INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Gustavo Rodrigues Chaves Veras

Estimativa da radiação solar em PCDs na Amazônia como subsídio para o emprego de energia solar em canteiros de obra da COMARA.

Trabalho de Graduação 2009

Civil

Gustavo Rodrigues Chaves Veras

Estimativa de Radiação Solar em PCDs na Amazônia como Subsídio para a Utilização de Energia Solar nas Obras da COMARA

Orientadora

Profa. Dra. Iria Fernandes Vendrame

Divisão Acadêmica de Engenharia Civil

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

COMANDO-GERAL DE TECNOLOGIA AEROESPACIAL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Veras, Gustavo Rodrigues Chaves

Estimativa de Radiação Solar em PCDs na Amazônia como Subsídio para a Utilização de Energia Solar nas Obras da COMARA/Gustavo Rodrigues Chaves Veras, São José dos Campos, 2009. 74f.

Trabalho de Graduação – Divisão Acadêmica de Engenharia Civil – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2008. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Iria Fernandes Vendrame

1. Energia Solar. 2. Fontes de Energia. 3. Radiação I. Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão Acadêmica de Engenharia Civil. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Veras, Gustavo Rodrigues Chaves. Estimativa de Radiação Solar em PCDs na Amazônia como Subsídio para a Utilização de Energia Solar nas Obras da COMARA. 2009. 74f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gustavo Rodrigues Chaves Veras

TÍTULO DO TRABALHO: Estimativa de Radiação Solar em PCDs na Amazônia como Subsídio para a Utilização de Energia Solar nas Obras da COMARA

TIPO DO TRABALHO / ANO: Graduação / 2009

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Gustavo Rodrigues Chaves Veras

Rua Catão Mamede, 218 – Aldeota

60.140-110 - Fortaleza-CE

Estimativa de Radiação Solar em PCDs na Amazônia como Subsídio para a Utilização de Energia Solar nas Obras da COMARA

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação

Gustavo Rodrigues Chaves Veras

Autor

Prof^a. Dr^a. Iria Fernandes Vendrame

Orientadora

Cap. Eng Rodrigo Otávio Ribeiro

Co-orientador

Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto

Coordenador do Curso de Engenharia de Civil-Aeronáutica

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, por estar sempre do meu lado e sempre fazendo o que é melhor para mim. Agradeço também a família, em especial, minha mãe, que, mesmo longe, nunca deixou me sentir sozinho nesses seis anos de batalha aqui no ITA, sempre rezando e torcendo por mim.

Agradecimentos

A Deus, por sempre ter me dado força e saúde para lutar por meus objetivos, por me dar sempre mais do que peço, mais do que preciso. Sou um dos seus filhos que tem mais a agradecer do que a pedir.

A minha mãe, Cleomar, por sempre acreditar em mim e estar sempre me dando forças e me apoiando em tudo que busco na vida. Por ser o meu anjo na terra e ser um exemplo de pessoa a ser seguida. A pessoa responsável por tudo que sou e consegui.

Ao meu pai, Vicente, mesmo sem falar muito, sempre me apoiou nos meus projetos de vida.

Ao meu irmão Samuel, por ser meu melhor amigo, a pessoa que sempre me espelhei. Por sempre me escutar e me dar conselhos.

Ao meu irmão Henrique por ser meu melhor amigo também e sempre torcer por mim. Sempre me orgulhou com sua facilidade com as mulheres e com seu carisma.

A minha tia Lucimar por ser minha segunda mãe. Por me abrigar por vários anos em sua casa e participar da minha formação pessoal. Uma pessoa que sempre acreditou em mim e me deu muita força.

Ao meu primo Osmar por ser um irmão por todos esses anos. Estar sempre presente em minha vida e sempre torcendo por mim.

Ao meu irmão de coração Douglas por muitos momentos de alegria e por amizade forte que mantemos e fortalecemos a cada ano apesar da distância.

Aos meus irmãos de coração Guilherme e João Paulo que conviveram comigo aqui no ITA por cinco anos e ainda continuam muito presentes em minha vida. Obrigado por essa amizade verdadeira.

A professora Íria Vendrame por sempre me ajudar em tudo que precisei, por ser minha orientadora e conselheira.

Pelo Tem. Eng. Helles e o Cap. Eng. Rodrigo por me ajudarem bastante com esse trabalho de graduação.

A todos meus amigos de faculdade, em especial, a galera da INFRA, que ajudaram a tornar esses anos de luta menos difíceis e mais alegres.

A todos as pessoas que participaram da minha vida, colegas, professores, parentes, vizinhos, todos que de alguma forma contribuiram para minha formação, eu desejo o meu MUITO OBRIGADO!

"Javé é a Fortaleza da minha vida: frente a quem temerei?

Quando os malfeitores avançam contra mim para devorar minha carne, são eles, meus adversários e inimigos que tropeçam e caem

Que um exército acampe contra mim! Meu coração não tremerá.

Que uma guerra estoure contra mim! Ainda assim estarei confiante!"

Salmo 27

"A diferença entre o possível e o impossível está na vontade humana"

Louis pasteur

Resumo

A COMARA (Comissão de Aeroportos da Região Amazônica) atua principalmente em áreas da Amazônia nas quais não há disponibilidade de energia elétrica, portanto há uma necessidade de outro tipo de geração de energia para suprir as necessidades energéticas das obras. Atualmente, a COMARA utiliza a queima de combustíveis fósseis como fonte geradora de energia nas obras onde não há disponibilidade de energia elétrica, mas essa fonte, além de ter um custo elevado, é uma fonte de energia que causa bastantes impáctos ambientais como; possíveis vazamentos de combustível no transporte e armazenamento e a geração de gases poluentes causados pela queima de combustível.

Buscando novas tecnologias e preocupada com os impactos ambientais causados na Amazônia, a COMARA mostrou-se interessada em analisar a viabilidade da utilização de fontes de energias limpas. Sendo assim, esse trabalho visa fazer o estudo da viabilidade da utilização de energia limpas, em especial, a energia solar, por ser a mais adequada ao tipo de demanda energética da COMARA.

Foi feito ainda estudo sobre o emprego de energia solar nas balsas da COMARA e nas residências dos militares.

Abstract

The COMARA works mainly in Amazon areas where electric energy is not available, so there is a necessity of other kind of energy source to supply the necessity energetic. The COMARA's actual energy source is burning oil where electric energy is not available, but this kind of energy source is so expensive and is responsible for a lot of environmental impacts like: possible fuel leak on transportation and storage and the generation of polluting gases by the burning oil.

Looking for new technologies e worried about the environmental impacts in Amazon area, the COMARA is interested on analyzing the viability of clear energies sources utilization. Thus, this work aims to study the viability of clean energy, in special, the solar energy, due to be the most appropriate to the energy demand of COMARA. Beyond that, it was made a study about the viability of the solar energy in the ferries of the COMARA and the military houses.

Lista de Figuras

Figura 1- Exemplo de geração de energia Hídrica	18
Figura 2- Circuito representativo da célula fotovoltaica ideal	20
Figura 3- Obras realizadas pela COMARA	30
Figura 4-Obras atuais da COMARA	31
Figura 5-Sistema de Coleta de Dados Brasileiro	36
Figura 6- PCDs existentes nos estados do Pará e do Amazonas	37
Figura 7- Radiação acumulada do mês de Janeiro na PCD de Ji-Parana	38
Figura 8-Radiação acumulada do mês de Fevereiro na PCD de Ji-Parana	38
Figura 9- Radiação acumulada do mês de Março na PCD de Ji-Parana	39
Figura 10-Radiação acumulada do mês de Abril na PCD de Ji-Parana	39
Figura 11-Radiação acumulada do mês de Maio na PCD de Ji-Parana	40
Figura 12- Radiação acumulada do mês de Junho na PCD de Ji-Parana	40
Figura 13- Radiação acumulada do mês de Julho na PCD de Ji-Parana	41
Figura 14- Radiação acumulada do mês de Agosto na PCD de Ji-Parana	41
Figura 15- Radiação acumulada do mês de Setembro na PCD de Ji-Parana	42
Figura 16- Radiação acumulada do mês de Outubro na PCD de Ji-Parana	42
Figura 17- Radiação acumulada do mês de Novembro na PCD de Ji-Parana	43
Figura 18- Radiação acumulada do mês de Dezembro na PCD de Ji-Parana	43
Figura 19-Mapas de radiação média global mensal	47
Figura 20-Mapas de radiação solar média anual para o território brasileiro	49
Figura 21-Mapas das médias anuais de isolinhas de radiação em MJ/m².dia	54
Figura 22-Mapas das médias anuais de isolinhas de insolação em horas	
Figura 23- Típica balsa da COMARA	67
Figura 24-Comparativo entre os custos do aquecimento de água via energia elétrica e solar	68

Lista de Tabelas

Tabela 1-Energia gerada a partir de vários tipos de Biomassa	19
Tabela 2- Obras da COMARA	33
Tabela 3-Médias mensais da radiação acumulada e desvios padrão dos dados de cada o	dia do mês em
Ji-Parana, em 2008	44
Tabela 4-Custos referentes a energia por queima de combustíveis fósseis	60
Tabela 5- Lista de equipamentos e especificações	62
Tabela 6-Valores dos equipamentos relativos ao alojamento militar	63
Tabela 7- Materiais referentes ao alojamento civil	63
Tabela 8-Materiais referentes ao escritório	63
Tabela 9-Materiais referentes ao laboratório	64
Tabela 10- Materiais referentes à oficina	64
Tabela 11- Materiais referentes ao refeitório	64
Tabela 12- Valores totais por edificação e valor total	65
Tabela 13- Custos totais para a geração de energia solar	65
Tabela 14- Custos totais para os dois tipos de geração de energia	66

Lista de Símbolos e abreviaturas

 I_{ph} : Fotocorrente, ou corrente gerada pela luminosidade (A)

 I_D : Corrente de saturação do diodo (A)

K: Constante de Boltzmann (k=1,38*10⁻²³)

q: Carga do elétron (q=1,602*10⁻¹⁹ C)

t: Temperatura da célula (⁰K)

e: Constante Neperiana (e=2,71828)

v= Diferença de potencial

 $V_{C\acute{e}lula}$: Diferença de potencial da Célula

 V_D : Diferença de pontencial no Diodo

N: Duração do dia em horas

n: Insolação diária

n/N: Fração de insolação

H: Radiação solar global diária

H₀: Radiação diária no topo da atmosfera

n_i: Insolação diária

N_i: Duração astronômica do dia

t_{D:} Trasmitância da radiação direta através da atmosfera

I₀: Constante solar

θ: Ângulo Zênite

Qs: Radiação slar incidente na superfície terrestre

Q₀: Radiação solar no topo da atmosfera

a: Coeficientes determinados a partir de dados observados

b: Coeficientes determinados a partir de dados observados

c: Coeficientes determinados a partir de dados observados

h: Altitude da estação

n₁: Número de horas de brilho solar observado

N₁: Número de horas de brilho previsto para cada dia

I_H: Radiação total que atinge um plano localizado na superfície terrestre

I_{bn}: Fluxo de radiação direta

Z: Ângulo formado pelos raios com o plano horizontal

I_d: Radiação difusa que incide sobre o plano horizontal

COMARA: Comissão de Aeroportos da Região Amazônica

ABEN: Associação Brasileira de Energia Nuclear

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

PCD: Plataforma de Coleta de Dados

IPCA: Índice Nacional de Preços do Consumidor

FUNAI: Fundação Nacional do Índio

SUDAN: Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia

INFRAERO: Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

DACO: Departamento de Apoio da COMARA

CPTEC: Centro de Previsões do Tempo e Estudos Climáticos

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

DMA: Divisão de Clima e Meio Ambiente

UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina

CEPEL: Centro d Pesquisas de Energia Elétrica

UFPE: Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

1.	Introdu	ção	15
2.	Revisão	Bibliográfica	16
2	2.1 For	ntes de Energia	16
	2.1.1	Energias não renováveis	16
	2.1.1.	1 Energia Nuclear	16
	2.1.1.	2 Energias Fósseis	16
	2.1.2	Energias Renováveis	16
	2.1.2.	1 Energia Eólica	17
	2.1.2.	2 Energia Hidráulica ou Hídrica	17
	2.1.2.	3 Biomassa	18
	2.1.2.	4Energia Solar	19
	2.1	.2.4.1 Energia Solar Fototérmica	19
	2.1	.2.4.2 Energia Solar Fotovoltaica	20
	2.1	.2.4.3 Radiação Solar	23
	2.1	.2.4.4 Perspectivas Futuras para a Energia Solar	25
3.	Metodo	ologia	25
4.	Comara	1	29
3	3.1 De	safios da COMARA	31
3	3.2 Re	cursos da COMARA	32
4.	FONTE	ES DE DADOS PARA MEDIDAS DE RADIAÇÃO E INSOLAÇÃO	33
4	.1 Us	o das PCDs	33
	4.1.1	Sistema de Coleta de Dados	35
	4.1.2	As PCDs e as Obras da Comara	36
	4.1.3	Análise de Dados da PCD de Ji-Parana-RO	37
4	2.2 Pro	ejeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment)	44
4	.3 Atl	as Solarimétrico do Brasil	49
	4.3.1	Descrição do Banco de Dados Solarimétricos	50
	4.3.2	Distribuição Espacial das Medidas	51
	4.3.3	Principais correlações Utilizadas na Estimativa da Radiação Solar	51
	4.3.4	Instrumentos de Medidas Solarimétricas	52

	4.3.5	Isolinhas de Radiação Solar	53
	4.3.6	Mapas de Isolinhas de Radiação Solar	54
5	. Análise	de viabilidade de emprego da energia solar em obras da COMARA	55
	5.1 Can	teiro Padrão	55
	5.2 List	a de Equipamentos que Poderão Ser Supridos por Energia Solar	56
5	.3 Anális	se de custos dos dois tipos de geração de energia	57
	5.3.1 A	nálise dos custos referentes à geração de energia por queima de combustíveis fósse	eis.57
	5.3.2 A	nálise dos custos referentes à geração de energia solar	60
6	. Outros e	estudos e resultados	66
	6.1 Ene	rgia solar nas Balsas	66
	•	necimento Solar para Aquecer a água das Casas dos Militares e para as casas dos	67
7	. Conclus	ões	69
R	eferências l	Bibliográficas	71

1. Introdução

A Força Aérea Brasileira, através da COMARA (Comissão de Aeroportos da Região Amazônica), tem sido responsável por uma quantidade grande de obras no Norte do país, onde as dificuldades de execução são as maiores, pois quase totalidade dessas obras se localiza em áreas afastadas de qualquer centro urbano e o acesso só é feito através de embarcações ou aeronaves. Além da dificuldade de acesso, há uma carência muito grande de insumos e não há energia elétrica disponível, portanto é necessária uma grande logística para levar insumos e gerar energia. A energia utilizada nos canteiros de obra, hoje, geralmente é gerada através da queima de combustíveis fósseis em geradores.

Esse tipo de geração de energia, além de ser um grande emissor de poluentes, também gera um grande risco de vazamento tanto na estocagem como no transporte do combustível fóssil que vai ser queimado. Essas dificuldades e riscos têm gerado um grande interesse, por parte da COMARA, em trabalhar com algum tipo das chamadas energias limpas.

