerenciamento de projetos, e é composto dos processos do dia-a-dia com os quais o gerente de projetos conta para garantir que todas as partes do projeto funcionem juntas. É um processo contínuo que o gerente complementa para garantir que o projeto prossiga do início ao fim – é a atividade diária de completar o trabalho do projeto.

O gerenciamento do projeto junta os planos de projeto, coordena atividades, recursos, restrições e suposições do projeto, e os transforma em um modelo funcional. Gerenciar a integração do projeto é garantir que os componentes do projeto precisam trabalhar juntos – e é papel do gerente de projetos fazer que isso aconteça. Exige habilidades em negociação e gerenciamento de conflitos de interesses. Também exige habilidades gerais de gerenciamento, boa comunicação, organização, familiaridade técnica com o produto, etc. (LAKATOS, 2010).

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 - DEFINIÇÃO DA ZONA DE ESTUDO E USO DE ENERGIA

A escolha pela zona de estudo permitiu uma curva de demanda diária com consumo considerável durante o dia, já que possui edificações de serviço, e também possui a área necessária para a instalação dos painéis fotovoltaicos. A definição da zona foi feita dentro dos limites de abrangência de um alimentador da rede elétrica termal, tem-se o consumo de energia da região em que está inserido o destacamento (definido pela abrangência do alimentador de energia termal).

O uso e ocupação do solo da zona foram definidos pelos dados do setor de Logística e Planejamento do próprio CINDACTA IV, quantificando o número de edificações no local e a área construída das mesmas. Para isso foram consultados os mapas e cadastros relativos ao ano de 2015, mesmo ano da análise de geração e consumo.

O Brasil tem o maior potencial para geração de energia solar no planeta (280 dias de sol por ano), mesmo com pouco uso, esse diferencial é considerado um fator de grande aposta da economia e da produção de energia. O que já se sabia nos filmes de ficção científica, agora é aceito como uma realidade em potencial. A “Energia fotovoltaica é a energia do futuro”, afirma Eduardo Lana, gerente de Planejamento da Light Esco, braço do grupo Light que atua na comercialização de projetos de eficiência energética. Empresas de grande porte como a Petrobras e a Light, além de pequenas como a Solbravo, incubada no Instituto Tecnológico do Paraná, voltam suas atenções para o melhor aproveitamento da energia solar (ASTROSOL, 2015).

#### 4.2 - DETALHAMENTO DE PROJETO PARA O DESTACAMENTO DE TIRIÓS – PA

A região de Tiriós – PA tem Latitude: 2,29° Sul e está na zona Bioclimática 8. No total, a área de Tiriós tem 400 quilômetros de extensão na fronteira do Pará com Suriname e Guiana, como demonstra a Figura 4.1.

Em sua grande parte, o cenário é de mata fechada e florestas variantes, com mostra a Figura 4.2. Na região de Tiriós, entre Pará e o Suriname, militares realizaram operações em terra e no ar em busca de terras indígenas e crimes na fronteira (Figura 4.3).



Figura 4.1 - Mapa da Região de Tiriós – PA.  
Fonte: SANGUE VERDE OLIVA (2013).



Figura 4.2 - Área de Tiriós – PA.  
Fonte: SANGUE VERDE OLIVA (2013).

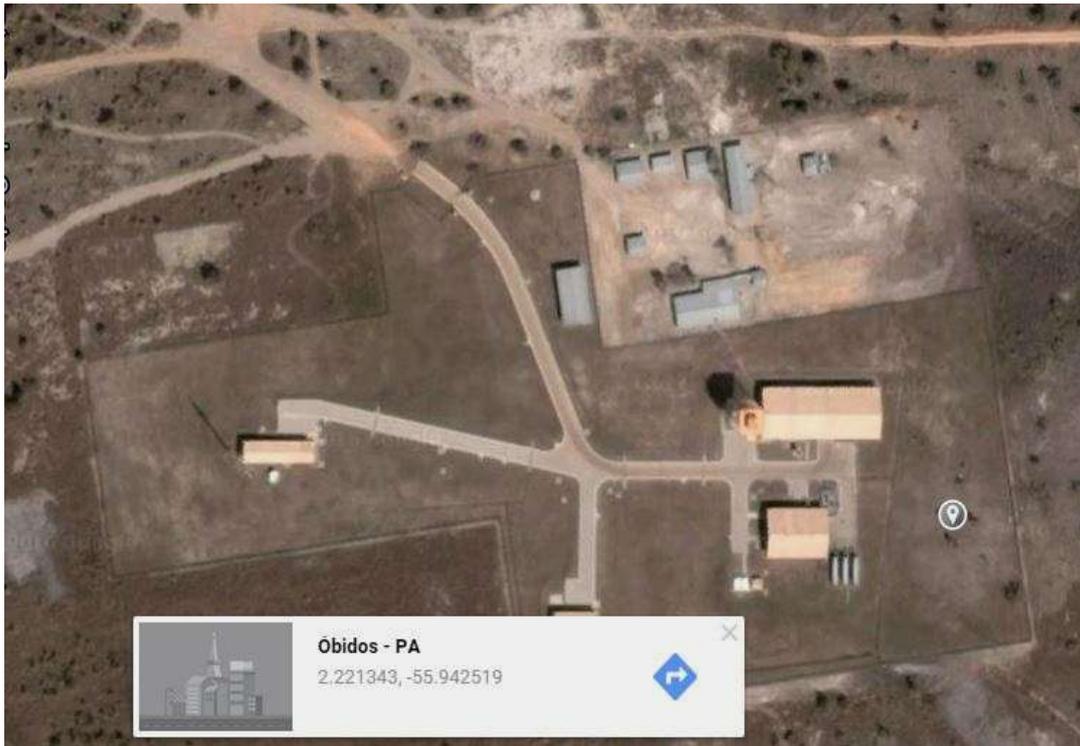


Figura 4.3 - Latitude: 2,221343°N Longitude: -55,942519°.  
Fonte: SANGUE VERDE OLIVA (2013).



Figura 4.4 - Imagem de satélite da área estudada.

Em localidades que imagens de satélite e mapas apontavam como sendo habitadas por tribos, porém, não houve segundo missões táticas, presença indígena relevante. Onde houve o envio dos militares da Força 3 à área inóspita ocorreu durante a Operação Ágata 4 (operação que reuniu mais de 8,5 mil militares para reprimir crimes nas fronteiras de Amazonas, Roraima, Pará e Amapá). Porém, mas sim foram descobertas pequenas pistas

de pouso próximas a terras indígenas, que podem ser usadas por garimpeiros (OLIVA, 2015).

A partir das observações técnicas de irradiância, utiliza-se programas computacionais que podem auxiliar na consulta aos dados de radiação solar incidente em dada localidade. As bases de dados possuem informações sobre a superfície horizontal, mas os painéis dos SFV são instalados em planos inclinados com diferentes orientações. Além disso, há programas que utilizam algoritmos adequados para sintetizar computacionalmente sequencias de dados meteorológicos que, na ausência de dados sequencias medidos, podem alimentar programas de simulação de sistemas fotovoltaicos em operação.

O programa RADIASOL2 desenvolvido no LABSOL da UFRGS permite que o usuário defina o ângulo de inclinação e de orientação azimutal do plano dos módulos. O usuário deve entrar com dados de irradiação de área em média mensal sobre um plano horizontal e dados de temperatura em base mensal (ou utilizar dados incorporados na instalação do programa) e selecionar a localização e orientação do plano em estudo.



Figura 4.5 - Área de instalação, Tiriós – PA.

