

UNESP

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá

2002



1110000496



***"Análise da Performance de um
Sistema Solar Fotovoltaico de
2 kW Interligado à Rede Elétrica
Pública e Integrado a Uma
Edificação Urbana"***

ALONSO BERNABÉ AGUIRRE RETO

179



ALONSO BERNABÉ AGUIRRE RETO

Análise da Performance de um Sistema Solar
Fotovoltaico de 2 kW Interligado à Rede Elétrica
Pública e Integrado a Uma Edificação Urbana

Dissertação apresentada na
faculdade de Engenharia de
Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia
Mecânica na Área de Transmissão e
Conversão de Energia.

Orientador: Dr. Prof. Dr. José Luz Silveira

Co-orientador: Dr. Prof. Ricardo Rüther

Guaratinguetá
2002

FACULDADE DE ENGENHARIA
DE GUARATINGUETÁ
BIBLIOTECA

496

496

Data: 24/9/02
Valor: 20,00
C/D/T: D

R438a

Reto, Alonso Bernabé Aguirre

Análise da performance de um sistema solar fotovoltaico de 2 KW
interligado à rede elétrica pública e integrado a uma edificação urbana /
Alonso Bernabé Aguirre Reto . – Guaratinguetá : [s.n.], 2002
106f. : il.

Bibliografia: f. 77-81

Inclui apêndice

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade
de Engenharia de Guaratinguetá, 2002

Orientador: Prof. Dr. José Luz Silveira

Co orientador: Prof Dr. Ricardo Ruther

1. Energia solar 2. Programação computacional I. Título

CDU 620.91

**“ANÁLISE DA PERFORMANCE DE UM SISTEMA SOLAR
FOTOVOLTAICO DE 2 kW INTERLIGADO À REDE ELÉTRICA PÚBLICA
E INTEGRADO A UMA EDIFICAÇÃO URBANA”**

ALONSO BERNABÉ AGUIRRE RETO

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

**ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO



Prof. Dr. José Luz Silveira
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. JOSÉ LUZ SILVEIRA
Orientador / Unesp-Feg



Prof. Dr. PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO
Unesp-Feg



Prof. Dr. LUIZ ANTONIO ROSSI
UNICAMP

Agosto de 2002

DADOS CURRICULARES

ALONSO BERNABÉ AGUIRRE RETO

NASCIMENTO	27.12.1969 – CHIMBOTE – PERÚ
FILIAÇÃO	Bernabé Aguirre Wong Sebastiana Reto Zevallos
1989/1995	Curso de Graduação em Ingeniería en Energía Facultad de Ingeniería Universidad Nacional del Santa.

Por y para **Marivel**, mi compañera, por saber entregarme la fuerza de su amor y por que si no fuera por ella, tal vez, no estuviera en esta etapa de mi vida.

AGRADECIMENTOS

A lo largo de mi vida fueron muchas las personas que hicieron mucho o poco por mí, realmente soy un producto de ese encuentro con ellos y no me parece correcto el empezar a mencionarlos, por temor a la injusticia de olvidar a alguien, pero a la vez me siento en la obligación de hacerlo...

En primer lugar a Dios por haberme regalado el don de la vida a través de mis padres, a mi mamá por haber soportado todo este tiempo el tenerme junto a ella y por que muchas veces dejé la comida en el plato por salir corriendo al colegio o a la universidad; a mi papá por que muchas de las cosas que ahora conozco me las enseñó él, en nuestras largas caminatas y en los paseos, por que me enseñó a amar la naturaleza y por que no necesitó enseñarme a estudiar, yo aprendí al verle estudiar.

A mis hermanos y hermanas les pido disculpas, por que tal vez ese plato de comida que me ofrecía mi mamá les correspondía a ellos, por eso este trabajo también es de ellos.

A mis amigos del grupo SIKURY, mi segunda familia, Juvenal, Igdalí, Juan Guevara, Naum, Américo, Doris, Marivel, Verónica, Maria, Juancito, ... etc, etc, etc (que me disculpen de los que me olvido), especialmente a Jorge Azañedo, quien nos enseñó a querer un mundo mejor y a luchar por eso.

A mi hermano Miguel, por que me enseñó que hay que luchar por lo que crees, aún dando tu propia vida.

A mis profesores de la Universidad Nacional del Santa, en especial al profesor Guillermo Quevedo, por que me abrió el camino a la gran aventura que es la ciencia y al profesor José Jimenez por haber creído en mi capacidad.

Aquí en el Brasil a mis amigos de la Moradía Estudantil, por que durante el tiempo que estuve viviendo con ellos, me hicieron sentir en familia, en especial a Rando Messias de Oliveira (Popô), por que me ayudó con la revisión del portugués y a Edgar Paz (Piri) por que aquí es mi única familia.

Al profesor Ricardo Rüther y a Alexandre Albuquerque M. allá en Florianópolis por que me dieron todas las facilidades y por que sin ellos no hubiera sido posible la culminación de este modesto trabajo.

A los profesores del Departamento de Energía de la Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, por haber confiado en mí.

A toda la gente de la Pós-graduação em Energia de la FEG, por haber sido verdaderos amigos y por haber hecho de mí, uno más de ellos.

A mi amigo, mi orientador, Prof. José Luz Silveira, que hizo posible esta gran aventura, que fué el llegar hasta la UNESP de Guaratinguetá, sin conocer, ni hablar el Portugués.