Há vários tipos das chamadas "energias limpas", dentre as mais conhecidas tem-se; eólica, hidráulica, solar e térmica. Esses tipos de geração de energia são chamados de energia limpa por não gerarem poluentes, além de não apresentarem risco de contaminação por vazamento, diferentemente da geração de energia a partir da queima de combustíveis fósseis.

Dentre as chamadas energias limpas, a energia solar tem se mostrado uma das mais promissoras fontes de energia para substituir a queima de combustíveis fósseis, por se tratar de uma fonte inesgotável de calor e de luz. Além disso, para o caso das necessidades da COMARA, em especial, onde a demanda de energia ocorre praticamente durante o período da execução da obra, a energia solar tem mais vantagem sobre os outros tipos de energia limpa, pois a locomoção e a instalação das aparelhagens necessárias para a geração de energia é bem mais simples no caso da energia solar.

Partindo dessa necessidade da COMARA e dos benefícios que essas energias limpas dispõem, esse trabalho tem o intuito de encontrar uma solução viável para a geração de energia para os obras da COMARA, onde o uso da energia elétrica não é viável, e estudar a viabilidade do uso das energias limpas nessas obras.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Fontes de Energia

Segundo Goldemberg [1977], As fontes de energia são classificadas como energias renováveis e não renováveis.

2.1.1 Energias não renováveis

Segundo Goldemberg [1977], as energias não renováveis são as energias advindas de fontes não renováveis, das quais não é possível repor o que foi gasto. Esse tipo de energia tem fontes esgotáveis e os principais representantes desse tipo de energia são os combustíveis fósseis e a energia nuclear.

2.1.1.1 Energia Nuclear

Segundo a ABEN (Associação Brasileira de Energia Nuclear) [2009], a energia nuclear pode ser obtida a partir da desintegração, fissão ou cisão, dos núcleos atômicos de elementos pesados como o Urânio, gerando assim, energia radiante e cinética. As usinas termonucleares utilizam essas energias para gerar eletricidade usando turbinas a vapor. Um problema grande desse tipo de geração de energia é a produção de resíduos nucleares que podem levar milhares de anos para atingir níveis permissíveis de radiotividade no ambiente.

2.1.1.2 Energias Fósseis

Segundo Goldemberg [1977], os combustíveis fósseis são as mais antigas e mais conhecidas fontes de energia mundial. Elas podem se apresentar nas formas sólida(carvão), líquida (petróleo) e gasosa (gás natural). Esse tipo de fonte foi formada por acumulações de seres vivos que viveram há milhões de anos e que foram fossilizados formando carvão ou hidrocarbonetos.

2.1.2 Energias Renováveis

Segundo Goldemberg [1977], a energia renovável é aquela que é obtida de fontes naturais capazes de se regenerar, e portanto virtualmente inesgotáveis, ao contrário dos recursos não-renováveis. São conhecidas pela imensa quantidade de energia que contêm, e porque são capazes de se regenerar por meios naturais. A seguir, serão apresentados alguns exemplos de energias renováveis.

2.1.2.1 Energia Eólica

Segundo o portal Ambiente Brasil [2009], a energia eólica já vem sendo utilizada há anos na forma de moinhos de ventos, que utiliza as forças do vento e também para mover os barcos movidos a vela. As enormes e modernas turbinas representam a forma mais moderna de gerar energia através do vento.

A energia cinética proveniente do movimento das massas de ar pode ser convertida em energia mecânica ou elétrica. Para a geração de energia elétrica em grande escala, a energia cinética do movimento das massas de ar, só é viável em locais onde a velocidade do ar é superior a 6 m/s.

Os impactos ambientais, tanto em termos de ruído quanto do ecossistema são mínimos, porém há restrições no que se trata de espaço físico, pois tanto as turbinas quanto os cataventos são instalações mecânicas grandes e ocupam enormes áreas. O custo de geradores eólicos é elevado, mas há um retorno financeiro de curto prazo.

Espera-se que esse tipo de energia garanta 10% das necessidades mundiais de eletricidade até 2020, podendo gerar cerca de 1,7 milhões de novos empregos e reduzir a emissão global de dióxido de carbono na atmosfera em mais de 10 bilhões de toneladas. Tem havido um grande crescimento na geração desse tipo de energia ultimamente, mais acentuada no litoral nordestino.

2.1.2.2 Energia Hidráulica ou Hídrica

Segundo Veziroglu [1977], a energia Hídrica ou Hidráulica é a energia que se produz através da conversão da energia cinética advinda do movimento das águas e da energia potencial e transformada em energia mecânica ou elétrica.

Considerando-se que a água é aproximadamente 800 vezes mais densa que o ar, pode-se concluir que é requerido um pequeno fluxo de água para se gerar uma quantidade razoável de energia. Pode ainda, utilizar a energia acumulada nas águas das cachoeiras.

O Brasil é um país privilegiado em relação à utilização desse tipo de fonte de energia e é um país altamente dependente desse tipo de energia. Esse tipo de geração de energia é bem propício para regiões de grandes rios como é o caso da região amazônica, que tem um grande potencial fluvial, mas não é propício para planícies.

Apesar de ser um tipo de

energia que não gera

poluentes, esse tipo de geração de energia provoca grandes impactos ambientais, como por exemplo, perda da vegetação e fauna terrestre, interferência na migração dos peixes, alteração na fauna do rio, interferência no transporte de sedimentos dentre outros.

A Figura 1 representa um exmplo de energia Hídrica.



Figura 1- Exemplo de geração de energia Hídrica

Fonte: Ambiente Brasil(2002)

2.1.2.3 Biomassa

Segundo o portal Ambiente Brasil, [2009], a partir da fotossíntese as plantas absorvem energia solar e transformam em energia química. Essa energia química pode ser convertida em energia, eletricidade, combustível ou calor. As fontes orgânicas usadas para produzir energia usando esse processo são chamadas de Biomassa.

As fontes orgânicas mais conhecidas são: madeira, resíduos agrícolas e plantas como a canade-açúcar. Até mesmo o lixo gerado nas residências pode ser utilizado como fonte de energia.

A produção de energia através da Biomassa vem sendo defendida como uma importante alternativa para o problema energético dos países, principalmente dos em desenvolvimento.

Vários governos têm criado programas de incentivo à geração desse tipo de energia. Dentre os programas que mais obtiveram êxito estão:

- Proálcool, no Brasil
- Aproveitamento de Biogás, na China
- Aproveitamento de resíduos agrícolas, na Grã- Bretanha

- Aproveitamento do bagaço de cana, nas Ilhas Maurício
- Coque Vegetal, no Brasil

A Tabela 1 mostra como está distribuída a produção de energia pelos vários tipos de fonte de biomassa no Brasil.

Tabela 1-Energia gerada a partir de vários tipos de Biomassa

Fonte	Potência
ronte	(MW)
Bagaço de cana	391,15
Biomassa	82,75
Lenha picada	5,31
Licor negro	310,18
Lixo urbano	26,3

Fonte: Aneel(2001)

2.1.2.4Energia Solar

Segundo Goldemberg [1977], a energia solar é o aproveitamento da energia gerada pelo sol. É um tipo de energia inesgotável que fornece energia, tanto em forma de luz como de calor, e é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para solucionar a escassez energética global.

Dentre as diversas formas de se captar a energia solar, a energia solar fototérmica e a energia solar fotovoltaica se destacam.

2.1.2.4.1 Energia Solar Fototérmica

Segundo o Portal Ambiente Brasil [2009], nesse tipo de geração de energia, utiliza-se a energia solar na forma de calor através da radiação solar. Para produzir esse tipo de energia são necessárias técnicas de captação e armazenamento. Os equipamentos mais eficientes para fazer a captação desse tipo de energia são os chamados coletores solares.

Os coletores solares são basicamente aquecedores de fluídos (líquidos ou gases) e podem ser classificados de duas formar distintas; coletores concentrados ou coletores planos e sendo a

classificação feita em função da existência ou não de dispositivos de concentração de radiação solar.

O fluído aquecido é armazenado em reservatórios termicamente isolados até a utilização final do mesmo, como por exemplo, a água aquecida para banho e ar quente para secagem de grãos.

Os coletores solares planos estão sendo largamente utilizados em hotéis e residências para aquecimento de água. A utilização desses coletores reduz consideravelmente o consumo de energia elétrica, pois substituem os chuveiros elétricos, que são responsáveis por grande parte do consumo de energia elétrica nos hotéis e residências.

2.1.2.4.2 Energia Solar Fotovoltaica

Segundo o Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica [2008], a energia solar fotovoltaica é a transformação direta da energia solar em forma de luz em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico é o surgimento de uma diferença de potencial elétrico de uma estrutura de material semicondutor produzido por conta da absorção de luz solar. A célula fotovoltaica é a unidade básica do processo de conversão da luz em eletricidade.

A Figura 2 mostra o circuito representativo da célula fotovoltaica ideal.

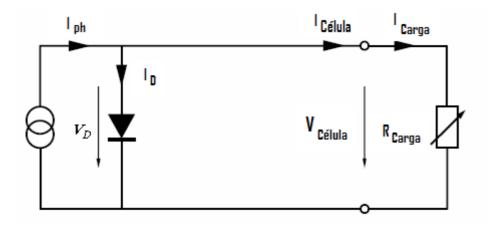


Figura 2- Circuito representativo da célula fotovoltaica ideal

As equações do circuito representada na Figura 2 são:

$$I_{C \in lula} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_D * (e^{\frac{qv}{kt}} - 1)$$
 2.1

21

$$V_{C\acute{e}lula} = V_D$$
 2.2

Onde:

 I_{ph} : Fotocorrente, ou corrente gerada pela luminosidade (A)

 I_D : Corrente de saturação do diodo (A)

K: Constante de Boltzmann (k=1,38*10⁻²³)

q: Carga do elétron (q=1,602*10⁻¹⁹ C)

t: Temperatura da célula (⁰K)

e: Constante Neperiana (e=2,71828)

v= Diferença de potencial

 $V_{C\acute{e}lula}$: Diferença de potencial da Célula

 V_D : Diferença de pontencial no Diodo

Um dos grandes impulsionadores dessa tecnologia foi a busca de uma tecnologia adequada para gerar energia para os veículos espaciais. As células solares foram e continuam sendo a melhor opção no que se refere a custo e peso para fornecer energia necessária por longos períodos de permanência no espaço. A necessidade de geração de energia para os satélites foi também um grande impulsionador dessa tecnologia.

Com a crise energética de 1973, ampliou-se o interesse em utilizar essa tecnologia em aplicações terrestres. Porém, para viabilizar a utilização terrestre dessa tecnologia, seria necessário reduzir os custos de fabricação das células em torno de 100 vezes em relação ao custo das células solares utilizadas na exploração espacial.

O silício, segundo mais abundante elemento químico da natureza tem sido o elemento mais utilizado na fabricação das células solares. Ele tem sido explorado de diversas formas:

22

monocristalino, policristalino e amorfo. No entanto, é intensa a busca por materiais

alternativos, onde se concentra na área de filmes finos, nos quais o silício amorfo se encontra.

Células de filmes finos, além de necessitar de uma quantidade menor de material do que as

que apresentam estruturas cristalinas, consomem menos energia no seu processo de

fabricação, portanto possuem uma maior eficiência energética.

As células fotovoltaicas têm um grande inconveniente; elas produzem uma baixa tensão e

baixa corrente de saída. Para sanar esse inconveniente, fazem-se agrupamentos de células que

podem ser em série ou em paralelo, formando-se assim um módulo fotovoltaico.

Ligando-se várias células em paralelo, a resultante desse agrupamento é uma célula com a

mesma tensão e corrente igual a soma das correntes individuais de todas as células. A

corrente produzida é contínua, mas a tensão é muito baixa, em torno de 0,7 V o que torna

esse tipo de agrupamento não muito viável.

Ligando-se várias células em série, obtém-se uma célula resultante com a corrente nominal

igual à corrente nominal de uma célula do agrupamento e com tensão igual à soma de todas

as tensões das células do agrupamento. Esse tipo de arranjo é mais utilizado na prática, no

qual se arranjam células em série de tal forma a obter uma tensão de saída de 12 V que

possibilita o carregamento de acumuladores (baterias) que operam na faixa de tensão de 12

V.

Para ligações em série, corre-se o risco de haver uma célula defeituosa dentre o arranjo, o que

atrapalharia todo o funcionamento do agrupamento. Para evitar esse tipo de problema, utiliza-

se um diodo de passo ou de by pass. Esse diodo serve como um caminho alternativo para a

corrente e limita a dissipação de calor na célula defeituosa.

Na maioria das vezes, a potência dos módulos é dada pela potência de pico. Além da potência

de pico, existem outros parâmetros importantes de um módulo. Algumas das mais conhecidas

são:

Voc: Voltagem de circuito aberto

Isc: Corrente de curto circuito

Pm: Potência máxima

Vmp: Voltagem de potência máxima

I_{PM}: Corrente de potência máxima.

Dentre os fatores que influenciam as características elétricas de um painel, os mais importantes são: intensidade luminosa e temperatura das células. A corrente gerada nos módulos é diretamente proporcional ao aumento da intensidade luminosa, porém o aumento da temperatura na célula diminui a eficiência do módulo, baixando assim, os pontos de operação para potência máxima gerada. Sabendo-se disso, há necessidade de manter a temperatura dentro das células em um patamar baixo.

Os sistemas fotovoltaicos obedecem a uma unidade básica de configuração onde o sistema deverá ter uma unidade de controle de potência e também uma unidade de armazenamento. Esses sistemas podem ser classificados em três categorias distintas: sistemas isolados, híbridos e conectados à rede.

Os sistemas isolados normalmente utilizam alguma forma de armazenamento de energia, que pode ser feito através de baterias, por exemplo. Nos sistemas que necessitam de armazenamento de energia em baterias, é necessário um dispositivo de controle de carga e descarga na bateria. Esse dispositivo tem a finalidade de evitar danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda. Esse tipo de dispositivo é usado em sistemas pequenos onde os aparelhos utilizados são de corrente contínua e de baixa tensão. Já para os circuitos de corrente alternada, é necessário um inversor, que serve para dar mais conforto na utilização de eletrodomésticos convencionais.

Os sistemas híbridos são aqueles que apresentam várias fontes de geração de energia, como por exemplo; turbinas eólicas, queima de diesel, módulos fotovoltaicos. Geralmente os sistemas híbridos são utilizados para sistemas de médio a grande porte. Esse tipo de sistema também necessita de um inversor, pois trabalha com cargas de corrente contínua.

Os sistemas interligados à rede não utilizam armazenamento de energia, então toda a energia gerada é entregue diretamente na rede.

2.1.2.4.3 Radiação Solar

Segundo Goldenberg [1977], o sol fornece uma quantidade de energia 10000 mil vezes superior ao consumo mundial. Pode-se concluir que, além de ser responsável pela manutenção da vida terrestre, a radiação solar constitui uma fonte inesgotável de energia,

tendo assim, um enorme potencial de utilização tanto na captação como na conversão em outra forma de energia.