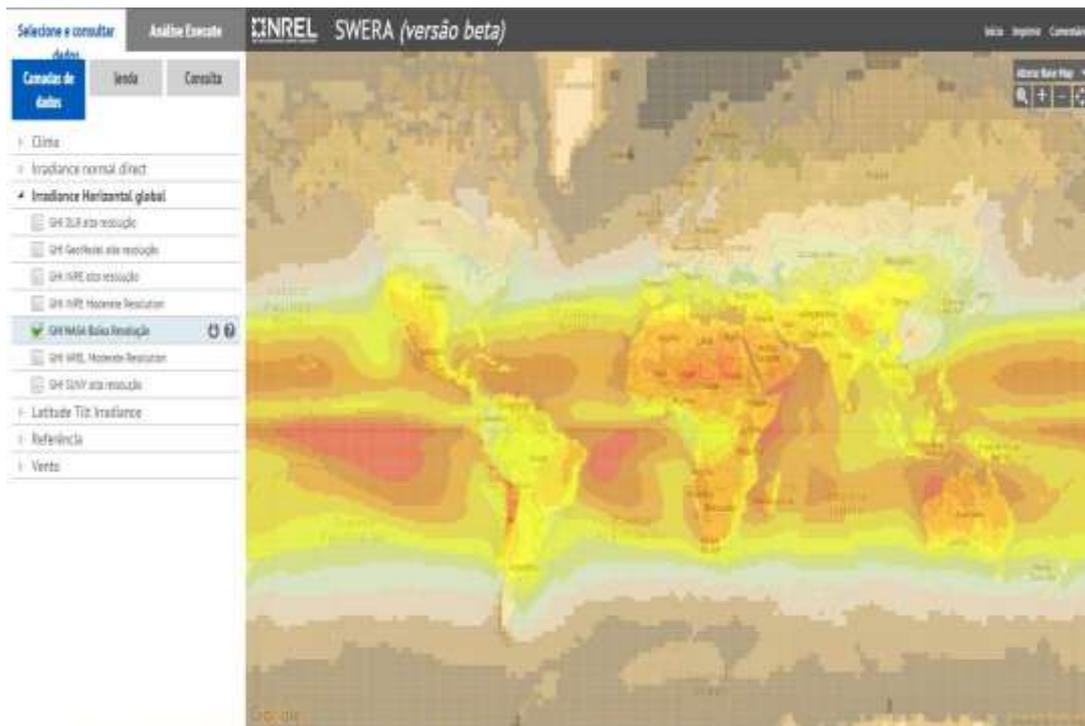


Figura 4.6 - Etapas do software SWERA.

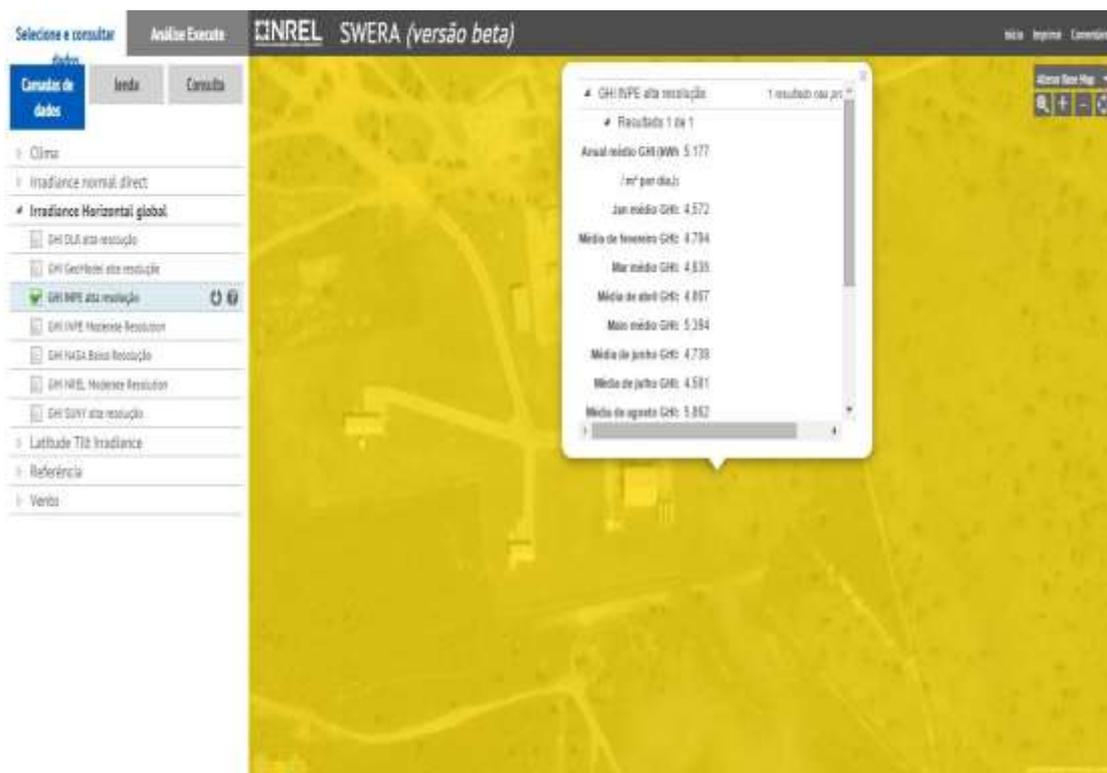


Figura 4.7 - Etapas do software SWERA.

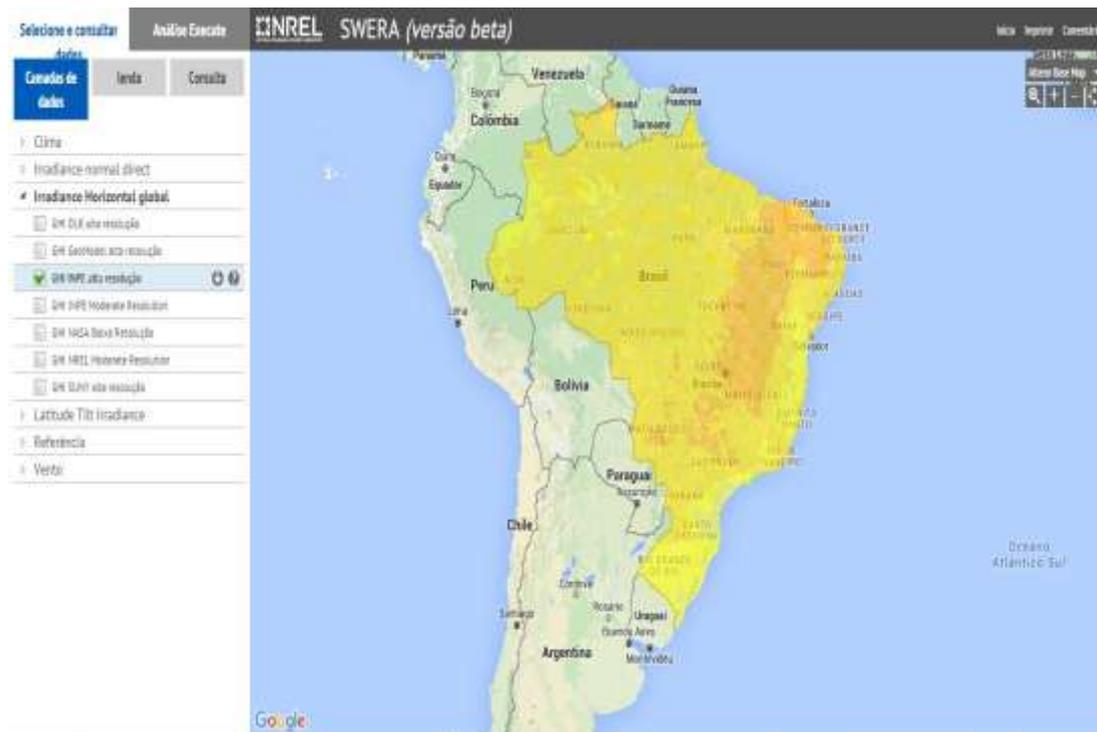


Figura 4.8 - Etapas do software SWERA.

Aplicação do software RADIASOL 2 para obter a HSP utilizando o ângulo de 10° e a direção 180°.

**Tabela 4.1** - Códigos com os respectivos meses.

mês/ dados	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Mé dia
Swera	4,57	4,79	4,84	4,87	5,39	4,74	4,58	5,86	5,82	5,99	5,90	4,87	5,19

Pode-se observar via o software Radiasol que diversas características formam ou determinam um contexto de maior ou menor disponibilidade quanto a energia solar, no qual a região é de fundamental determinância, como é o caso de Tiriós – PA.

Em termos comparativos, os recursos fósseis necessitam serem extraídos ou processados a partir dos locais onde estão concentrados, em etapa seguinte, precisam ser transportados para as refinarias onde são preparados para a queima, movidos novamente para as usinas e, após a geração de eletricidade, esta deve ser transmitida através de linhas de alta tensão para o consumidor, enquanto que os resíduos devem ser eliminados. A utilização de máquinas rotativas, tais como turbina e gerador, necessitam de uma rotina de manutenção mais complexa, devido ao desgaste natural das peças móveis, além de gerar poluição sonora durante o seu funcionamento (AMARAL *et al.*, 2006).