Apenas uma pequena fração da radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera atinge a superfície terrestre, devido a absorção e reflexão dos raios solares pela atmosfera. Essa pequena fração que atinge o solo é composta por duas componentes: componente direta e componente difusa.

Antes de atingir o solo, algumas das características da radiação sofrem modificações na atmosfera devido aos efeitos de absorção e espalhamento. Dentre essas características estão intensidade, distribuição angular e espectral. Essas modificações dependem da espessura da camada atmosférica, identificada por um coeficiente denominado Massa de Ar. Essas modificações são ainda dependentes do ângulo zenital do sol, da distância terra-sol e das condições atmosféricas e meteorológicas.

É necessário um sistema de armazenamento adequado para estocagem da energia convertida, pois há uma grande variabilidade do recurso energético solar, devido à alternância de dias e noites, das estações do ano e períodos chuvosos.

Para se determinar a influência das condições climáticas e meteorológicas, é necessária a medição da radiação solar, tanto da componente direta como da componente difusa. Para se obter um maior aproveitamento ao longo do ano, pode-se utilizar o histórico das medições da radiação solar, viabilizando-se assim, as instalações de sistemas térmicos e fotovoltaicos.

Há vários tipos de instrumentos para mediação da radiação solar. Eles são classificados de acordo com a precisão; de referência ou padrão, instrumentos de primeira, segunda e terceira classe.

Dentre os vários tipos de instrumentos de medição, tem-se; piranômetros, que medem a radiação global, pireliômetros, que medem a radiação direta, heliógrafo, que mede a duração do brilho solar e o actinógrafo, que mede a radiação global segundo o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia, 2009).

2.1.2.4.4 Perspectivas Futuras para a Energia Solar

Segundo o portal Progresso Verde [2008], o limitante para o emprego mais usual da energia solar é a tecnologia para a captação da radiação solar. Alguns pesquisadores da Califórnia desenvolveram uma forma de tornar a energia solar até vinte vezes mais barata. O projeto, que foi apoiado pelo governo americano, deve promover grandes mudanças na arquitetura do futuro. Quando os arquitetos projetarem edifícios e casas futuramente, eles poderão trocar, por exemplo, telhas de barro ou cerâmica por telhas solares, janelas de madeira por janelas solares. E, no lugar de pintar as paredes com cores claras de tinta normal, será possível usar um líquido cinzento que pode gerar energia, a chamada tinta solar.

Estima-se que o potencial da energia solar tem um potencial tão grande que chegará a atrair US\$ 85 bilhões em investimentos. Por exemplo, o Google Inc., a Chevron Corp. e o Goldman Sachs Group Inc. estão apostando que este tipo de energia se tornará mais barata que o carvão. Essa sociedade mantém uma usina que usa luz solar concentrada para gerar energia para até 112500 residências no sul da Califórnia. A alta dos preços de gás e os limites sobre a emissão de dióxido de carbono podem transformar a energia solar termosolar na fonte de combustível de crescimento mais rápido na próxima década.

3. Metodologia

A idéia inicial proposta pela COMARA era estudar a viabilização da implementação de um tipo de energia renovável em suas obras na Amazônia. Partindo-se dessa proposta, foi feito um estudo prévio sobre as necessidades energéticas da COMARA e as possíveis fontes de energias renováveis disponíveis.

A principal peculiaridade da demanda energética nessas obras na Amazônia é que se trata de uma demanda pontual, pois se necessita de uma grande quantidade de energia, mas só durante o período em que a obra está sendo executada. Além disso, a obra não funciona durante todo o ano, pois, como na Amazônia há um período longo de chuvas, e os tipos de obra que a COMARA executa não podem ser executados durante o período chuvoso, então resta o curto período do ano no qual é possível trabalhar.

Partindo-se das peculiaridades e do tipo de demanda energética da COMARA, foram estudadas as principais fontes de energia renováveis disponíveis. Primeiramente, foi feito um estudo prévio sobre a viabilidade da utilização da energia hidráulica como fonte energética, na forma de hidrelétrica. Embora essa seja a principal fonte de energia do país, essa fonte foi considerada causadora de muitos impactos ambientais, tais como; inundação de grandes áreas, essa inundação danifica sítios arqueológicos, indisponibiliza terras férteis; provoca pequenos tremores de terra, devido ao peso da água e às acomodações do terreno. E essa quantidade de impactos não justifica a demanda exigida pelo o tipo de obra em questão. Além disso, depois de concluída a obra, haveria uma grande fonte de energia que seria difícil de ser aproveitada, pois a maioria das obras fica localizada em regiões bem afastadas de centros urbanos.

Em seguida, foi feito o estudo a respeito da energia Eólica. Esse tipo de fonte de energia, apesar de ser uma das mais limpas, necessita de um grande investimento inicial e tem um alto custo de instalação, pois há uma grande dificuldade em transportar as hélices e os geradores, pois são de grandes dimensões. Esses problemas inviabilizam a utilização desse tipo de fonte de energia, pois, para o tipo de demanda das obras em questão, busca-se uma fonte de energia em que seja possível locomover facilmente os equipamentos necessários após o término da obra. Há um problema muito grande com passáros que morrem ao se chocarem com as hélices. Na Europa há muitos grupos ativistas contra esse tipo de geração de energia.

Foram estudadas ainda as fontes de energias do tipo biomassa, mas como a idéia principal do projeto é a utilização de uma fonte de energia limpa para diminuir os impactos ambientais na Amazônia, então essa fonte foi descartada.

Por final, foi feito um estudo sobre a energia solar. Essa fonte de energia renovável é considerada, segundo Goldemberg, [1977], a fonte dominante de energia no planeta, representando 99,98% do total. Derivam dela, direta ou indiretamente, as fontes renováveis de energia como energia hidráulica e produtos da fotossíntese, entre os quais a própria vida, e as não-renováveis como carvão, petróleo, gás natural e xisto. Além de tudo isso, a energia solar é considerada uma das fontes mais limpas de energia. Considerando que os painéis coletores de energia solar são de fácil locomoção e todos os equipamentos necessários para a geração de energia através dessa fonte sejam de fácil instalação e bem fáceis de se transportar, essa fonte foi considerada a mais adequada para as necessidades requeridas pela

COMARA, portanto esse trabalho se dedica a estudar a viabilidade da utilização dessa fonte de energia de forma que essa seja utilizada da maneira mais eficiente possível.

Após a escolha da energia solar como melhor opção como fonte de energia para as necessidades da COMARA, foi feito um estudo sobre o potencial energético desse tipo de fonte. Esse foi baseado em três fontes principais de dados; o projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment), Atlas Solarimétrico do Brasil e os dados sobre radiação das PCDs (Plataformas de Coleta de Dados). Esses três projetos possibilitaram estimar o potencial energético desse tipo de fonte nas regiões onde a COMARA realiza suas obras e no período no qual essas obras estão ativas.

Esse estudo em relação ao potencial energético não é levado em conta quando as empresas especializadas nesse tipo de geração de energia fazem o projeto para uma determinada obra no país. Essas empresas fazem uma simplificação da capacidade energética do país e trabalham com uma média anual que elas consideram constante no decorrer do ano. Porém, como esse trabalho também tem o intuito de utilizar da melhor forma possível essa fonte de energia limpa, esses dados dessas três fontes serviram para potencializar a geração de energia, utilizando-a da forma mais eficiente possível.

A COMARA trabalha geralmente com o mesmo tipo de obra, mas a magnitude dessas obras difere muito. Existem obras de construção de aeroporto inteiro e outras só de reparos em um aeródromo já existente, portanto seria inviável calcular a viabilidade da utilização da energia solar em todos os tipos de canteiro de obra. Considerou-se mais adequado para esse trabalho foi estimar os custos da utilização da atual fonte de energia, queima de combustíveis fósseis, e estudar os custos da utilização da energia solar para uma obra recente, para a qual os dados referentes aos custos estejam acessíveis para, a partir disso, ser possível fazer uma comparação entre os custos das duas fontes de energia e uma comparação geral entre danos e os benefícios. A partir disso, a obra da COMARA de Palmeiras do Javari foi considera uma boa obra para ser a base do estudo. Essa obra é de Ampliação e reforço da pista de pouso e decolagem, que o tipo de obra mais comum atualmente na COMARA. Além disso, essa obra possui todos os prédios do canteiro padrão, conceito que será explicado no capítulo referente à COMARA.

Como não é possível suprir toda a demanda do canteiro com energia solar, então a comparação será feita, levando-se em conta que, para suprir a demanda do canteiro inteiro,

desconsiderando-se as usinas, não será possível substituir totalmente os geradores de energia a base de queima de combustíveis fósseis pela energia solar. Para se utilizar a geração de energia através da energia solar, ainda será necessária a geração complementar de energia por queima de combustíveis fósseis, pois a energia solar tem limitações tecnológicas que restringem a potência e a corrente geradas pela a mesma. Em função disso, se propôs a substituição dos geradores atuais por geradores de menor capacidade. Com isso, para se calcular o custo da geração de energia solar, foi levado em conta o emprego desses geradores de menor capacidade que gerarão energia para os equipamentos que a energia gerada pela energia solar não for capaz de suprir. Os custos serão considerados para o período de dois anos, período médio de uma obra como a de Palmeiras do Javari. Para calcular os custos fixos e variáveis e distribuir nesse período, será considerada uma taxa de juros anual de 10% para fazer a análise comparativa usando o conceito de custo de oportunidade para os custos fixos, como os geradores e os equipamentos para gerar energia solar. Já para fazer um comparativo, para o período de dois anos, para os custos variáveis, como o combustível, por exemplo, foi utilizada a taxa de inflação de 5%, que foi a registrada pelo o IPCA, Índice Nacional de Preços do Consumidor, para o ano de 2009.

Além da comparação financeira, foram levados em conta outros benefícios indiretos, tais como: Geração de energia limpa, diminuindo os impactos ambientais na Amazônia, valorização de novas tecnologias entre outros.

Para o levantamento dos custos da geração de energia através da queima de combustíveis fósseis, foram levados em conta, dentre outros custos:

- Custo dos geradores;
- Manutenção dos geradores;
- Óleo diesel, Combustível fóssil;
- Transporte do combustível e dos geradores;
- Armazenamento do combustível;
- Custo de mitigação para eventuais vazamentos tanto no transporte como no armazenamento do combustível, podendo causar poluição de rios e de solo;
- Custo de mitigação devido à poluição do ar causada pela queima de combustíveis fósseis

Os custos dos geradores foram fornecidos por empresas especializadas nesse tipo de equipamento. Já os custos de manutenção dos geradores, custos do combustível, transporte e armazenagem do combustível serão fornecidos pela COMARA. Os custos de mitigação para eventuais vazamentos, tanto no transporte como no armazenamento e para mitigação da poluição do ar causada pela queima de combustíveis fósseis serão estimados.

O orçamento dos custos dos equipamentos para a geração de energia solar é feito por empresas especializadas nesse tipo de geração de energia.

Para o levantamento dos custos da geração de energia solar, são levados em conta, dentre outros custos:

- Equipamentos responsáveis pela geração de energia solar, tais como; painéis fotovoltaicos, inversores, controladores de carga, fios, baterias etc
- Manutenção dos equipamentos;
- Transporte dos equipamentos e
- Equipamentos que possam funcionar com a voltagem de saída gerada pelos painéis.

4. Comara

Segundo o portal da COMARA [2009], esta comissão tem como objetivo: projetar, construir, equipar e recuperar os aeroportos da região amazônica ou em outras regiões do país e executar obras civis para órgãos da administração federal, estadual ou municipal Mediante Convênios, desde que Sejam do Interesse do Comando da Aeronáutica.

A COMARA foi criado em Dezembro de 1956, através do Decreto nº 40.551. O objetivo inicial era construir, ampliar e pavimentar 56 pistas de pouso e decolagem nas principais cidades. Após isso, surgiu a estratégia de criar uma malha de pistas distantes uma das outras em 300 km.

Com pouco mais de cinquenta anos de atuação, a COMARA já realizou obras de pavimentação em aeródromos de pelo menos 150 municípios. Realizou também mais de setenta obras de reformas de edificações aeroportuárias e vias públicas. Além dessas obras, apoiou diversos órgãos federais, Exército, Marinha, FUNAI (Fundação Nacional do Índio),

SUDAN (Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia), INFRAERO(Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária), dentre outros. A Figura 3 representa as localidades onde a COMARA já atuou.

Atualmente a COMARA está com obras em 14 localidades, que trabalham com infraestrutura aeroportuária e edificações distribuídas pelos estados do Amapá, Pará, Amazonas, Rondônia e Acre.

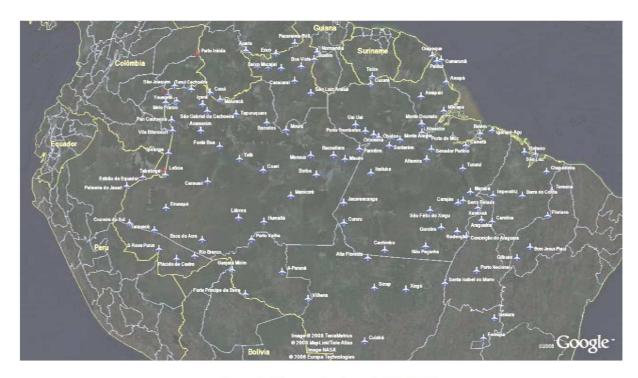


Figura 3- Obras realizadas pela COMARA

Fonte: Google

A Figura 4 representa as localidades onde a COMARA está atuando atualmente.

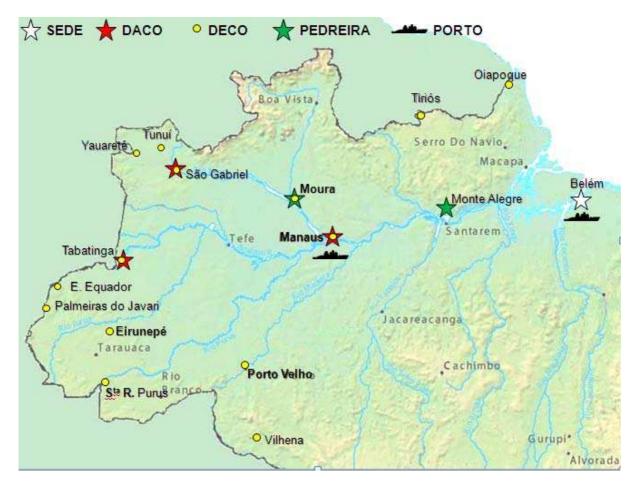


Figura 4-Obras atuais da COMARA

Fonte: COMARA

3.1 Desafios da COMARA

Por trabalhar em regiões de difícil acesso, com falta de insumos e solos ruins para a pavimentação, a COMARA tem que enfrentar muitos desafios na Amazônia, dentre eles:

- Transportar equipamentos e insumos via fluvial;
- Desenvolver soluções para melhorar a qualidade do solo para a pavimentação;
- Desenvolver processos e técnicas para a redução de custos;
- Trabalhar em locais isolados;
- Vencer doenças tropicais;
- Coordenar logística e engenharia com as épocas de chuvas;
- Construir preservando a floresta;
- Coordenar questões indígenas;
- Vencer grandes distâncias.

3.2 Recursos da COMARA

A COMARA conta com uma quantidade de recursos grande e variada.

Para o transporte do pessoal e de insumos, a COMARA conta com o apoio do COMGAR (Comando Geral da Aeronáutica) que realiza o transporte aéreo e que chega a transportar 500 toneladas por ano para as obras dessa comissão.

Grande parte do transporte de insumos é feito via transporte fluvial. A COMARA dispõe de 8 empurradores e 14 balsas próprias para realizar o transporte de materiais. Esse tipo de transporte movimenta em média 40.000 toneladas de materiais por ano. Dentre esses insumos transportados tanto via fluvial como via aérea tem-se: cimento, brita, seixo, areia, equipamentos em geral tais como; tratores, retroescavadeiras. Dentre esses equipamentos, a COMARA dispõe de mais de 700 equipamentos de grande porte.

Além da grande quantidade de recursos em transportes e equipamentos, há uma quantidade relativamente grande de recursos humanos:

- 41 oficiais;
- 165 graduados e praças;
- 195 civis permanentes;
- 783 civis temporários

A COMARA conta ainda com alguns destacamentos de apoio, estrategicamente localizados. Os destacamentos de apoio mais importantes são:

- DACO-MN: Departamento de apoio da COMARA de Manaus que dá apoio a todas as obras;
- DACO-UA: Departamento de apoio da COMARA de São Gabriel da Cachoeira que dá apoio às obras de Yauaretê e Tunuí Cachoeira;
- DACO-TT: Destacamento de apoio da COMARA de Tabatinga que dá apoio às obras de Palmeiras do Javari e Estirão do Equador.

Além dos destacamentos de apoio, ainda existem dois portos:

- Belém: Porto e estaleiro. Fábrica e reforma empurradores, balsas e dragas;
- Manaus: Entreposto para despacho de insumos e equipamentos às diversas obras da COMARA.

Para suprir as necessidades de insumos de brita, a COMARA dispõe de duas pedreiras:

- Monte Alegre: Produz brita calcária e tem uma produção anual superior a 30.000 toneladas;
- Moura: Produz brita granítica e tem uma produção anual superior a 30.000 toneladas.

A Tabela 2 mostra as atuais obras da COMARA, especificando a localidade e o tipo de cada obra.

Tabela 2- Obras da COMARA

Localidade	Estado	Tipo de Obra	
	Amazonas	Construção do Aterro e pavimentação do pátio	
Manaus		Construção dos Anexos do Hangar	
Ivianaus		Infraestrutura do Prédio Simulador C105	
		Reforma do TPS da BAMN	
Tiriós	Pará	Ampliação e reforço da pista de pouso e decolagem	
Surucucu	Roraima	Recuperação de defeitos na pista e novo revestimento	
Yauaretê	Amazonas	Ampliação e reforço da pista de pouso e decolagem	
Moura	Amazonas	Pavimentação da pista de pouso e decolagem	
Moura		Recuperação das instalações da COMARA	
Estirão do Equador	Amazonas	Ampliação e reforço da pista de pouso e decolagem	
Tunuí Cachoeira	Amazonas	Ampliação e reforço da pista de pouso e decolagem	
Palmeiras do Javari	Amazonas	Ampliação e reforço da pista de pouso e decolagem	
Eirunepé	Amazonas	Ampliação do pátio em asfalto com ilhas de concreto	
Enunepe		Construção da Nave Central do Hangar do NUBAEI	
Santa Rosa do Purus	Acre	Ampliação e reforço da pista de pouso e decolagem	
Vilhena	Rondônia	Construção do pátio e pista de rolamento para implamentação do NUBAVH	
	Amazonas	Recapeamento da pista de pouso	
Barcelos		Reforma da cerca operacional	
		Construção de ilhas de concreto cimento	
	Amazonas	Reforma da cerca operacional	
Parintins		Readequação do TPS	
r at illulis		Equipamentos de segurança e contra-incêndio	
		Materiais de contra-incêndio	

4. FONTES DE DADOS PARA MEDIDAS DE RADIAÇÃO E INSOLAÇÃO

4.1 Uso das PCDs

Segundo o Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos, CPTEC 2009, as PCDs (Plataformas de Coleta de Dados) são estações automáticas que coletam, armazenam e transmitem, via satélite, vários tipos de dados, tais como: temperaturas do ar, máxima e mínima; umidade relativa do ar; direção e velocidade dos ventos; radiação solar; pressão atmosférica; precipitação pluviométrica; temperatura e umidade do solo a 10, 20 e 40 cm de profundidade. Para obter esses dados, as PCDs possuem sensores específicos para coletar cada tipo de dado.

Os sensores que podem estar presentes nas PCDs são: ultrasônico de vento, temperatura e URL, Radiação global e PAR, Precipitação- Pluviômetro, Pressão atmosférica-Barômetro, Radiação total líquida ou Saldo Radiômetro, Temperatura do Solo e Fluxo de Calor no solo.

Sensor Ultrasônico de Vento

Segundo CPTEC/INPE [2009], o sensor ultra-sônico de vento é um instrumento que determina a direção e a velocidade horizontal do vento. Possui um circuito eletrônico com um micro-controlador que captura e processa os sinais e realiza comunicação serial com a PCD.

Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Esta combinação de Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar foi projetada para aplicações meteorológicas e seus respectivos elementos sensores estão localizados dentro de um único invólucro protegido por um filtro poroso (goretex) o qual garante que ambos estejam amostrando as mesmas condições e protegidos contra poeira e água.

Sensor de Radiação Global e PAR

Os sensores de Radiação Solar Global e de Radiação Fotossintética Ativa ou, do Inglês, PAR (Photosynthetically Active Radiation) são funcionalmente semelhantes: ambos fornecem uma corrente elétrica proporcional à radiação solar recebida do hemisfério centrado na direção perpendicular ao eixo de montagem do dispositivo sensor.

Sensor de Precipitação ou Pluviógrafos

O Sensor de Precipitação ou Pluviômetro é um instrumento destinado a medir a precipitação acumulada num intervalo de tempo. O Sensor de Precipitação utilizado nas Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) é o Pluviômetro de Báscula ou "Rain Gauge Tipping Bucket", em Inglês. Consiste de um funil com 200 mm de diâmetro de abertura o qual recolhe a chuva e

encaminha para um sistema de básculas alternadas que é constituído de uma haste apoiada em seu centro com conchas nas extremidades.

Sensor de Pressão Atmosférica- Barômetro

O princípio de funcionamento do elemento sensor baseia-se na variação da capacitância de uma cápsula de cerâmica. A deformação simétrica da cápsula de cerâmica é proporcional à pressão a que está submetida.

Sensor de Radiação Total Líquida ou Saldo Radiômetro

Este sensor mede a Radiação Total Líquida que é a diferença entre a Radiação Incidente Hemisférica Total e a Radiação Refletida Hemisférica Total. A unidade de medida apresentada por esse sensor é W/m².

Sensor de Temperatura do Solo

Esse sensor é utilizado para aplicações onde a temperatura do solo é um dado necessário, como para alguns tipos de plantações específicas. Esse sensor pode medir ainda a temperatura da água. Esse sensor é um tipo de termistor que possui um resistor que varia a resistência de acordo com a temperatura a qual está submetida.

Sensor de Fluxo de Calor no Solo

O Transdutor de Fluxo de Calor é projetado para medir o fluxo de calor nos solos. O elemento sensor do transdutor de fluxo é uma termopilha encapsulada em epóxi de alta condutividade térmica.

4.1.1 Sistema de Coleta de Dados

Segundo o Centro de Previsõe de Tempo e Estudos Climáticos, CPTEC 2009, o sistema de coleta de dados brasileiro é constituído por um conjunto de três satélites, a parte espacial do sistema, pelas plataformas de coletas de dados espalhadas pelo território basileiro, pelas estações de recepção localizadas em Cuiabá e em Alcântara e pelo Centro Missão de Coleta de Dados. A Figura 5 representa o sistema de coleta de dados brasileiro, mostrando cada um dos constituintes desse sistema.



Figura 5-Sistema de Coleta de Dados Brasileiro

Fonte: CPTEC

Nesse sistema de coleta de dados, os satélites funcionam como espelhos que retransmitem os dados enviados pelas plataformas. Desta forma, os dados são enviados das plataformas e os satélites retransmitem esses dados para estações de recepção localizadas em Cuiabá e Alcântara. As plataformas são geralmente configuradas para enviarem em torno de 32 bytes de dados úteis a cada 200 segundos.

Há ainda o Centro de Missão de Coleta de Dados situado em Cachoeira Paulista que recebe os dados enviados pelas estações de recepção. Esse Centro faz o processamento, armazenamento e disseminação dos dados para os usuários.

4.1.2 As PCDs e as Obras da Comara

Em algumas obras da Comara, como a de São Miguel da Cachoeira, existem plataformas de coleta de dados, mas, na maior parte das obras da Comara, não há na região da obra PCDs.

A Figura 6 representa as PCDs existentes nos estados do Pará e do Amazonas, onde se encontram quase a totalidade das obras da COMARA. Como a legenda da figura informa, os pontos amarelos mostrados nos mapas representam Plataformas de Coleta de Dados

Agrometereológicas, os pontos vermelhos, plataformas meteorológicas e os pontos azuis, plataformas hidrometeorológicas.



Figura 6- PCDs existentes nos estados do Pará e do Amazonas

Fonte: CPTEC

Caso as obras não possuam PCDs na região, pode-se utilizar os dados das plataformas mais próximas a essas obras.

4.1.3 Análise de Dados da PCD de Ji-Parana-RO

Para fazer uma análise mais profunda sobre a radiação na Amazônia, foi escolhida a PCD de Ji-Parana no estado de Rondônia para analisar os dados fornecidos pelo CPTEC/INPE para o ano de 2008. Essa PCD foi escolhida, pois é uma plataforma bem representativa da Amazônia e contém os dados de radiação acumulada para todos os dias do ano de 2008, portanto essa PCD é uma boa fonte para a análise.

A partir dos dados de radiação acumulada da PCD de Ji-Parana do ano de 2008, foram feitos gráficos para todos os meses do ano de 2008. As figuras 7 a 18 apresentam valores diários das radiações acumuladas nas ordenadas para cada dia do mês em análise.

Em alguns meses, existem alguns dias em que não foi registrada a radiação acumulada, por isso, nesses dias, os dados de radiação acumulada não foram computados, o que ocasiona a presença de lacunas em alguns gráficos.