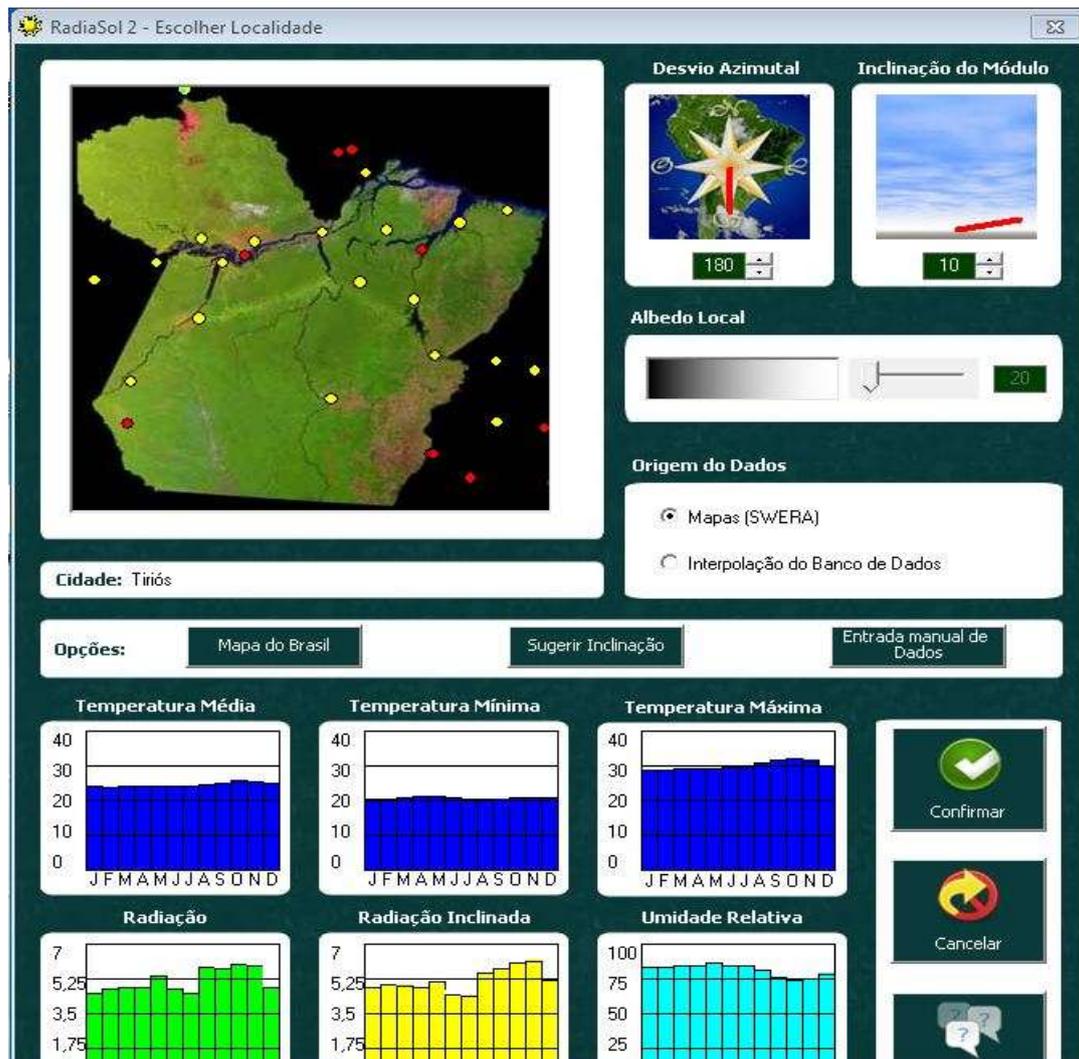


Figura 4.9 - Interface do software Radiasol.

A energia solar, por outro lado, não necessita ser extraída, refinada e nem transportada para o local da geração, o qual é próximo à carga, evitando também os custos com a transmissão em alta tensão. Utiliza células solares, responsáveis pela geração de energia, e um inversor para transformar a tensão e frequência para os valores nominais dos aparelhos. Este processo é mais simples, sem emissão de gases poluentes ou ruídos e com necessidade mínima de manutenção.

Como mostra as Figuras 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9 o desempenho das características gerais definem a demanda disponível para uso.

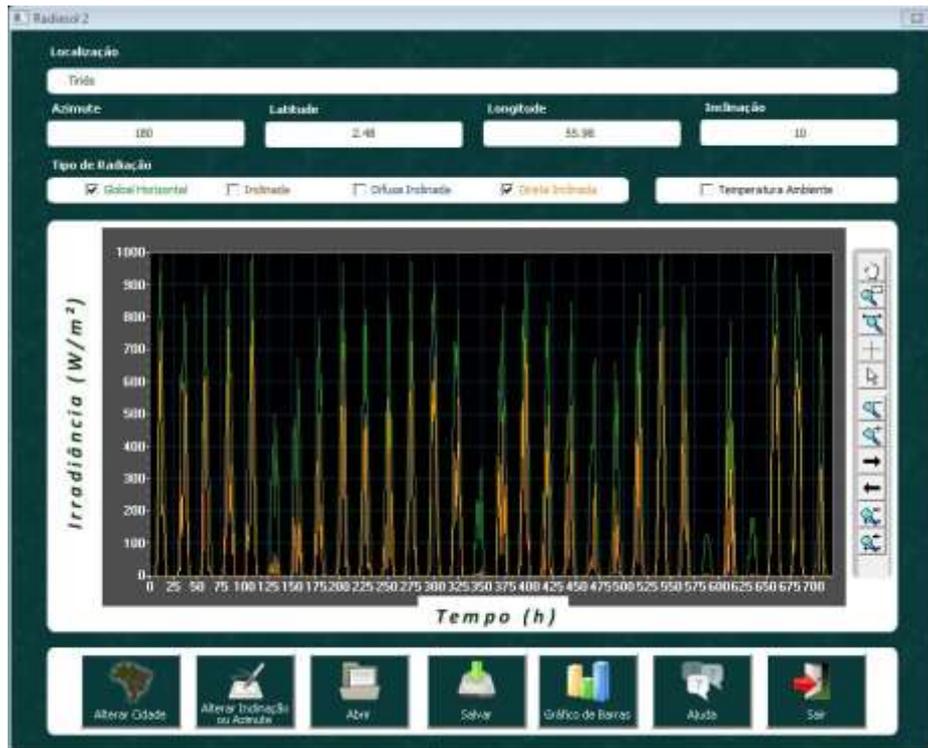


Figura 4.10 - Gráfico de Desempenho Temporal do Software Radiosol.

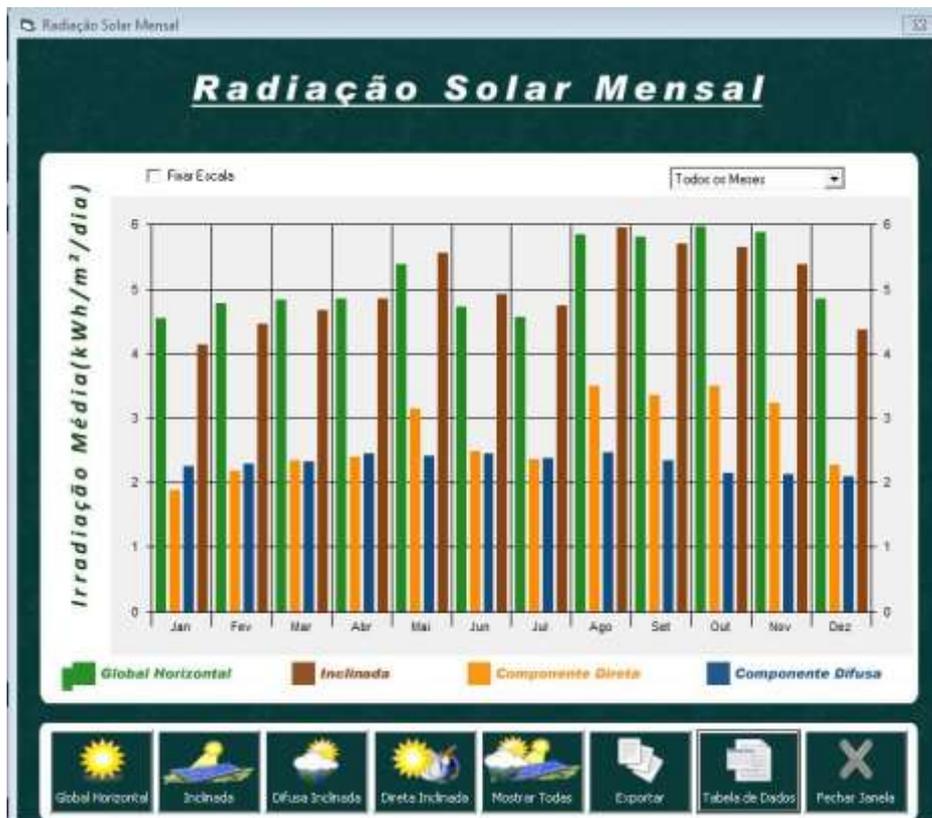
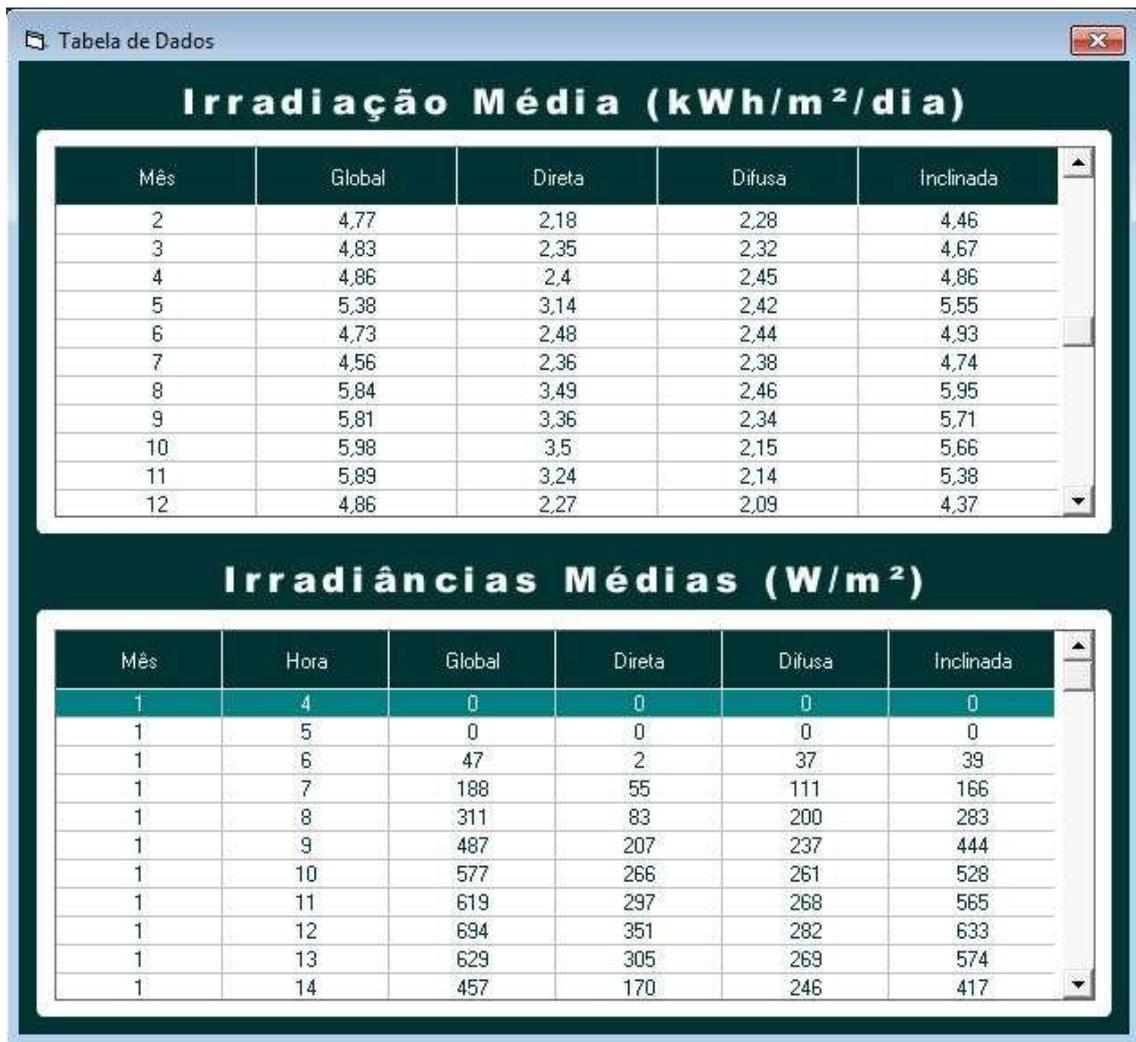


Figura 4.11 - Gráfico de Desempenho Geral do Software Radiosol.



**Figura 4.12 - Tabela de irradiação média.**

**Tabela 4.2 – Tabela Numérica de irradiação.**

Mês/ dados	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média
Swera	4,57	4,79	4,84	4,87	5,39	4,74	4,58	5,86	5,82	5,99	5,90	4,87	5,19
Radia sol2	4,14	4,46	4,67	4,86	5,55	4,93	4,74	5,95	5,71	5,66	5,38	4,37	5,04
Média	4,36	4,63	4,75	4,86	5,47	4,83	4,66	5,91	5,77	5,83	5,64	4,62	5,11

A partir do calculo de:

$$HSP=5,11kwh/m^2.dia^{-1}$$

O Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Tiriós – PA possui as seguintes características:

Tensão trifásica 380V;

Potência consumida de 1.477,33kWh/dia;

Potência pico dos grupos geradores de 250kW;

Potência pico utilizada de 120kW;

Frequência de 60Hz.

Características dos Inversores: bidirecionais, monofásicos, com rendimento de 95%, 8kW, tensão nominal de entrada DC de 48V, tensão nominal de entrada AC de 230V e frequência de 60Hz.

A energia Real utilizada pelo Destacamento é de:

$$E_r = E_d / 95\% = 1.555,08 \text{ kWh/dia}$$

A autonomia do banco de bateria deverá ser de 1H (0,041 dia) e com profundidade de descarga de 90% e tensão de 48V.

Capacidade útil será:

$$E_r = 1.555,03 \text{ kWh/dia}$$

$$N = 0,041 \text{ dia}$$

$$V = 48V$$

$$C_u = (E_r \times N) / V = 1.328,29 \text{ Ah}$$

A capacidade real da bateria deverá ser de:

$$C_r = C_u / 90\% = 1.475,87 \text{ Ah}$$

Com o intuito de reduzir os custos do projeto iremos utilizar para cálculo do banco e dos inversores bidirecionais a Potência utilizada do DTCEA que é de 120kW.

#### 4.3 - INVERSORES BIDIRECIONAIS (INVERSORES/CARREGADORES) PARA SISTEMA ISOLADO

Inversores monofásicos bidirecionais, com controlador de carga de bateria, linha Sunny Island (SMA)

- Modelo: SI 8.0H-10;
- Fabricação: SMA;
- Potência nominal de saída CA: 8,0 kW;
- Tensão nominal de saída CA: 230V (202 a 253V);
- Configurável para operar em sistema trifásico (grupos de 3 inversores);
- Distorção harmônica total: <4%;
- Tensão de entrada CA (rede, gerador, fotovoltaico): 230V (172,5 a 264,5V);
- Tensão de entrada CC (bateria): 48V (41 a 63 Vcc);

- Corrente máxima de carga da bateria: 140<sup>a</sup>;
  - Controlador de carga automático multiestágio, com flutuação automática e carga de equalização;
  - Eficiência máxima: 95%;
  - Autoconsumo em vazio/*stand-by*: <26W / <4W;
  - Proteções eletrônicas contra sobrecarga e curto-circuito na saída CA, fusíveis contra inversão de polaridade na entrada CC, sobretemperatura, descarga profunda da bateria;
  - Proteções contra surtos Categoria III (conforme IEC 60664-1);
  - Acessórios: sensor de temperatura de bateria, cabos de comunicação;
  - Partida automática do gerador integrada;
  - Grau de proteção: IP54;
  - Temperatura de operação: -25 a +60 °C;
  - Dimensões externas: 612 x 467 x 242mm;
  - Peso aproximado: 63 kg.
- Quantidade de inversores:  $Q_i = 120\text{kW} / 8\text{kW} = 15$  inversores.