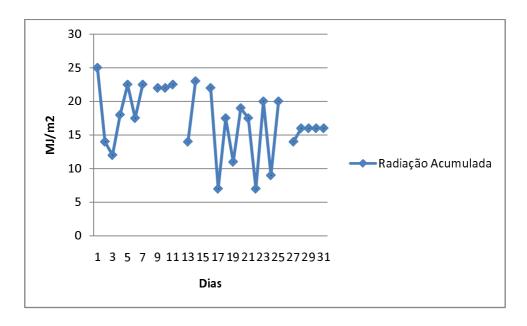


Figura 7- Radiação acumulada do mês de Janeiro na PCD de Ji-Parana

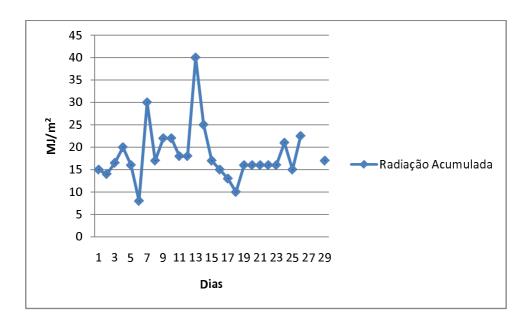


Figura 8-Radiação acumulada do mês de Fevereiro na PCD de Ji-Parana

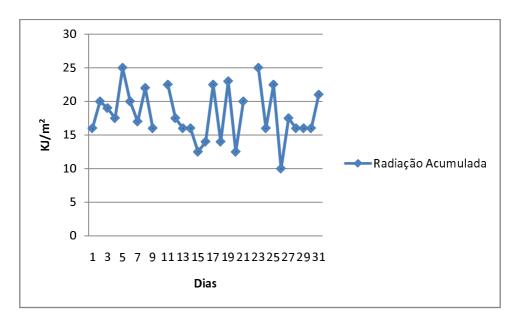


Figura 9- Radiação acumulada do mês de Março na PCD de Ji-Parana

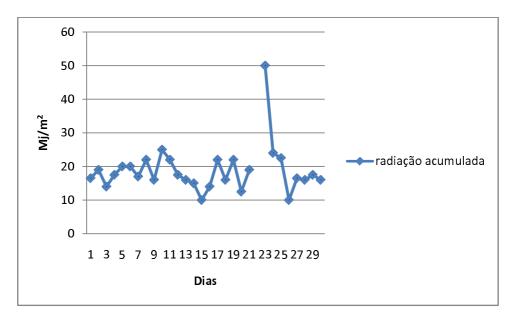


Figura 10-Radiação acumulada do mês de Abril na PCD de Ji-Parana

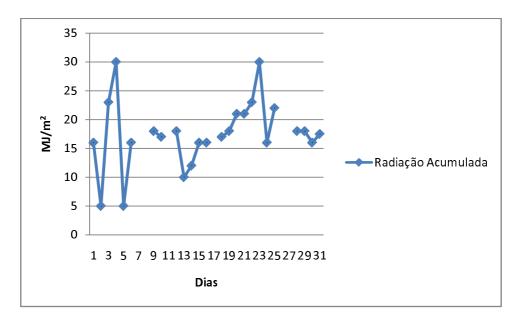


Figura 11-Radiação acumulada do mês de Maio na PCD de Ji-Parana

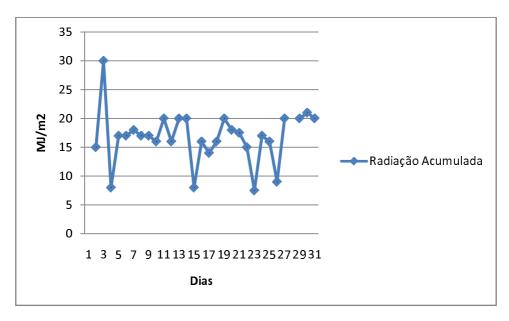


Figura 12- Radiação acumulada do mês de Junho na PCD de Ji-Parana

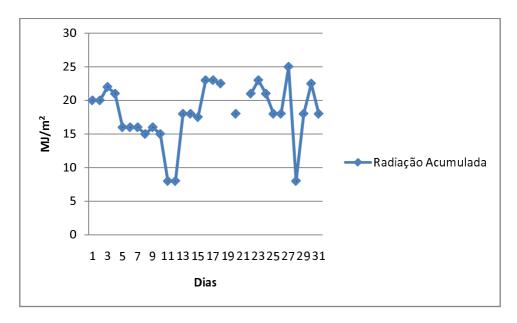


Figura 13- Radiação acumulada do mês de Julho na PCD de Ji-Parana

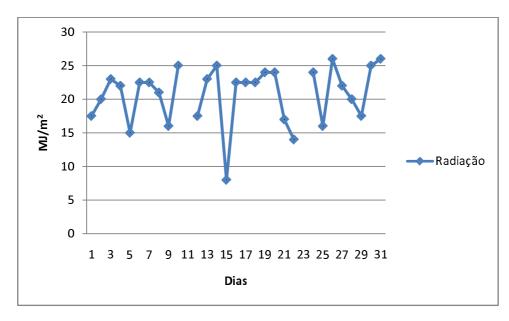


Figura 14- Radiação acumulada do mês de Agosto na PCD de Ji-Parana

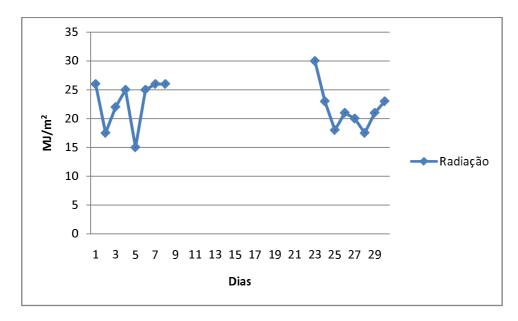


Figura 15- Radiação acumulada do mês de Setembro na PCD de Ji-Parana

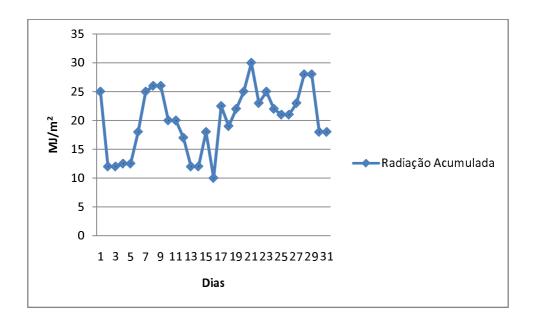


Figura 16- Radiação acumulada do mês de Outubro na PCD de Ji-Parana

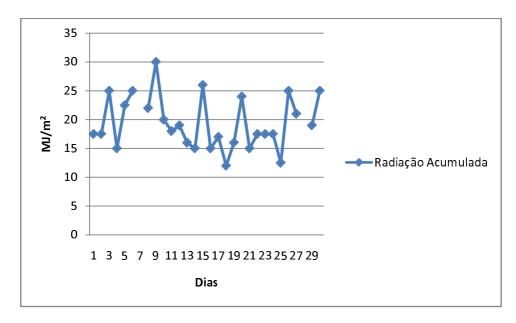


Figura 17- Radiação acumulada do mês de Novembro na PCD de Ji-Parana

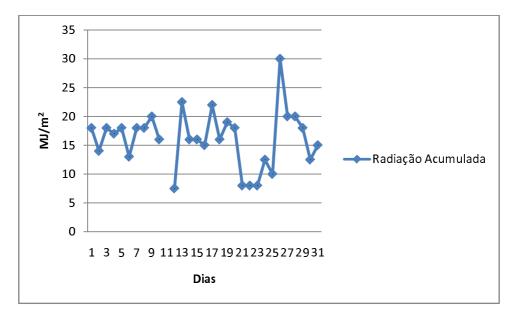


Figura 18- Radiação acumulada do mês de Dezembro na PCD de Ji-Parana

ATabela 3 apresenta os valores das médias diárias das radiações acumuladas de todos os meses do ano de 2008 e o desvio padrão dos valores diários de radiação acumulada desses mesmos meses.

Tabela 3-Médias mensais da radiação acumulada e desvios padrão dos dados de cada dia do mês em Ji-Parana, em 2008

Mês	Radiação média (MJ/m2)	Desvio padrão
Janeiro	17,5	4,98
Fevereiro	16,5	6,2
Março	17,5	3,84
Abril	16,7	7,1
Maio	17,5	6,01
Junho	17	4,57
Julho	18	4,42
Agosto	22,5	4,23
Setembro	22,5	4,02
Outubro	21	5,26
Novembro	17,75	4,51
Dezembro	16,5	4,91

Observando-se a Tabela 3, os valores de radiação acumulada apresentam uma média mínima no mês de Fevereiro de 16,5 MJ/m², ou seja, a radiação incidente na Amazônia tem valores elevados mesmo no mês de menor média.

4.2 Projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment)

Segundo Martins F. R. e Pereira, [2005], o projeto SWERA objetiva facilitar a inclusão de fontes de energia renováveis na matriz energética de um grupo de países selecionados para esse projeto. Atualmente, os países participantes desse projeto estão divididos em três grandes regiões: África, América Latina e Ásia. No Brasil e América Latina, o Centro de Previsões do tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) por meio da Divisão de Clima e Meio Ambiente (DMA) é responsável pela coordenação das atividades de projeto. As principais metas estabelecidas para o desenvolvimento do projeto foram:

- Desenvolvimento de uma base de dados confiável, consistente e acessível a diversos setores da sociedade com o intuíto de disseminar informação embasada no conhecimento científico sobre a extensão e localização de regiões com maior potencial de aproveitamento dessas fontes renováveis de energia;
- Integração da base de dados dos recursos energéticos renováveis com outras bases de informações tais como infraestrutura disponível, dados sócio-econômicos, parâmetros climáticos e ambientais a fim de reduzir as incertezas associadas com o planejamento e investimento no uso de fontes de energia solar e eólica.

Diversos modelos computacionais foram adotados no projeto SWERA para obtenção dos mapas de irradiação solar para as regiões nas quais o projeto engloba. O modelo BRASIL-SR foi utilizado para o desenvolvimento do projeto no Brasil e na América Latina.

Ainda segundo Martins e Pereira, [2005], os mapas de irradiação solar para o território brasileiro e América do Sul foram obtidos utilizando-se o modelo de transferência radiativa BRASIL-SR que foi desenvolvido pela parceria entre o INPE e o LABSOLAR/UFSC(Universidade Federal de Santa Catarina). A obtenção de uma estimativa da radiação solar incidente na superfície utilizando o modelo BRASIL-SR está atrelada a três conjuntos de informações:

- Valores climatológicos de temperatura, visibilidade, umidade relativa e albedo de superfície;
- Dados digitais extraídos de imagens de satélite;
- Aplicação do "Método de Dois-Fluxos" (Martins, 2001) para a solução da equação de transferência de radiação na atmosfera.

O modelo BRASIL-SR assume que o fluxo de radiação do sol no topo da atmosfera está linearmente distribuído entre as duas condições extremas: céu claro e céu encoberto (Martins [2001], Pereira et al., [2000]. O modelo também assume que existe uma relação linear entre a irradiância global na superfície e o fluxo de radiação refletida no topo da atmosfera.

A Erro! Fonte de referência não encontrada. apresenta os mapas de radiação solar global média mensal para o território brasileiro obtidos com o uso do modelo BRASIL-SR a partir de dados climatológicos e imagens de satélite GOES-8 para o ano de 2000.

Como se podia esperar, o Brasil possui uma grande disponibilidade de recursos de energia solar em todo o seu território devido a sua localização predominantemente tropical. Os valores mais elevados de fluxo de radiação são observados na região central do país durante a estação do verão. É bem interessante perceber que, durante o verão, os valores de radiação solar global observados na região Sul do país são superiores aos valores obtidos, no mesmo período, para a região Norte. Esse fato interessante ocorre devido ao deslocamento da zona de convergência intertropical que acarreta a maior freqüência de nebulosidade e alta pluviosidade observada na região amazônica durante esta estação do ano.

Pode-se notar ainda, que, mesmo durante o inverno, a irradiação solar na superfície terrestre é elevada, apresentando valores mínimos da ordem de 2,5 kWhm²/dia no Sul do país.

Segundo Pereira [2000], durante a estação seca, devido às ocorrências de queimadas na região central e norte do país, que lançam grandes quantidades de aerossóis na atmosfera capazes de absorver a radiação solar, as estimativas de irradiação solar apresentam incertezas maiores. Estudos realizados (Pereira et al. [2000]) indicam desvios quem montam da ordem de 11% entre os valores calculados e medidos sobre essas regiões, em comparação com os desvios bem menores da ordem de 6% sobre essas mesmas regiões onde as queimadas não ocorrem.

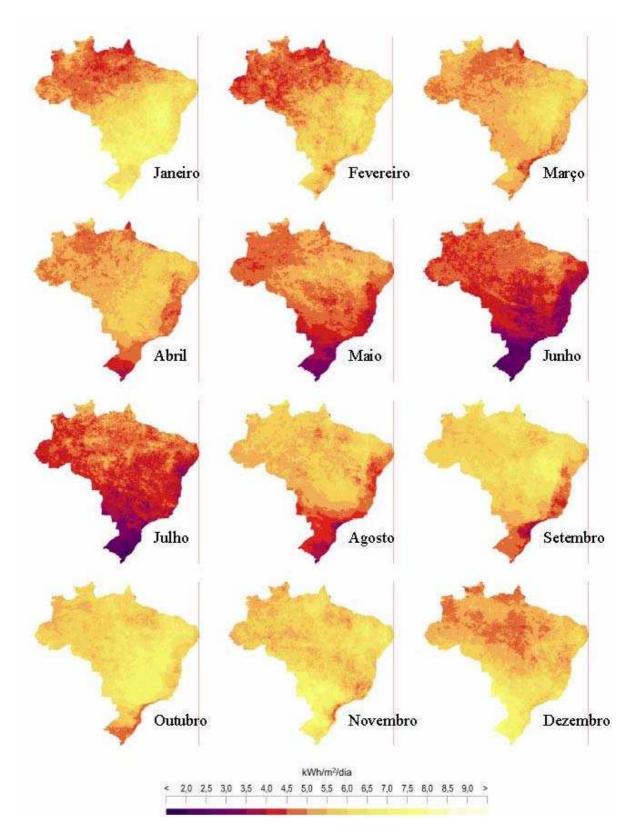


Figura 19-Mapas de radiação média global mensal

Fonte: Projeto SWERA

Existem ainda outros tipos de mapas radiação solar tais como; mapas de componentes direta e difusa, de radiação fotossintética ativa (PAR) e também da radiação em planos inclinados. A

Figura 19 apresenta a média anual das componentes da irradiação solar global, direta, difusa e a irradiação solar no plano inclinado em ângulo igual à latitude para todo o território brasileiro.

Segundo Martins [2005], a informação contida no mapa de irradiação no plano inclinado, Figura 20-4, é de grande importância no aproveitamento da energia solar em projetos de geração térmica ou fotovoltaica, uma vez que mostra a quantidade de energia incidente no plano de maior radiação solar direta sendo considerada a posição geográfica do local.

AFigura 20-4 mostra de forma clara que o Brasil possui um grande potencial para o aproveitamento da energia solar.

Segundo Helioclim [2009], a média de radiação no Brasil é de 5 kW.h.m²/dia e é praticamente igual ao valor máximo de irradiação observado no continente europeu que é de 5,5 kW.h.m²/dia, onde ocorre um grande investimento tanto de iniciativa privada como governamental neste tipo de fonte de energia renovável.

Segundo Martins [2005], estudos foram feitos com o intuito de avaliar a variabilidade interanual do fluxo de radiação solar na superfície. Estimativas para o período de 1999 a 2004 estão sendo analisadas e processadas o que virá a possibilitar também a realização de estudos para determinar quais os fatores climático-ambientais que influenciam na variabilidade dos recursos de energia solar. Esse é um passo importante para a avaliação dos riscos associados a investimentos para a aplicação deste tipo de fonte de energia.

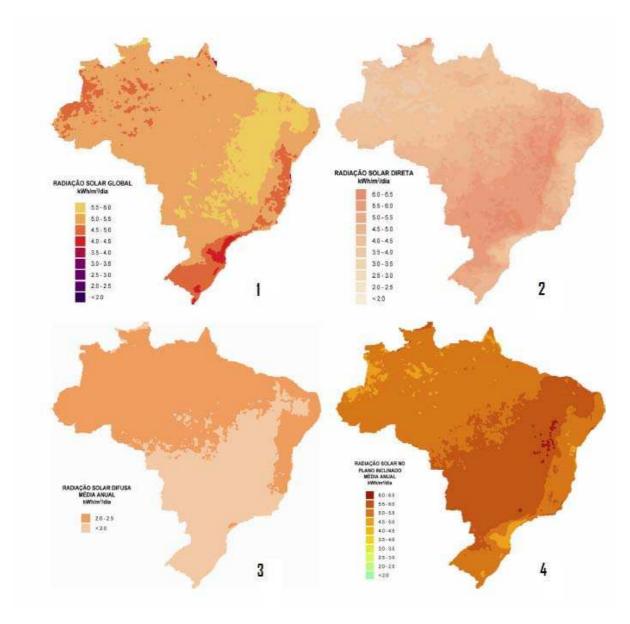


Figura 20-Mapas de radiação solar média anual para o território brasileiro

Fonte: Projeto SWERA

4.3 Atlas Solarimétrico do Brasil

Segundo o banco de dados terrestre do Atlas Solarimétrico do Brasil [2000], sob a coordenação do Central de Pesquisas de Energia Elétrica-CEPEL, foi criado, em Janeiro de 1993, um grupo de trabalho em Energia Solar Fotovoltaica-GTEF. O GTEF tinha uma abrangência nacional e foi constituída por empresas do setor elétrico, grupos de pesquisas, universidades e fabricantes ou representantes de equipamentos fotovoltaicos.

Ainda em Maio de 1993, o GT em Solarimetria rapidamente elaborou e apresentou ao GTEF o relatório: Solarimetria no Brasil- Situações e Propostas que descreve a crítica situação da solarimetria no Brasil e propõe algumas medidas que permitiriam suprimir partes dessas e deficiências apontadas em relação ao tema. Dentre as diversas medidas propostas, havia a elaboração de uma base de dados solarimétricos para o país, que representaria a organização, classificação e padronização de dados medidos e publicados por diversos autores e instituições ao longo das últimas décadas. Tal base de dados padronizados em conjunto com novos mapas de isolinhas da radiação solar resultaria em um Atlas Solarimétrico para o Brasil. Em 1994, foi submetido ao CEPEL o projeto para a elaboração do Atlas Solarimétrico Nacional. A proposta dos autores era que a publicação do Atlas colocaria à disposição do público interessado uma importante base de dados que, na medida em que a tecnologia solar se difunde no Brasil torna-se crescentemente importante.

Finalmente, foi assinado, em Maio de 1996, o convênio FABE-UFPE/CEPEL que permitiu executar o projeto da elaboração do Atlas Solarimétrico Nacional.