#### 4.4 - BANCO DE BATERIAS OPZS

Baterias chumbo-ácidas com elementos tubulares ventilados montados em vasos plásticos transparentes para aplicação industrial, Linha OPzS

Características da Bateria:

- Modelo: 11 OPzS 1350;
- Fabricação: Enersystem;
- Capacidade nominal: 1500 Ah/10h;
- Tensão nominal: 48 Vcc.

Características do Banco: Ligados em paralelo, 15000Ah/10h, 48Vcc, de 24kW e trifásico.

Quantidade de Banco =  $120\text{kW} / 24\text{kW} = 5$  - Para obter 48 V por banco deveremos calcular a quantidade de bateria:  $Q_{bat} = V_{inv} / V_{bat} = 48\text{V} / 2\text{V} = 24$

Total de baterias será de:  $24 \times 5 = 120$  baterias.

Então teremos: 05 bancos, 7500Ah/10h, 48Vcc, 120kW e trifásico.

Serão utilizados 03 inversores por banco = 24Kw

#### 4.5 - CÁLCULO DA POTÊNCIA PICO EM RELAÇÃO A HSP

$$W_p = E_d / HSP$$

$$E_d = 1.477,33 \text{ kWh/dia} \quad - \quad HSP = 5,11 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}^{-1} \quad - \quad W_p = 289,1 \text{ kWp}$$

#### 4.6 - TIPO DE FIXAÇÃO DOS MÓDULOS

##### 4.6.1 - Estruturas de suporte dos módulos fotovoltaicos

As estruturas de suporte serão fabricadas em cantoneiras e perfis de aço zincado a fogo, e serão montadas em colunas cravadas diretamente no solo. Alternativamente, caso o solo não apresente boas condições, as colunas serão engastadas em bases de concreto (AMBIENTE BRASIL, 2015).

Serão projetadas para resistir a ambientes agressivos e a velocidades de vento até 35 m/s (Região II, conforme NBR 6123).

Ferragens e acessórios de fixação em aço zincado a fogo ou aço inox.

Alturas mínimas e máximas dos módulos fotovoltaicos em relação ao solo serão definidas no Projeto.

O layout físico de instalação, espaçamento entre fileiras e área prevista para instalação dos módulos será determinada no projeto executivo. Preliminarmente, prevemos a ocupação de aprox. 2.200m<sup>2</sup> da área disponível em frente à casa dos grupos geradores (CEMIG, 2015).

Tabela 4.3 – Tabela de Fixação.

<b>ITENS</b>	<b>TIPO DE FIXAÇÃO</b>	<b>Δ T</b>
A	Estrutura totalmente elevada (solo)	
B	Laje ou telhado (com espaço/inclinação)	
C	Sobre o Telhado (com ventilação)	
D	Integrado (sem ventilação)	

Utilizaremos a estrutura totalmente elevada do solo.

Diferença de temperatura = 22° C

Temperatura ambiente:

29° C (fonte: INMET)

Temperatura de referência= 25°

$T_{calc,Pmax} = 29^{\circ}C + (22^{\circ}C - 25^{\circ}C) = 26^{\circ}C$

#### 4.7 - MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Módulos fotovoltaicos de silício policristalino, construídos com células fotovoltaicas de alta eficiência (>16%), encapsuladas entre camadas de EVA, proteção inferior de PVF, cobertura superior de vidro transparente, e moldura externa de alumínio anodizado.

- Quantidade: 1.021 peças;
- Modelo: KD245GH-4FB2;
- Fabricação: Kyocera;
- Células por módulo: 60;
- Especificações STC (25°C, AM 1.5, radiação 1,0 kW/m<sup>2</sup>);
- o Potência máxima: 245 W;
- o Tensão de máxima potência: 29,8 V;
- o Corrente de máxima potência: 8,23 A;
- o Tensão de circuito aberto: 36,9 V;
- o Corrente de curto-circuito: 8,91 A;
- o Eficiência: 14,8%;
- Conexões: Cabos c/conectores compatíveis MC-4;
- Dimensões externas (C x L x A): 1662 x 990 x 46 mm;
- Peso aproximado: 20,0 kg;
- Certificações: IEC 61215, 61730, 61701, TÜV;
- Certificação INMETRO, Classe “A” (mais eficiente).

Tabela 4.4 – Dimensionamento Técnico.

Características de Temperatura do módulo fotovoltaico:	
Coef. de temp. Potência-pico	-0,46%/°C
Coef. de temp. Tensão Máxima	-0,46%/°C
Coef. de temp. Tensão em Circuito Aberto	-0,36%/°C
Coef. de temp. Corrente em Curto-Circuito	0,06%/°C
Compensação da Potência-Pico do módulo fotovoltaico:	
Perda de Potência Pico por Temperatura= $L^{\circ}C_{pmax}$	$-0,46\%/^{\circ}C * 26^{\circ}C = -11,96\%$
Rendimento Médio do módulo Fotovoltaico= $R^{\circ}C_{pmax}$	$100\% + (-11,96\%) = 88,04\%$
Compensação= $W_{p,c}$	$0,8804 * 245 W_p = 215,7 W_p$
Compensação da Tensão Mínima:	
Perda de Tensão mínima por temperatura= $L^{\circ}C_{Vmpp}$	$-0,46\%/^{\circ}C * 60^{\circ}C = -27,6\%$
Rendimento médio= $R^{\circ}C_{Vmpp}$	$100\% + (-27,6\%) = 72,4\%$
Compensação= $V_{mpp,c}$	$0,724 * 29,8 V = 21,6 V_{mpp}$
Compensação da Tensão Máxima:	
Perda de Tensão Máxima por temperatura= $L^{\circ}C_{Voc}$	$-0,36\%/^{\circ}C * (-35^{\circ}C) = 12,6\%$
Rendimento médio= $R^{\circ}C_{Voc}$	$100\% + 12,6\% = 112,6\%$
Compensação= $V_{oc,c}$	$1,126 * 36,9 V = 41,55 V$
Compensação da Corrente em Curto-Circuito:	
Perda de Corrente por Temperatura= $L^{\circ}C_{Isc}$	$0,06\%/^{\circ}C * 60^{\circ}C = 3,6\%$
Rendimento Médio= $R^{\circ}C_{Isc}$	$100\% + 3,6\% = 103,6\%$
Compensação= $I_{sc,c}$	$1,036 * 8,91 A = 9,23 A$
Quantidade de módulos:	
$W_p$	289,1kWp
$W_{p,c}$	215,7 Wp
$Q_m$	$W_p/W_{p,c} = 1.341 \text{ mód.}$

#### 4.8 - INVERSORES FOTOVOLTAICOS (INVERSORES DE CONEXÃO À REDE)

Inversores fotovoltaicos trifásicos (“*string inverters*”), linha Sunny Tripower (SMA).

- Modelo: STP 17000TL;
- Fabricação: SMA;
- Potência nominal de entrada CC: 17.410 W;
- Tensão de entrada CC (MPPT range): 400 a 800 Vcc;
- Tensão CC máxima: 1000 V;
- Nº. Rastreadores (MPPT trackers): 2;
- Nº de “Strings”: 5 + 1;
- Máxima potência de saída: 17 kW;
- Tensão de saída: 3x 380/220V;
- Frequência: 60 Hz;
- Fator de potência (cosf): -0,8 a +0,8;
- Nº de fases: 3;
- Eficiência máxima: 98,1%;
- Eficiência européia: 97,7%;
- Suporte à rede configurável conforme país;
- Sinalização local: Display gráfico + LEDs;
- Interfaces de comunicação: RS485, Bluetooth;
- Proteções: Fusíveis nas entradas CC;
- Conexões CC: conectores rápidos “Sunclix”;
- Conexões CA: terminais com molas;
- Grau de proteção: IP65 / IP54;
- Temperatura de operação: -25 a +60 °C;
- Ventilação: forçada inteligente;
- Dimensões externas: 690 x 665 x 265mm;
- Corrente máxima de saída CA: 24,6 A;
- Corrente nominal de entrada: 600V;
- Tensão Máxima de entrada: 1000V;

- Tensão Mínima de funcionamento: 150 V;
- Quantidade de SPMP: 2;
- Corrente Máxima de Entrada: 33A;
- Corrente Máxima por SPMP: 33A.

Tabela 4.5 - Cálculos de Módulos.

Cálculos para Associação de Módulos:	
Quantidade de inversores	$289,1\text{kWh}/17\text{kW} = 17$ inversores
Máximo de módulos por inversor	$17410\text{ W} / 215,7\text{ W} = 80,71$ (80 ou 81)
Mínimo de módulos em série por string	$150\text{ V} / 21,6\text{ V} = 6,9$ (7 módulos)
Máximo de módulos em série por string	$1000\text{ V} / 41,55\text{ V} = 24,06$ (24 módulos)
Máximo de strings em paralelo (por inversor)	$33\text{ A} / 9,23\text{ A} = 3,6$ (3 ou 4 strings)
Configuração da Associação de Módulos:	
Quantidade de inversores: 17	
Quantidade de módulos	1341 módulos
4 strings em paralelo; 20 módulos em serie por string	
Tensão do painel	$20 * 29,8\text{ V} = 596\text{ Vcc}$
Corrente do painel	$4 * 8,23\text{ A} = 32,92\text{ A}$
Total de Módulos por Inversor: 80 módulos	

Em conformidade com as premissas e condições definidas que deve ter a orientação da ANEEL (2015), é proposto um Sistema de Energia Solar Híbrido, que será integrado ao Sistema de Energia atual do Destacamento, que é suprido por 3 (três) Grupos Geradores Térmicos trifásicos de 255/230kVA, 380/220V, 60Hz, conforme a Figura 4.13, que operam em sistema de rodízio. Não é previsto o paralelismo dos grupos geradores. Como descreve a Figura abaixo:

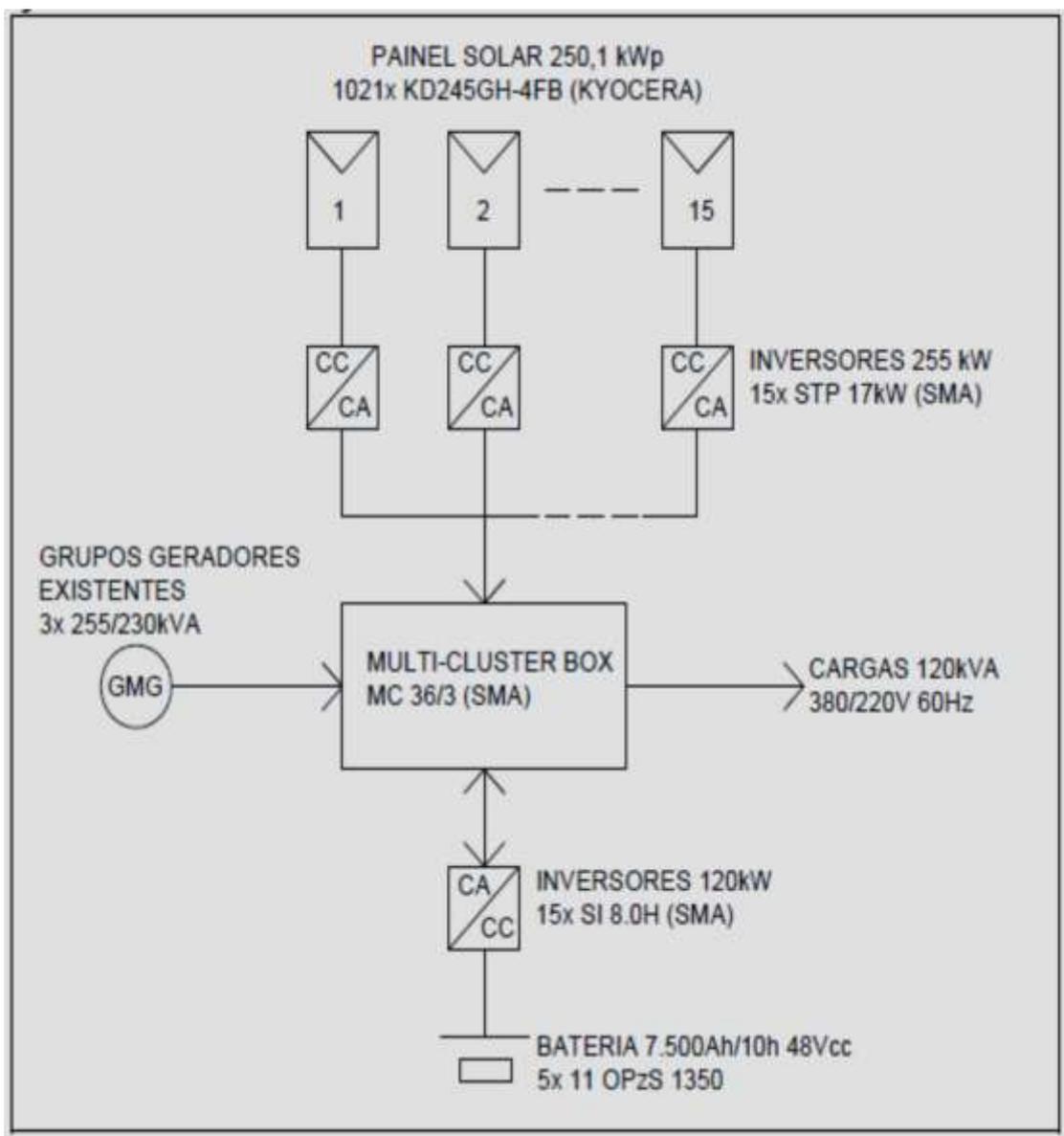


Figura 4.13 - Esquema de fornecimento de energia.

#### 4.9 - PONTO DE CONEXÃO AO SISTEMA DE ENERGIA EXISTENTE

O ponto de conexão recomendado do sistema fotovoltaico, destacado no Diagrama Unifilar, é o barramento principal do QDG – PBT, que será alimentado a partir do Multicluster-Box descrito no Diagrama de Blocos destacados na Figura 4.14.