4.3.1 Descrição do Banco de Dados Solarimétricos

As informações solarimétricas numéricas estão organizadas na forma de tabelas, em ordem alfabética, por região, por estado e finalmente por localidades. Para cada estado existem dois tipos de tabelas:

- A primeira, na qual constam em diferentes colunas, o nome da localidade com coordenadas geográficas, altitude, tipo de instrumento de medidas, período de medidas e, no caso onde a radiação solar foi estimada, a correlação utilizada. A última coluna é utilizada também para designar quando não se conseguiu identificar se o dado de radiação foi medido ou estimado. As linhas sucessivas para uma mesma localidade indicam fontes de informações distintas.
- No segundo tipo de tabelas constam, para cada tipo de localidade e fonte de informação, seguintes parâmetros, em bases diárias, médias mensais:
 - Duração do dia, N (h)
 - Insolação diária, n (h)
 - Fração de insolação, n/N
 - Desvio padrão da insolação (h), onde houver
 - Total de dias com dados de insolação (dias), onde houver
 - Radiação solar global diária, (MJ/m²), onde houver

- Desvio padrão da radiação solar global diária, (MJ/m²), onde houver
- Total de dias com dados de radiação solar global diária, (dias), onde houver

4.3.2 Distribuição Espacial das Medidas

As informações solarimétricas, de forma geral, mesmo as mais abundantes como a insolação diária, não satisfazem todas as necessidades dos usuários devido à baixa densidade da rede de estações.

Estudos recentes sobre a variabilidade espacial do recurso solar em regiões fito geométricas homogêneas, mostram que a radiação diária global, média mensal, podem ser extrapoladas em até 200 km de distância com erros da ordem de 15%, com um nível de confiança da ordem de 90%, Atlas Solarimétrico do Brasil, [2000].

É importante ressaltar que, em regiões geográficas de relevo fortemente variável como é o caso de montanhas, a extrapolação que foi referida anteriormente não é válida. O caso da extrapolação espacial da radiação solar não foi estudado ainda suficientemente, tanto pela falta de dados de boa qualidade como pela variedade de locais pesquisados.

4.3.3 Principais correlações Utilizadas na Estimativa da Radiação Solar

Há dois tipos valores de dados para quase todas as localidades relacionadas no banco de dados; os valores medidos e os valores estimados ou calculados.

Para encontrar os valores de uma forma estimada, há algumas metodologias utilizadas e essas metodologias são indicadas nas tabelas onde estão relacionadas às localidades. Dentre essas metodologias, tem-se:

Relação de Angstron- É a relação entre a insolação diária e a radiação solar global diária, média mensal. A expressão que atualmente representa essa relação é:

$$\frac{H}{H_0} = (a+b) * \left(\frac{n}{N}\right)$$
 4.3.3.1

Onde H e H₀ são respectivamente a radiação solar global diária e a radiação global diária no topo da atmosfera, médias mensais; n e N são a insolação diária e a duração astronômica do dia, médias mensais.

Há uma quantidade muito grande de trabalhos que buscam melhorar os coefientes de regressão a e b, incluindo variáveis como umidade relativa, quantidade de água precipitável, latitude e altura solar, dentre outros. Existem ainda alguns trabalhos que propõem coeficentes

de regressão de caráter universal, mas já é de conhecimento dos pesquisadores que os mesmos sofrem importantes variações regionais e mesmo interanuais, quando se considera uma mesma região. As constantes a e b podem ser determinadas em estações que possuem equipamentos capazes de medir a radiação e a insolação.

Método Indireto: O cálculo da radiação direta em dias claros é possível de ser feito com bastante precisão partindo-se de um mínimo de informação local. O cálculo é baseado na distribuição dos constituintes da atmosfera que contribuem para a absorção e espalhamento da radiação e no valor da constante solar. O método Indireto, particularmente, é bem simples. O fluxo da radiação direta em uma superfície horizontal, I_{DH}, em dias claros, pode ser calculado por:

$$I_{DH} = I_0 \tau_D * \cos \theta \qquad 4.3.3.2$$

Onde τ_D a transmitância da radiação direta através da atmosfera, I_0 é a constante solar e θ , o ângulo zênite.

Correlação de Bennett: Foi uma formulação proposta por Bennett, aplicada no Hemisfério Norte. Essa formulação além de levar em conta os efeitos da duração do brilho solar e da transmissividade da atmosfera, incorpora ainda os efeitos relativos à altitude, latitude e época do ano. A equação proposta por Bennett é:

$$\frac{Q_S}{Q_0} = a + b * \left(\frac{n}{N}\right) + c * h$$
 4.3.3.3

Onde Q_S é a radiação solar incidente na superfície terrestre, Q_0 é a radiação solar no topo da atmosfera, n é o número de horas de brilho solar observado, N é o número de horas de brilho solar previsto para cada dia, h é a altitude da estação e a, b e c são coeficientes determinados a partir de dados observados.

4.3.4 Instrumentos de Medidas Solarimétricas

Segundo a World Meteorological Organization, a radiação total que atinge um plano localizado na superfície terrestre é a soma de duas componentes, como mostrado abaixo:

$$I_H = I_{hn} \cos z + I_d$$
 4.3.4.1

Onde I_{bn} é o fluxo de radiação direta, normal aos raios solares, z é o ângulo formado pelos raios com o plano horizontal e I_d a radiação difusa que incide sobre o plano horizontal.

Os instrumentos que serão definidos a seguir são capazes de medir a radiação total ou de uma de suas componentes ou, o que ocorre mais freqüentemente, a sua integral ao longo de um dia.

Heliógrafo: Tem como finalidade medir a duração da insolação, ou seja, o período de tempo no qual a radiação solar supera um dado valor de referência. Apesar de suas limitações, é um tipo de aparelho que ainda tem muita importância devido ao grande número desse tipo de aparelho instalado em todo o mundo.

O heliógrafo opera a partir da focalização da radiação sobre uma carta que é enegrecida devido a sua exposição.

Actinógrafo: Também conhecido como piranógrafos, foi muito utilizado devido ao seu basto custo. O actinógrafo tem como finalidade medir a radiação solar total ou sua componente difusa. O funcionamento desse aparelho consiste da presença de três tiras bimetálicas, a central de cor pretal e as laterais brancas. As tiras brancas estão fixadas e a preta está livre em uma extremidade, e irão se curvar quando iluminadas em conseqüência dos diferentes coeficientes de dilatação dos metais que a compõem.

Piranômetro Fotovoltaico: Este tipo de solarímetro possui como elemento sensor uma célula fotovoltaica, em geral de silício monocristalino. A principal função dessas fotocélulas é produzir uma corrente elétrica quando estas são iluminadas, sendo essa corrente, na condição de curto-circuito, proporcional à intensidade da radiação incidente.

Uma fonte de críticas que esse tipo de piranômetro tem recebido é o seu comportamento espectral causado por sua seletividade. Esse fenômeno é inerente ao sensor, portanto é um problema incorrigível.

Piranômetro Termoelétrico: Uma pilha termoelétrica é o elemento sensível deste tipo de solarímetro e essa pilha é constituída por pares termoelétricos em série. Esses termopares geram uma tensão elétrica proporcional à diferença de temperatura entre suas juntas, que se encontram em contato térmico com placas metálicas que se aquecem de forma distinta quando são iluminadas.

4.3.5 Isolinhas de Radiação Solar

Os valores da radiação solar global diária, médias mensais e anual das localidades que constam da base de dados foram locados em mapas nacionais, com projeção policônica centrada no meridiano 54º Oeste. As localidades com medidads realizadas através de piranômetros foram diferenciadas com simbologias distintas das localidades com medidas feitas com actinógrafos bimetálicos. Os valores procedentes de estimativas feitas através dos diiversos modelos foram deixados de lado e excepecionalmente foram utilizados em casos que existiam alguma dúvida no momento de traçar as isolinhas.

4.3.6 Mapas de Isolinhas de Radiação Solar

Os mapas representados nas Figura 21 e Figura 22 mostram as médias anuais de radiação em MJ/m².dia e insolação em horas no território brasileiro através das isolinhas.

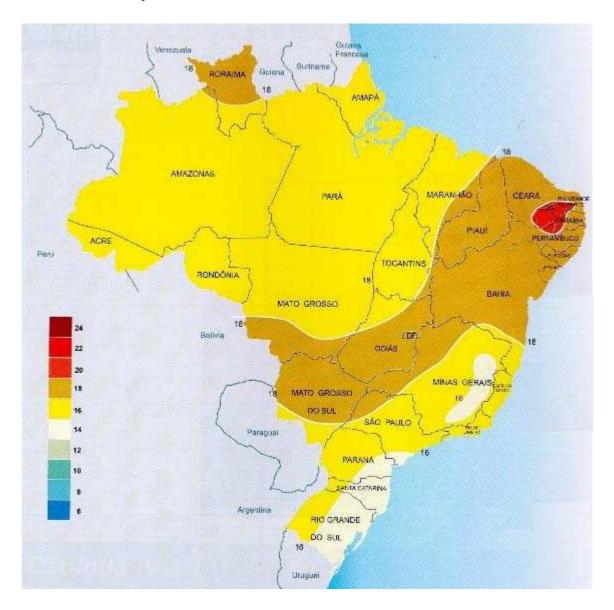


Figura 21-Mapas das médias anuais de isolinhas de radiação em MJ/m².dia

Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil

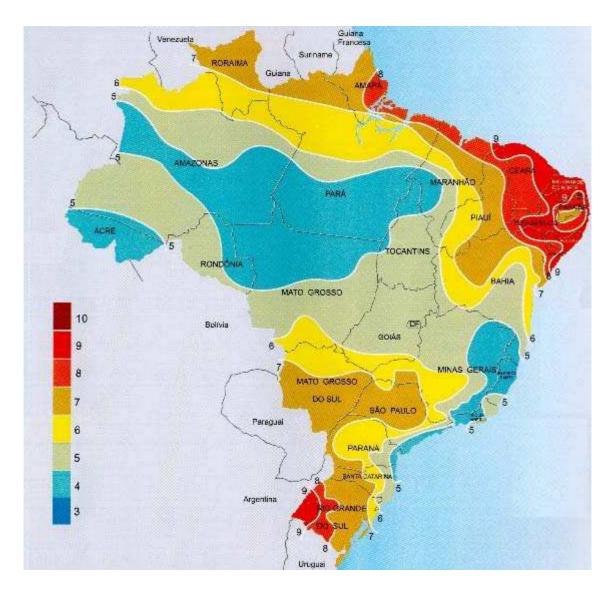


Figura 22-Mapas das médias anuais de isolinhas de insolação em horas

Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil

5. Análise de viabilidade de emprego da energia solar em obras da COMARA

5.1 Canteiro Padrão

A análise de viabilidade do emprego da energia solar em obras da COMARA foi baseada no canteiro padrão utilizado nas obras da COMARA.

Segundo a COMARA [2009], o modelo do canteiro padrão foi idealizado para facilitar a construção dos canteiros, já que os tipos de obras que essa Comissão executa são muito parecidos, portanto demanda aproximadamente o mesmo tipo de insumos e equipamentos.

O canteiro padrão é composto por basicamente seis edificações: alojamento civil, alojamento militar, refeitórios, escritório, oficina e laboratório.

O alojamento civil é uma edificação de um pavimento e de dimensões: 35,3m x 5,6m. Há seis quartos coletivos, dentre os quais, há quatro quartos com quatro vagas cada um e mais dois quartos com oito vagas cada. Há ainda um banheiro coletivo com seis sanitários, seis chuveiros e seis pias.

O alojamento militar é uma edificação de um pavimento e de dimensões: 26,5m x 6,7m. Há quatro quartos, todos com banheiros. Dentre os quartos, há três com quatro vagas e um com duas vagas. Há ainda três pequenas salas.

Os refeitórios, com uma área total de 226,2 m², comportam duas áreas de alimentação; uma com cinco mesas para quatro lugares cada e um banheiro e outra com dez mesas para oito lugares cada e um banheiro também. Há ainda uma cozinha e uma sala depósito.

O escritório é uma edificação de um pavimento com dimensões 13, 3m x 6,7m. Há três salas de trabalho e uma sala de recepção. Há ainda dois banheiros.

A oficina é uma edificação de um pavimento e com dimensões de 20m x 10m. Há duas grandes áreas onde são recuperados alguns equipamentos e mais quatro salas. Há ainda um banheiro.

O laboratório é uma edificação de um pavimento e com dimensões de 11,1m x 6,7m. Há 4 salas e um banheiro.

5.2 Lista de Equipamentos que Poderão Ser Supridos por Energia Solar

Como nem todo tipo de equipamento pode ser suprido pela geração de energia solar, então foi necessário relacionar os equipamentos utilizados no canteiro padrão que se encaixa dentro dos limites tecnológicos aos quais esse tipo de geração de energia se restringe.

Dentre os equipamentos que a geração de energia solar pode suprir a demanda energética tem-se: Computadores, batedeiras, liquidificadores, luminárias, televisores, rádios, aparelhos de antenas parabólicas, chuveiros elétricos.

Dentre os equipamentos que a geração de energia solar não consegue suprir a demanda energética, têm-se: condicionadores de ar, britadeiras, equipamentos de usina de asfalto, microondas. Para esses equipamentos, a energia solar não consegue gerar nem potência nem

uma corrente suficiente para as demandas exigidas, pois são equipamentos que exigem altas potências e altas correntes para o correto funcionamento dos mesmos.

5.3 Análise de custos dos dois tipos de geração de energia

5.3.1 Análise dos custos referentes à geração de energia por queima de combustíveis fósseis

Para essa análise, serão considerados os seguintes custos:

- Custo dos geradores;
- Manutenção dos geradores;
- Óleo diesel, Combustível fóssil;
- Transporte do combustível e dos geradores;
- Custo de mitigação para eventuais vazamentos tanto no transporte como no armazenamento do combustível, podendo causar poluição de rios e de solo.

Custos dos geradores:

A obra em análise nesse trabalho, Palmeiras do Javari, possuía dois geradores de 45 KVA, trabalhando 24 horas por dia e os dois se revezavam a cada intervalo de 8 horas. Há ainda um gerador de capacidade muito maior do que esses dois, mas esse é responsável pela geração de energia para a usina de asfalto, portanto esse tipo de demanda não poder ser suprido por energia solar e, dessa forma, não pode ser substituído, então não entrará nos custos para a análise de viabilização. Foi feita uma pesquisa em várias empresas que trabalham com geradores com a mesma especificação dos utilizados na obra em questão e foi constatado que há uma variação significativa em relação aos preços para o mesmo equipamento. Para sanar esse problema e não estimar o custo dos geradores como um intervalo de preços, então foi feito uma média dos valores encontrados e obtve-se um valor médio de R\$ 35.000 para cada gerador. Quase totalidade dos geradores pesquisados tinha uma garantia contra defeitos de fábrica para um período de um ano.

Manutenção dos Geradores:

A manutenção de todas as máquinas é feito por dois profissionais: um mecânico e um lubrificador. O custo para esses dois profissionais sai em torno de R\$ 4000/mês. Embora

esses profissionais não sejam responsáveis somente pelos geradores, essa é uma forma de calcular. Poderia ainda se considerar somente uma parte desse valor proporcional ao tempo que esses profissionais se dedicam ao trabalho nesses geradores. Considerando-se que eles dedicam 20% do seu tempo com esses geradores, tem-se o custo de R\$ 800/mês.