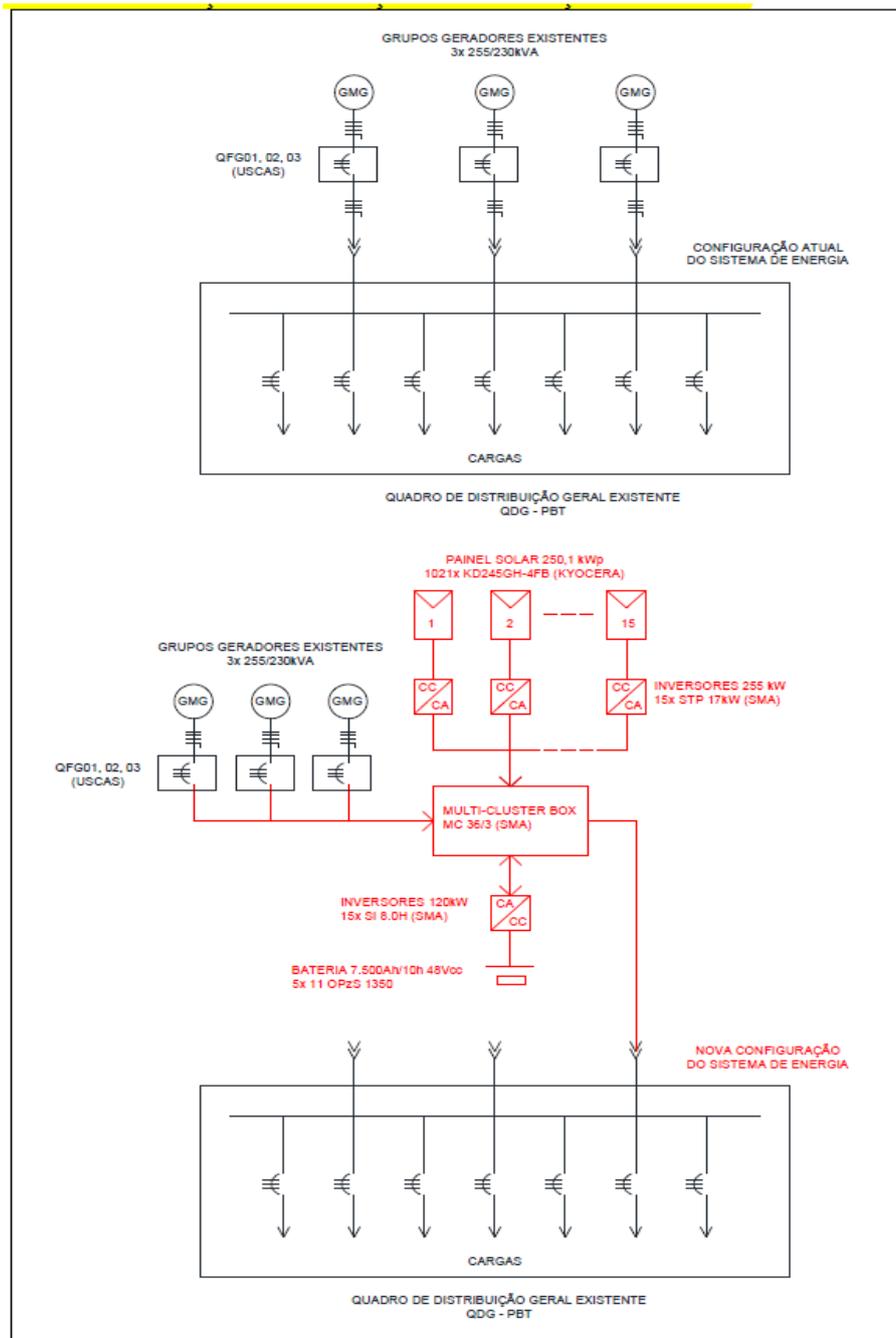


Figura 4.14 - Diagrama de blocos Multicluster-Box.

#### 4.9.1 - Cabeamento Elétrico de CC e CA

Os módulos fotovoltaicos são fornecidos com rabichos de cabos de interligação, dotados de conectores compatíveis com o tipo Multicontact MC-4. As interligações entre módulos fotovoltaicos para formação das “strings” serão feitas através dos cabos de interligação.

#### 4.9.2 - Investimento em Energia Fotovoltaica na Composição de Sistema Híbrido

O cálculo da energia solar incidente na unidade de Tiriós-PA, nas condições específicas da obra que receberá sistema de energia solar é imprescindível na análise de viabilidade técnica e econômica de sua implantação.

O custo mensal com energia é extremamente alto, pois envolve um processo de logística aérea para abastecer o destacamento e o remanejamento de colaboradores para fazer esta operação, onerando ainda mais o processo, chegando a atingir aproximadamente a quantia de 5.701.200,00/ano para a instituição, de acordo com a Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Características econômicas.

Modelo do grupo	Gerador (Cummins 6ctaa8.3-g1) consome 52 l/h diesel a 100% da carga
Consumo de diesel	625 l/dia e 228.000 l/ano.
Valor do diesel médio a época	R\$ 2,90/l,
Custo total de diesel/ano	R\$ 661.200,00/ano
Valor do dólar médio a época de R\$ 3,50	$661.200/3,50=US\$ 188.914,28/ano.$
Logística	Aeronave da Força Aérea C-130
Valor da hora de voo	US \$12.000,00
Capacidade de transporte/ diesel	60 tambores de 200l de diesel= 12.000l
Hora de voo MAO-Tiriós-MAO	120h/ano
O custo anual de horas voo	US\$1.440.000,00
O custo total (combustível + logística).	$US\$1.440.000,00+188.914,28=$ S\$1.628.914,28/ano $*3,5=R\$ 5.701.199,98/ano$

Tabela 4.7 - Características econômicas gerais.

Custos de Logística	
60 horas de voo de C-130	US\$ 720.000,00
30 horas de voo de C-105	US\$ 150.000,00
15 horas de voo C-97	US\$ 60.000,00
06 horas de voo C-95	US\$ 12.000,00
24 horas de voo C-98	US\$ 48.000,00
Custo Total de voo	US\$ 990.000,00 x 3,50 = R\$ 3.465.000,00
Valor orçado do Projeto= R\$ 4.052.327,30	
Espera-se uma redução de 45% no custo do destacamento	
Payback = Custo total do projeto / (Custo total do consumo * 0,45)	R\$ 7.517.327,30 / (R\$ 5.701.200,00*0,45) = 2,9
O retorno do investimento de R\$ 7.517.327,30 será em 3 ANOS	

Em outro parâmetro temos um investimento de R\$ 4.052.327,30 no sistema fotovoltaico, o qual garantirá uma redução de médio a longo prazo que representará uma relevante economia para a Instituição. Neste sentido, quanto aos equipamentos utilizados e a partir das cotações feitas no mercado, há uma clara vantagem econômica de médio a longo prazo que é argumento matemático de redução de custos com o combustível a diesel e logística de abastecimento em relação ao fornecimento de energia no sistema híbrido (Solar / Diesel), do qual este sistema apresenta custo/benefício sem comparação, como demonstra a Tabela 4.7.

A partir desta análise, os prognósticos são positivos quanto ao custo/benefício do investimento no sistema fotovoltaico. Através dos percentuais, verifica-se que a implantação do projeto se torna viável e até desejável para o saneamento das finanças da Instituição.

Ao se analisar aspectos de custos das energias renováveis para uma região como Tiriós – Pa, aparentemente, podem apresentar com preço final da energia mais elevado do que o sistema convencional centralizado de fornecimento de eletricidade. Entretanto a simplicidade com que esta energia é gerada promove uma consequente redução de custos quando todos os processos necessários são contabilizados.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que a aplicação de um sistema híbrido (Solar / Diesel) em unidade operacional controladora de tráfego aéreo pode representar uma redução de custos em uma margem extremamente relevante.

Os benefícios não alcançam somente o destacamento de Tiriós-PA, mas a própria organização como um todo, pois pode obter uma economia expressiva ao longo dos meses, sendo esta economia uma alternativa para investir em outras unidades operacionais que apresentem o mesmo cenário de matriz energética do Destacamento de Tiriós-PA.

Os resultados são contundentes e respondem à pergunta do problema proposto. A energia solar pode ser utilizada como forma de reduzir os custos de energia térmica. Destacando que o intuito do trabalho não é reduzir o consumo, mas reduzir os valores pagos mensalmente. Pois como a energia solar é considerada uma fonte de energia inesgotável, então não é relevante racionar o consumo, mas sim reduzir custos financeiros.

Além da viabilidade financeira, deve-se ressaltar a grande importância da instalação dos sistemas fotovoltaicos quando avaliados sob o foco da redução de impactos ambientais, pois como está na categoria de energia limpa, os resultados são mais expressivos pelo seu caráter ecológico.

A estratégia adotada inicialmente, mostrou-se adequada para o propósito do estudo: selecionar o processo para aplicação do Estudo de Caso, conceituar a energia solar e suas possibilidades práticas, traçar planos de aplicação do sistema fotovoltaico em combinação com o sistema de energia térmica baseada em combustível diesel foi satisfatório para a melhoria do processo, o que evidenciou benefícios, vantagens e impactos financeiros alcançados com a implementação de um projeto como o do sistema híbrido para o Destacamento e para a Instituição.

O presente estudo não só representa um marco econômico e energético para uma unidade, mas também representa uma possibilidade indelével de revolução para a Aeronáutica Brasileira. A independência energética resulta em inúmeras possibilidades para os bons serviços da força aérea brasileira. Estes serviços alcançam as questões de

proteção do espaço aéreo, do resgate e socorro a comunidades por toda a Região Norte e a autossuficiência das unidades operacionais.

Diante do exposto, conclui-se que o investimento no padrão de entrada da energia solar é extremamente benéfico a médio e longo prazo, pois como os custos com o equipamento ainda são considerados altos, porém, de acordo com pesquisa de preços em cotação, em quatro anos os equipamentos de energia solar sofreram uma redução de mais de 50% nos preços.

O presente estudo não só pode representa um marco econômico e energético para uma unidade, mas também representa uma possibilidade indelével de revolução para a Aeronáutica Brasileira. A independência energética resulta em inúmeras possibilidades para os bons serviços da força aérea brasileira. Estes serviços alcançam as questões de proteção do espaço aéreo, do resgate e socorro a comunidades por toda a Região Norte e a autossuficiência das unidades operacionais.

Diante do exposto, conclui-se que o investimento no padrão de entrada da energia solar é extremamente benéfico a médio e longo prazo, pois como os custos com o equipamento ainda são considerados altos, porém, de acordo com pesquisa de preços em cotação, em 4 anos os equipamentos de energia solar sofreram uma redução de mais de 50% nos preços.

A tendência deste mercado é a expansão e a redução do preço do material utilizado, assim, as perspectivas financeiras de economia com a conta de energia são muito favoráveis, inclusive para reprodução do projeto atual de forma parcial ou integral em outros destacamentos.

Como recomendações para trabalhos futuros que seguirão a mesma linha de raciocínio empregada nesse estudo, ficam as seguintes sugestões:

- Aplicação dessa mesma metodologia para outros tipos de processos. No caso desse projeto ser reproduzido em outras unidades de processos que enfrentem os desafios geográficos e de isolamento da Região Norte;
- Em relação ao vulto, também é possível aumentar a abrangência, inclusiva para a independência energética em cidades que possuem déficit de energia pela companhia local ou postos policiais, corpo de bombeiros, etc., entidades que enfrentem complexidades peculiares;
- Nesse estudo, a ferramenta PMBOK foi escolhida para orientar a realização de cada evento, porém, outras ferramentas podem ser utilizadas conforme a complexidade de cada evento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATLAS, SOLARIMÉTRICO. Disponível em: [www.cresesb.cepel.br/.../Atlas\\_Solarimetrico\\_do\\_Brasil\\_2000.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/.../Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf). Acessado em: 01/01/2016.

ABREU, S. L., **Utilização da Energia Solar em Substituição a Chuveiros Elétricos, Fontes Não-Convencionais de Energia – As Tecnologias Solar, Eólica e de Biomassa, Laboratório de Energia Solar**, UFSC, Florianópolis, Brasil, 2000.

ADAM, A. D., & Apaydin, G. (2016). **Grid connected solar photovoltaic system as a tool for green house gas emission reduction in Turkey**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1086-1091. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.023>.

ALVARENGA, C. A. – **Energia Solar**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2001.

ALYAHYA, S., & Irfan, M. A. (2016). **The techno-economic potential of Saudi Arabia's solar industry**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 697-702. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.017>.

AMARAL, Rafael Shayani; GONÇALVES, Marco Aurélio de Oliveira; TOLEDO, Ivan Marques de Camargo. **Políticas públicas para a Energia: Desafios para o próximo quadriênio. Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais**. Brasília, 2006.

AMBIENTEBRASIL. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br>. Acesso em 17/09/2015.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em 22.03.2016.

ASTROSOL - Disponível em: <http://www.astrosol.com.br/>. Acesso em 18/09/2015.  
BELLOTTO, Heloísa Liberalli. **Arquivos permanentes: tratamento documental**, 3. ed., Rio de Janeiro: FGV, 2005.

BAJPAI, P., & Dash, V. (2012). **Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2926-2939. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.009>.

BENLI, H. (2016). **Potential application of solar water heaters for hot water production in Turkey.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54, 99-109. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.061>.

BLUESOL. Disponível em: <http://bluesol.com.br/cursos/>. Acesso em: 18/08/2016.

BOUTE, A. (2016). **Off-grid renewable energy in remote Arctic areas: An analysis of the Russian Far East.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59, 1029-1037. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.034>.

BYRNES, L., Brown, C., Wagner, L., & Foster, J. (2016). **Reviewing the viability of renewable energy in community electrification: The case of remote Western Australian communities.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59, 470-481. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.273>.

CEMIG. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/>. Acesso em 18/09/2015.

CHAUDHARY, A., Huggett, A., Yap, W. K., & Karri, V. (2014). **Remote Area Hybrid Solar-diesel Power Systems in Tropical Australia.** Energy Procedia, 57, 1485-1491. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.140>.

CHIMRES, N., & Wongwises, S. (2016). **Critical review of the current status of solar energy in Thailand.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58, 198-207. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.005>.

CORRÊA da Silva, R., de Marchi Neto, I., & Silva Seifert, S. (2016). **Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59, 328-341. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.001>.

DINIZ, Anderson Lucas; ROCHA, Herivelton; SILVA, Arlete Vieira da; HORTA, Mário Marcos Brito. **Eficiência energética: proposta de utilização de energia alternativa em indústria de máquinas pesadas.** UNIBH, Minas Gerais, 2013.

ERDINC, O., & Uzunoglu, M. (2012). **Optimum design of hybrid renewable energy systems: Overview of different approaches.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(3), 1412-1425. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.011>.

CHURCHILL, C., COSTER, D., 2001, **Microfinance Risk Management Handbook**, Emily Pickrell and Calvin Miller.

GHASEMI, A., Asrari, A., Zarif, M., & Abdelwahed, S. (2013). **Techno-economic analysis of stand-alone hybrid photovoltaic–diesel–battery systems for rural electrification in eastern part of Iran—A step toward sustainable rural development.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 456-462. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.011>.

GIRARD, A., Gago, E. J., Ordoñez, J., & Muneer, T. (2016). **Spain's energy outlook: A review of PV potential and energy export.** *Renewable Energy*, 86, 703-715. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.08.074>.

HASSANIEN, R. H. E., Li, M., & Dong Lin, W. (2016). **Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 989-1001. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.095>.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HOSSEINALIZADEH, R., Shakouri G, H., Amalnick, Mohsen S., & Taghipour, P. (2016). **Economic sizing of a hybrid (PV–WT–FC) renewable energy system (HRES) for stand-alone usages by an optimization-simulation model: Case study of Iran.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 139-150. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.046>.

ISSA, U. H., 2013, “**Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time**”, *Alexandria Engineering Journal*, v. 52, issue 4, pp. 697-704.

KABEEL, A. E., Omara, Z. M., Essa, F. A., & Abdullah, A. S. (2016). **Solar still with condenser – A detailed review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 839-857. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.020>.

KHAN, J., & Arsalan, M. H. (2016). **Solar power technologies for sustainable electricity generation – A review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 414-425. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.135>.

KHARE, V., Nema, S., & Baredar, P. (2016). **Solar–wind hybrid renewable energy system: A review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 23-33. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.223>.

JOSÉ, R. S. F, **Construção e levantamento de desempenho de um concentrador cilíndrico parabólico com mecanismo automático de rastreamento solar,** 2008.

LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica** 5. ed. - São Paulo: Atlas, 2010.

MOHAMMED, Y. S., Mustafa, M. W., & Bashir, N. (2014). **Hybrid renewable energy systems for off-grid electric power: Review of substantial issues**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 527-539. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.022>.

NEOSOLAR, Energia. **Energia Fotovoltaica**. Disponível em: <http://www.neosolar.com.br/blog/energia-s/>. Acessado em 27/10/2016.

OLIVA, **Sangue Verde**. Tiriós – Pa. Disponível em: [http://www.sangueverdeoliva.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=56:exercito-explora-area-na-fronteira-onde-nunca-havia-pisado-antes&catid=13&Itemid=105 & lang=em](http://www.sangueverdeoliva.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=56:exercito-explora-area-na-fronteira-onde-nunca-havia-pisado-antes&catid=13&Itemid=105 & lang=em). Acesso em 17/09/2015.

PALZ, W., **Energia Solar e Fontes Alternativas**, Hemus – 2002.

PANDEY, A. K., Tyagi, V. V., Selvaraj, J. A. L., Rahim, N. A., & Tyagi, S. K. (2016). **Recent advances in solar photovoltaic systems for emerging trends and advanced applications**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 859-884. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.043>.

PEREIRA, E. B.; Martins, F. R.; Abreu, S. L.; Couto, P.; Stuhlmann, R.; Colle, S. **Effects of burning of biomass on satellite estimations of solar irradiation in Brazil**. *Solar Energy*, 68(1): 91-107, 2006.

RÜTHER, Nils; Olsen, Nils Reidar Bøe. **Modelling free-forming meander evolution in a laboratory channel using three-dimensional computational fluid dynamics**. *Geomorphology*, 2007.

SAMPAIO, Thales Bastos. **Determinação Experimental da Radiação Solar de Uberlândia à Superfície**. Uberlândia – MG, 2011.

SHPE. Disponível em: <http://energiahibrida.blogspot.com.br/>, Acessado em: 18/08/2016.

UIESOL, América do. **SIMULADOR SOLAR**. Disponível em: <http://www.americadosol.org/simulador/simulation.php?id=132411&session=ac1ee0c491a532c3aebb5b3157f9692b>. Acessado em 27/12/2015.

VERGARA, S.C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração.** 8 ed. São Paulo: Atlas, 2011.