Combustível Fóssil:

O custo do combustível fóssil comprado pela COMARA varia para suas diferentes obras, pois ele é comprado de forma que o transporte já está incluso no preço do mesmo, portanto o preço do combustível varia com a distância da obra ao seu centro distribuidor. No caso da obra em questão, Palmeiras do Javari, o custo do combustível sai em torno de R\$ 3,2/l. Os geradores de 45 KVA dessa obra têm um consumo médio de 4l/h. Esse consumo resulta em um custo de R\$ 307,2/ dia.

Custo de mitigação para eventuais vazamentos tanto no transporte como no armazenamento do combustível, podendo causar poluição de rios e de solo:

Para a realização do cálculo do custo de mitigação para eventuais vazamentos tanto no transporte como no armazenamento do combustível, há várias formas de se abordar o problema. Por se tratar de um problema que pode vir a acontecer, então fica difícil de calcular quando custa o risco desse tipo de problema acontecer. Uma abordagem bastante usada é estudar a probabilidade de esse problema acontecer e multiplicar pelo o custo se esse problema acontecer, mas, para isso, seria necessária uma base de dados referentes a esse tipo de problema. Portanto, para efeito de cálculo, considerou-se que ocorre um vazamento no transporte a cada três anos e um vazamento na armazenagem a cada dois anos.

Para calcular esse prejuízo de forma mais simplificada possível, pode ser utilizado o custo de oportunidade causado pelo vazamento. Por exemplo, com o vazamento de combustível no rio, a pesca fica prejudicada, pois muitos peixes morrerão e muitos outros fugirão daquela área, pois, com a contaminação, fica mais difícil de sobreviver. Com isso, pode-se calcular quanto seria possível de se ganhar com a pesca naquela região contaminada se não tivesse ocorrido o vazamento. De uma forma simplista, considera-se que esse vazamento prejudicou a pesca de cinco famílias ribeirinhas que viviam da pesca. Pode-se considerar que cada família dessas tinha uma renda familiar de 2 salários mínimos e esse prejuízo prejudicou a pesca por 1,5 anos. A partir disso, conclui-se que o prejuízo total seria de R\$ 4650/ mês que durante o período que a pesca será prejudicada representa R\$ 83700. Mas como foi

considerado que esse tipo de vazamento só ocorre a cada três anos, então esse custo desse ser considerado para esse mesmo período. Mas como o combustível referente ao consumo dos geradores só representa um fatia do combustível transportado e considerando que essa fatia seja de 15%, o custo referente à mitigação por conta de vazamento no transporte fica de R\$ 12555.

O caso de vazamento no solo pode ser abordado da mesma forma que foi abordado anteriormente, ou seja, pelo custo de oportunidade. Considerando que haja um vazamento desse tipo a cada dois anos e que esse vazamento cause a inutilização de uma área que seria possível sustentar uma família com o plantio da mesma e essa família conseguisse gerar uma renda mensal de dois salários mínimos. A partir dessas considerações, pode-se concluir que houve um prejuízo de R\$ 930/mês. É interessante notar que o valor do salário mínimo utilizado em ambos os casos é o valor atual do mesmo de R\$ 465,00. Considerando-se o mesmo raciocínio anterior que o combustível destinado a geração de energia via transformador é só uma fatia do total de combustível armazenado e considerando que essa fatia seja de 15%, então o custo de mitigação fica R\$ 69,75/mês. Para um período de dois anos, esse valor fica R\$ 1674.

Considerando-se um período médio de uma obra como dois anos, pode-se estimar o custo com energia gerada por combustíveis fósseis.

Considerando-se que o tempo médio de vida de um gerador seja de 10 anos e o investimento com a compra dos dois geradores foi de R\$ 70000. Considerando-se ainda um taxa de juros anual de 10% e o tempo considerado de 2 anos, tem-se:

Custos=
$$2x70000*(1,1+1,1^2+1,1^3+1,1^4+1,1^5+1,1^6+1,1^7+1,1^8+1,1^9+1,1^{10})/10 = R$ 28912,36$$

Todos os outros cálculos referentes ao periodo da obra de 2 anos, para os custos fixos, foram feitos utilizando-se o mesmo raciocínio anterior.

Para os custos variáveis, foi considerada uma inflação de 5% ao ano, segundo os dados do IPCA.

O custo mensal de manutenção estimado para os geradores foi de R\$ 800/mês, então, para o período de dois anos, o valor é R\$ 22176. O custo do consumo de combustível é de R\$ 307,2/dia, portanto para o período de dois anos, esse custo é R\$ 241355,52. Os custos de

mitigação referentes a vazamentos no transporte para um periodo de dois anos é de R\$ 8370. Os custos de mitigação referentes a vazamentos no armazanamento são R\$ 1674.

ATabela 4 mostra todos os custos referentes à geração de energia por queima de combustíveis fósseis para um período de dois anos.

Tabela 4-Custos referentes a energia por queima de combustíveis fósseis

Insumo	Valor (R\$)
Gerador	28912,36
Manutenção	19200
Combustível	241355,52
Mitigação transporte	8370
Mitigação armazenamento	1674
Total	299511,88

5.3.2 Análise dos custos referentes à geração de energia solar

Para estimar os custos referentes a geração de energia solar, vão ser considerados os seguintes custos:

- Equipamentos responsáveis pela geração de energia solar, tais como: painéis fotovoltaicos, inversores, controladores de carga, fios, baterias etc;
- Manutenção dos equipamentos;
- Transporte dos equipamentos;
- Equipamentos que possam funcionar com a voltagem de saída gerada pelos painéis.

Como a energia solar não é capaz de suprir todos os equipamentos do canteiro de obra, não será possível a substituição total dos geradores de energia movidos a queima de combustíveis fósseis, então o que foi visto como melhor opção é a substituição máxima permitida pela limitação tecnológica desse tipo de geração de energia. Com isso, ainda será necessária a utlização de geradores, porém de menor capacidade e menor consumo. Portanto serão necessários ainda dois geradores de 15 KVA para trabalharem da mesma forma que os de 45 KVA trabalhavam, ou seja, período de 24 horas por dia, se revezando a cada oito horas. Com isso, Os custos dos geradores, do combustível consumido por esses geradores e os custos de mitigação, embora com menor probabilidade de ocorrer, também deverão ser contabilizados.

Custo dos Geradores

Para essa mudança de fonte energética ainda serão necessários dois geradores de 15 KVA, trabalhando 24 horas por dia e os dois se revezavam a cada intervalo de 8 horas. Haverá ainda um gerador de capacidade muito maior do que esses dois, mas esse será responsável pela geração de energia para a usina de asfalto, portanto esse tipo de demanda não poderá ser suprido por energia solar e, dessa forma, não pode ser substituido, então não entra nos custos para a análise de viabilização. Foi feita uma pesquisa em várias empresas que trabalham com geradores com a mesma especificação dos utilizados na obra em questão e foi constatado que há uma variação significativa em relação aos preços para o mesmo equipamento. Para sanar esse problema e não estimar o custo dos geradores como um intervalo de preços, então foi feita uma média dos valores encontrados e obtve-se um valor médio de R\$ 15.000 para cada gerador. A quase totalidade dos geradores pesquisados tinha uma garantia contra defeitos de fábrica para um período de um ano.

Manutenção dos Geradores e dos equipamentos responsáveis pela geração de energia solar:

A manutenção de todas as máquinas é feita por dois profissionais: um mecânico e um lubrificador. O custo para esses dois profissionais sai em torno de R\$ 4000/mês. Embora esses profissionais não sejam responsáveis somente pelos geradores, essa é uma forma de calcular. Poderia ainda se considerar somente uma parte desse valor proporcional ao tempo que esses profissionais se dedicam ao trabalho nos geradores, mas essa abordagem foi impossibilitada por falta de dados a respeito da quantidade de tempo dedicada a cada tipo de máquina. Considerando-se que os mesmos técnicos responsáveis pela manutenção de todas as máquinas seja os responsáveis pela manutenção dos equipamentos responsáveis pela geração de energia solar, então é possível concluir que o custo de manutenção se mantém em torno de R\$ 1000/mês.

Combustível Fóssil:

O custo do combustível fóssil comprado pela COMARA varia para suas diferentes obras, pois ele é comprado de forma que o transporte já está incluso no preço do mesmo, portanto o preço do combustível varia com a distância da obra ao seu centro distribuidor. No caso da obra em questão, Palmeiras do Javari, o custo do combustível sai em torno de R\$ 3,2/l. Os geradores de 15 KVA dessa obra têm um consumo médio de 1,6 l/h. Esse consumo resulta em um custo de R\$ 124,28/ dia.

Custo dos equipamentos responsáveis pela geração de energia solar, tais como: painéis fotovoltaicos, inversores, controladores de carga, fios, baterias etc.:

O custo dos equipamentos foi feito através de um orçamento fornecido pela empresa especializada nesse tipo de tecnologia, empresa Solar Brasil. As tabelas abaixo contêm os custos dos equipamentos separados por cada edificação do canteiro padrão.

Foi feita uma lista de equipamentos para a empresa Solar Brasil fazer os orçamentos. A Tabela 5 apresenta os equipamentos e as especificações desses equipamentos.

Tabela 5- Lista de equipamentos e especificações

Prédios	Equipamento	Potência (W)	Quantidade	Potência Total (W)
	iluminaçao 40W	40	18	720
	Iluminação 20W	20	18	360
Alojamento Civil	Televisão 20'	70	6	420
	Computador	250	6	1500
	Ventilador de teto 100W	100	16	1600
	iluminaçao 40W	40	4	160
Escritório	Iluminaçao 20W	20	23	460
ESCITIONO	Computador	250	2	500
	Ventilador de teto 100W	100	0	0
	iluminaçao 40W	40	14	560
	Iluminação 20W	20	47	940
Alaiananta Militan	Computador	250	6	1500
Alojamento Militar	Televisão 20'	70	4	280
	Ventilador de teto 100W	100	5	500
	Chuveiro Elétrico	3500	4	14000
	iluminaçao 40W	40	4	160
	Computador	250	1	250
Laboratório	Iluminação 20W	20	20	400
	Ventilador de teto 100W	100	4	400
	Circuitos		5	
	Iluminação 20W	20	68	1360
	geladeira 110/220Vac 220 litros		3	
Refeitórios	Liquidificador 110V	400	1	400
Refellorios	Batedeira 110V	400	1	400
	Televisão 20'	70	2	140
	Ventilador de teto 100W	100	9	900
	Iluminação 20W	20	26	520
Of: -:	Equipamentos	100	6	600
Oficina	Ventilador de teto 150W	150	2	300
	Computador	250	1	250

A Tabela 6 mostra os valores dos equipamentos referentes ao alojamento militar.

Tabela 6-Valores dos equipamentos relativos ao alojamento militar

Materiais	Quantidade	Valor/Uni(R\$)	Total (R\$)
Módulo Solar Fot. Kyocera KC130 Watts (gera 37 X 15 = 555 Ah/dia)	15	1690	25350
Controlador de Carga Nacional 22 Amperes 12 Volts	8	220	1760
Inversor 12V p/ 110V Importado Mod. 700	5	400	2000
Lâmpada PLSE 9W c/ inversor e soquete 12V	61	16	976
Total			30086

A Tabela 7 mostra os valores dos equipamentos referentes ao alojamento civil.

Tabela 7- Materiais referentes ao alojamento civil

Equipamento	Valor/uni. (R\$)	Quantidade	total (R\$)
Módulo Solar Fot. Kyocera KC130 Watts (gera 37 X 29 = 1073 Ah/dia)	1690	29	49010
Controlador de Carga Nacional 22 Amperes 12 Volts	220	15	3300
Inversor 12V p/ 110V Importado Mod. 700	400	14	5600
Lâmpada PLSE 9W c/ inversor e soquete 12V	16	32	512
Total			58422

ATabela 8 mostra os valores dos equipamentos referentes ao escritório.

Tabela 8-Materiais referentes ao escritório

Equipamento	Valor/uni. (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Módulo Solar Fot. Kyocera KC130 Watts (gera 37 X 5 = 185 Ah/dia)	1690	5	8450
Controlador de Carga Nacional 22 Amperes 12 Volts	220	3	660
Inversor 12V p/ 110V Importado Mod.700	400	2	800
Lâmpada PLSE 9W c/ inversor e soquete 12V	16	27	432
Total			10342

A Tabela 9 mostra os valores dos equipamentos referentes ao laboratório.

Tabela 9-Materiais referentes ao laboratório

Equipamento	Valor/uni. (R\$)	Quantidade	total (R\$)
Módulo Solar Fot. Kyocera KC130 Watts (gera 37 X 7 =259Ah/dia)	1690	7	11830
Controlador de Carga Nacional 22 Amperes 12 Volts	220	4	880
Inversor 12V p/ 110V Importado Mod. 700	400	2	800
Lâmpada PLSE 9W c/ inversor e soquete 12V	16	24	384
Total			13894

A Tabela 10 mostra os valores dos equipamentos referentes à oficina.

Tabela 10- Materiais referentes à oficina

Equipamento	Valor/uni. (R\$)	Quantidade	total (R\$)
Módulo Solar Fot. Kyocera KC130 Watts (gera 37 X 19 =703Ah/dia)	1690	19	32110
Controlador de Carga Nacional 22 Amperes 12 Volts	220	10	2200
Inversor 12V p/ 110V Importado Mod. 700	400	7	2800
Lâmpada PLSE 9W c/ inversor e soquete 12V	16	26	416
Total			37526

A Tabela 11 mostra os valores dos equipamentos referentes ao refeitório.

Tabela 11- Materiais referentes ao refeitório

Equipamento	Valor/uni. (R\$)	Quantidade	total (R\$)
Módulo Solar Fot. Kyocera KC130 Watts (gera 37 X 11 =407Ah/dia)	1690	11	18590
Controlador de Carga Nacional 22 Amperes 12 Volts	220	6	1320
Inversor 12V p/ 110V Importado Mod. 700	400	6	2400
Lâmpada PLSE 9W c/ inversor e soquete 12V	16	68	1088
Total			23398

A Tabela 12 resume os valores totais dos equipamentos por edificação e o valor total dos equipamentos para o canteiro padrão.

Tabela 12- Valores totais por edificação e valor total

Edificação	Valor (R\$)
Alojamento Militar	30086
Alojamento Civil	58422
Oficina	37526
Escritório	10342
refeitório	23398
Laboratório	13894
Total	173668

O custo total para a geração de energia através da energia solar é a soma de todas as parcelas citadas anteriormente. O custo referente aos materiais responsáveis pela geração de energia solar é de R\$ 173668. Considerando-se que o tempo médio de vida desses materiais seja de 8 anos e que a taxa de juros é de 10% ao ano, é possível concluir que, para o período da obra em questão, esse valor é de R\$ 68270. O custo dos geradores de 15 KVA É de R\$ 30000. Considerando-se que a vida útil desses geradores seja de dez anos e o período da obra em questão é de dois anos, então o custo desses geradores para esse período é R\$ 11775. O custo de manutenção é o mesmo custo para a manutenção dos geradores, como foi explicado anteriormente e esse custo é de R\$ 19200. O custo com combustível é de 122,88/dia, então para o período de dois anos, considerando-se uma inflação anual de 5%, fica R\$ 96542,21. Para calcular os custos de mitigação é possível aproveitar a mesma base de custos realizados anteriormente, mas, com a utilização da energia solar, o consumo dos novos geradores cairam 60,0%, portanto os custos de mitigação cairão no mesmo percentual. Os custos de mitigação para vazamento no transporte são, segundo esse raciocínio; R\$ 2720,25. Os custos de mitigação para possíveis vazamentos, considerando-se um período de dois anos, são de R\$ 544,05.

A Tabela 13 mostra os valores referentes a todos os custos relacionados com a geração de energia solar.

Tabela 13- Custos totais para a geração de energia solar

Insumo	Valor (R\$)
Gerador	11775
Manutenção	24000
Combustível	96542,21
Mitigação transporte	3346
Mitigação armazenamento	669,6
Materiais para geração de energia solar	68270,39
total	204603,21

A Tabela 14 mostra os valores dos custos totais para os dois tipos de fontes de energia analisados nesse trabalho, considerando-se um período de dois anos.

Tabela 14- Custos totais para os dois tipos de geração de energia

Fonte	Valor (R\$)
Energia Solar	204603,21
Queima de Combustível	299511,88

Como pode ser observado pelos valores da Tabela 14, é possível concluir que a utilização da energia solar como fonte de energia nas obras da COMARA é viável. É importante saber que, para fazer esse estudo de viabilidade, foram feitas muitas considerações, portanto a viabilidade está restrita às considerações feitas.

6. Outros estudos e resultados

O estudo solicitado pela COMARA foi analisar uma fonte de energia renovável, que fosse um tipo de energia limpa e viável para a substituição da atual fonte de energia utilizada. Após o aprofundamento nesse tipo de fonte geradora de energia, foram surgindo idéias novas a respeito da utilização da energia solar como fonte geradora de energia. Dentre esssa idéias, as que mais pareceram viáveis foram: a utilização de energia solar para suprir a demanda de energia interna nas bolsas operadas pela COMARA e a utilização de aquecimento solar para aquecer a água e substituir o chuveiro elétrico, grande pivot do alto consumo de energia elétrica e esses aquecedores poderiam ser utilizados nas casas das vilas dos militares da COMARA, em Hospitais, Supermercados etc.

6.1 Energia solar nas Balsas

Nas balsas utilizadas pela COMARA, toda a energia consumida pela mesma é gerada por queima de combustíveis fósseis e essa queima é constante, portanto independentemente de a balsa estar em movimento ou parada, a geração de energia é a mesma. Sabendo disso, é fácil concluir que quando a balsa está parada, há um grande desperdício de energia, pois o motor tem que ficar ligado para gerar energia para a demanda interna da balsa, como por exemplo; iluminação da balsa.

A partir disso, surgiu a idéia de utilizar a energia solar como fonte geradora de energia para a demanda interna da balsa, para os momentos que ela estiver parada e evitar o alto desperdício de energia e até diminuir a queima de combustíveis fósseis, evitando-se assim, o aumento da poluição do ar com a geração de gás carbônico.

Essa mudança seria de baixo custo, pois a demanda interna de energia é bem pequena e só seria utilizada nos momentos nos quais a balsa se mantivesse parada.

A Figura 23 mostra um modelo típico de balsa utilizada pela COMARA.



Figura 23- Típica balsa da COMARA

Fonte: COMARA

6.2 Aquecimento Solar para Aquecer a água das Casas dos Militares e para as casas dos residentes no CTA

Os chuveiros elétricos têm sido considerados os principais responsáveis pelo alto consumo de energia elétrica nas residências. Sabendo-se disso, surgiu mais uma idéia no intuito de utilizar a energia solar como fonte para aquecer a água das residências dos militares que moram nas vilas. Essa atitude iria diminuir significativamente o consumo de energia elétrica nessas residências além de incentivar a utilização de fontes limpas de energia.

Segundo a Eletropaulo, empresa de energia do Estado de São Paulo, [2009], o chuveiro elétrico representa 30% da conta de energia elétrica dos consumidores da Grande São Paulo, empatado com as geladeiras e seguido pelas lâmpadas, com 15%.

Além do alto consumo de energia gerado pelos chuveiros elétricos, eles causam picos de energia na rede que é altamente oneroso. Segundo o engenheiro elétrico Ivan Camargo da UNB, Universidade de Brasília, há uma distorção no modelo de cobrança das contas de luz no país, que leva em conta só o uso de energia e não os aparelhos que exigem demais da capacidade do sistema em geral, que o caso do chuveiro elétrico.

Para se fazer um comparativo entre os custos entre o aquecimento de água por chuveiro elétrico e o aquecimento de água por aquecimento solar, foram levadas em conta as seguintes considerações:

- O consumo mensal de uma família de cinco pessoas seja de 500 kWh/mês, segundo dados da Eletrobrás, [2005].
- 30% desse consumo mensal é destinado ao aquecimento de água, segundo os dados da Eletropaulo.
- O valor cobrado em reais pelo kWh utilizado é de 0,4202 R\$/kWh, dados da ME, Manaus Energia, [2008].
- Um chuveiro elétrico custa em média R\$ 50.
- Um chuveiro aquecido por energia solar, com capacidade de armazenagem de 400 l, com capacidade para 8 banhos diários de 10 minutos cada, custa em média R\$ 2450.
- A vida útil de um chuveiro elétrico é de 3 anos.
- A vida útil de aquecedor solar é de 10 anos.
- Foi considerada uma taxa de juros de 10% a.a.
- O custo do produto água não está incluso nos valores mostrados na Tabela 14.

A partir dessas considerações, foi feito um comparativo entre as duas fontes de aquecimento de água para residências. A Tabela 14 mostra esse comparativo.

Custos	Chuveiro Elétrico	Chuveiro com Aquecedor Solar
Investimento (R\$)	50	2450
Vida útil (Anos)	3	10
Consumo de energia kWh/mês	150	22,5
Custo do Investimento/mês (R\$/mês)	1,53	32,54
Custo com energia elétrica	63,03	15,76
Custo total/mês (R\$/mês)	64,56	48,30

Figura 24-Comparativo entre os custos do aquecimento de água via energia elétrica e solar

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica [2007], uma residência que consome 175 kWh/mês, se utilizar aquecedor solar para o aquecimento de água, consegue economizar 30% desse consumo e ainda evita de lançar na atmosfera 31,5 quilos de dióxido de carbono (CO₂) ou equivalente em outros gases todo mês.

7. Conclusões

O potencial energético brasileiro é bem elevado. O litoral do Nordeste registra ventos bem fortes o que favorece muito a utilização da energia eólica como fonte de energia. Sabendo disso, muitas empresas têm investido pesado nesse tipo de fonte de energia e o Nordeste tem recebido grandes investimentos nessa área. O Brasil também conta com uma quantidade muito grande de rios que favorece a utilização da energia hídrica como fonte de energia. Esse tipo de fonte tem sido a principal fonte geradora de energia para o país. Além dessas fontes, é possível concluir, pelas as três frentes de estudos sobre a radiação apresentadas nesse trabalho; Projeto SWERA, Atlas Solarimétrico do Brasil e o estudo da PCD de Ji-Parana em Rondônia, que o Brasil possui uma grande capacidade energética utilizando a energia solar como fonte geradora, pois a radiação incidente no país é bem elevada e, mesmo para meses chuvosos, a radiação solar se mantém em níveis acima da média mundial. O estudo da PCD de Ji-Parana foi de extrema importância por se tratar de uma PCD localizada na Amazônia, próximo a obra em análise, Palmeiras do Javari, área de atuação da COMARA, e por ser um estudo recente, pois os dados utilizados são referentes ao ano de 2008. Além disso, foi possível observar, pelos dados da PCD de Ji-Parana, que, mesmo nos meses de menor radiação, a radiação captada é maior do que a média mundial. Dessa forma, foi possível concluir que a Amazônia tem um bom energético para a utilização da energia solar.

Uma das maiores dificuldades da parte de estudo do potencial energético foi referente a base de dados, pois havia uma pequena quantidade de PCDs com os dados disponíveis.

Foi possível perceber, através dos orçamentos feitos para os equipamentos responsáveis pela geração de energia, que a energia gerada através de combustíveis fósseis tem um custo fixo inicial considerável, mas o maior custo desse tipo de geração é o custo variável, no caso, o

combustível fóssil. Já para a geração de energia solar, o grande custo é o fixo, que o investimento inicial para a compra dos painéis solares. A parte variável é o combustível fóssil para atender a demanda que a energia gerada pela luz solar não consegue suprir. O alto valor do investimento inicial para a energia solar é um dos principais motivos pelos quais essa fonte de energia não é utilizada em grande escala no mundo. Para o caso especial da COMARA, fazendo-se uma análise para o período de tempo maior, no qual é possível distribuir o custo inicial pelos os anos que esses equipamentos irão trabalhar, foi constatado que a energia solar é uma fonte viável de energia para o caso em questão.

É importante lembrar que a atual tecnologia para geração de energia solar não permite que essa fonte de energia substitua completamente a atual fonte, queima de combustíveis fósseis, pois há uma limitação na potência e corrente que são geradas por esses equipamentos. Por isso, para se utilizar a energia solar como fonte de energia nas obras da COMARA, será necessário ainda ter outra fonte complementar de geração de energia. Apesar de não substituir a atual fonte de energia, a utilização da energia solar como fonte de energia, diminuirá muito os impactos ambientais causados na Amazônia tanto na armazenagem e no transporte de combustíveis fósseis como na emissão de gases poluentes.

Além de se ter concluído, através do raciocínio feito nesse trabalho, que a energia solar é uma fonte viável para as obras da COMARA e para a geração de energia interna das balsas, foi também possível concluir, utilizando-se o mesmo raciocínio, que a utilização de energia para aquecer a água das casas é uma forma econômica e bem menos poluente. Assim foi sugerido que a COMARA utilizasse essa tecnologia para aquecer a água das casas das vilas militares, pois seria mais econômico, a longo prazo, e ainda estaria ajudando a diminuir a emissão de gases poluentes na atmosfera. Com essas atitudes, a COMARA se tornaria uma de empresa ecologicamente correta numa região tão visível para o mundo como é a Amazônia.

Uma forma de utilizar a energia solar como fonte de energia em grande escala seria o governo financiar a compra dos painéis solares, principalmente em áreas nas quais não há energia elétrica disponível, como em grande parte do sertão nordestino e em grande parte da região amazônica.

Referências Bibliográficas

- [1] Goldemberg, J., *Energia no Brasil*, Academia de Ciências, 1977.
- [2] Tiba, C., *Atlas Solarimétrico do Brasil*, Banco de Dados Terrestres, Ed. Universitária da UFPE, 2000.
- [4] Veziroglu, N. T., *Alternative Energy Sources*, Solar Energy 2, McGraw-Hill International Book Company, 1977.
- [5] Ward, J. C., Lof, G. O. G., Long Term Performance of a Residential Solar Heating Systems, International Solar Energy Congress in Los Angeles, California, 1975.
- [6] Durrenberger, R. W., Brazel, A. J., *Need for a Better Solar Radiation Data Base*, Science 1976.
- [7] Puri, V. W., *Domestic Solar Energy Systems for Delaware*, M. S. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Delaware, 1976.
- [8] Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, *Banco de Dados*, Disponível em: http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/, Acessado em 15 de Setembro de 2009.
- [9] Comissão de Aeroportos da Amazônia, *Dados Gerais*, Disponível em: http://www.comara.aer.mil.br/dadosgerais.htm, Acessado em 12 de Outubro de 2009.
- [10] FINEP, *Informações Financeiras*. *Cotação do IPCA*, Disponível em: http://www.finep.gov.br/informacoes financeiras/ipca ini.asp, Acessado em 21 de Outubro de 2009.
- [11] Associação Brasileira de Energia Nuclear, *Fonte Nuclear*, Disponível em: http://www.aben.com.br/, Acessado em 12 de Abril de 2009.

- [12] Ambiente Brasil, *A Energia Global Eólica Vai de Vento em Polpa*, Disponível em: http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia.html, Acessado em 11 de Junho de 2009.
- [13] Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica, *Energia Solar Fotovoltaica*, Disponível em: http://www.pucrs.br/cbsolar/ntsolar/index.htm, Acessado em 15 de Maio de 2009.
- [14] Progresso Verde, *Perspectivas para o Futuro da Energia Solar*, Acessado em: http://progressoverde.blogspot.com/, Acessado em 13 de Setembro de 2009.
- [15] Martins F. R., Pereira E. B., *Mapas de Irradiação Solar para o Brasil*, Resultados do Projeto SWERA, Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 2005.
- [16] Helioclim, *Providing Information in Solar Radiation*, Disponível em: http://www.helioclim.org/, Acessado em 15 de Agosto de 2009.
- [17] Agência Nacional de Energia Elétrica, *Informações Técnicas*, Disponível em: http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=412&idPerfil=3, Acessado em 01 de Outubro de 2009.
- [18] Farrington, D., Direct Use of Sun's Energy, Yale University, 1964.
- [19] Duffie, J. A., Beckman, W. A., *Solar Energy Processes*, John Wiley and sons, New York, 1974.

FC	OLHA DE REGISTRO	DO DOCUMENTO	
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO	2. DATA	B. REGISTRO N°	4. N° DE PÁGINAS
TC	25 de novembro de 2009	CTA/ITA/TC-184/2009	75
 TÍTULO E SUBTÍTULO: Estimativa da radiação sola canteiros de obra da COMA 		mo subsídio para o empreg	go de energia solar em
6. AUTODIES)	KA.		

b. AUTOR(ES):

Gustavo Rodrigues Chaves Veras

7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES):

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR:

1. Energia Solar. 2. COMARA. 3. Fonte de energia.

9.PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO:

Fontes alternativas de energia; Energia solar; Amazônia; Análise de viabilidade; Engenharia elétrica; Engenharia eletrônica

10. APRESENTAÇÃO: X Nacional Internacional

ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientadora: Profª. Drª. Iria Fernandes Vendrame (ITA); co-orientador: 1º Ten. Eng. Rodrigo Ribeiro (COMARA). Publicado em 2009.

11. RESUMO:

A COMARA (Comissão de Aeroportos da Região Amazônica) atua principalmente em áreas da Amazônia nas quais não há disponibilidade de energia elétrica, portanto há uma necessidade de outro tipo de geração de energia para suprir as necessidades energéticas das obras. Atualmente, a COMARA utiliza a queima de combustíveis fósseis como fonte geradora de energia nas obras onde não há disponibilidade de energia elétrica, mas essa fonte, além de ter um custo elevado, é uma fonte de energia que causa bastante impactos ambientais como; possíveis vazamentos de combustível no transporte e armazenamento e a geração de gases poluentes causados pela queima de combustível.

Buscando novas tecnologias e preocupada com os impactos ambientais causados na Amazônia, a COMARA mostrou-se interessada em analisar a viabilidade da utilização de fontes de energias limpas. Sendo assim, esse trabalho visa fazer o estudo da viabilidade da utilização de energia limpas, em especial, a energia solar, por ser a mais adequada ao tipo de demanda energética da COMARA.

12. GRAU DE SIGILO:

(X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL() SECRETO