A todos ustedes los guardo en mi corazón, ahora son parte de mi vida. Gracias a todos !!!.

Obrigado !!!.

Este trabalho contou com o apoio financeiro do CNPq.



RESUMO

RESUMO

Este trabalho apresenta a experiência de um grupo de pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) em uma pesquisa sobre a cultura da leitura em escolas públicas de São Paulo.

O objetivo principal da pesquisa foi investigar as práticas de leitura em sala de aula e o papel do professor como mediador da leitura. A metodologia utilizada foi a pesquisa qualitativa, com observação participante e entrevistas semiestruturadas.

Os resultados da pesquisa indicam que a leitura é uma prática social e culturalmente situada. O professor desempenha um papel fundamental na mediação da leitura, promovendo a interação entre o texto e o contexto da sala de aula.

Conclui-se que a leitura é uma prática social e culturalmente situada. O professor desempenha um papel fundamental na mediação da leitura, promovendo a interação entre o texto e o contexto da sala de aula. A pesquisa também aponta a necessidade de políticas públicas que incentivem a leitura em escolas públicas.

Palavras-chave: cultura da leitura, práticas de leitura, mediação da leitura, escolas públicas, pesquisa qualitativa.

ABSTRACT

This work presents the experience of a group of researchers from the Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) and the Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) in a research about the culture of reading in public schools in São Paulo.

Recuerdo cuando al finalizar algún trabajo mi papá decía:

“Si es difícil, ya está hecho; si es imposible se hará”

Bernabé Aguirre Wong

AGUIRRE, A. B. **Análise da performance de um sistema solar fotovoltaico de 2 kW interligado à rede elétrica pública e integrado a uma edificação urbana.** 2002. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

RESUMO

Neste trabalho, analisa-se a viabilidade técnica e econômica da instalação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCRs).

Inicialmente, são apresentados aspectos técnicos e características dos componentes de sistemas fotovoltaicos; faz-se uma revisão das principais tecnologias de fabricação de painéis.

Posteriormente, faz-se uma descrição do primeiro SFCR do Brasil, assim como a análise de sua performance e da produção de energia elétrica associada, durante o ano 1998.

Na sequência, efetua-se a análise econômica de Sistemas Fotovoltaicos, com especial ênfase na necessidade de subsídio por parte do governo, de modo a possibilitar implantação desses sistemas, tendo em vista suas vantagens frente às formas convencionais de geração de energia elétrica.

Logo após, apresenta-se o programa SOLAR V1, desenvolvido com a finalidade de auxiliar na escolha de painéis fotovoltaicos comercialmente disponíveis, incluindo cálculo de carga elétrica necessária, para a instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

Conclui-se que o sistema instalado no LABSOLAR da UFSC, tem uma boa performance, com uma produção de 2644,31 kWh, uma eficiência de conversão fotovoltaica de 4,46% e um Performance Rate de 70,8%.

Ao final conclui-se com os aspectos relevantes às vantagens do uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, tanto do ponto de vista energético, econômico e de meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar, Painéis Fotovoltaicos, Análise Técnica e Econômica, Programação Computacional



AGUIRRE, A. B. **Analysis of the performance of a grid-integred system solar photovoltaic of 2 kW and integred in a urban construction.** 2002. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

ABSTRACT

In this work, the technical and economic feasibility of Grid-Integred Photovoltaics Power Systems is analyzed.

Initially, the technical aspects and characteristics of the photovoltaics systems components, are presented. Further, it is making a revision of the technologies of photovoltaic panels production.

Later, it is making a description of the first Grid-Integred Photovoltaic Power System of Brazil, as well as the analysis of its performance and of its electricity production associated, during the 1998.

In the sequence, the economic analysis of photovoltaics system is made. The special emphasis is in the need of government subsidy, in way to facilitate the installation of those systems, highlights its advantages related to the conventional forms of electricity generation.

After, the SOLAR V1 program, developed with the purpose of helping the choice of photovoltaics panels available commercially including electric needs calculation for the installation of Grid-Connected Photovoltaics Power Systems, is presented.

Finally, the important aspects and advantages of the use of Grid-Connected photovoltaics Power Systems, is showed in way of energy, economic and environment aspects.

KEYWORDS: Solar energy, photovoltaics panels, technical and economical analysis, computational programation.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	3

2 A CÉLULA E O PAINEL FOTOVOLTAICOS

2.1 INTRODUÇÃO	5
2.1.1 Histórico do efeito fotovoltaico	6
2.2 O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA CÉLULA SOLAR	7
2.3 CURVA $I \times V$ DE ILUMINAÇÃO	8
2.4 CONCEITOS IMPORTANTES	9
2.5 FATORES QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS	11
2.5.1 Intensidade Luminosa	11
2.5.2 Temperatura das Células	12
2.6 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	12
2.6.1 Parâmetros Básicos de um painel Fotovoltaico	12
2.7 CONEXÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	14
2.7.1 Conexão em Serie	14
2.7.2 Conexão em Paralelo	15
2.8 TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS COMERCIALMENTE DISPONÍVEIS	15
2.8.1 Silício Cristalino	16
2.8.2 Silício Amorfo Hidrogenado (a-Si)	17
2.8.3 Telureto de Cádmio (CdTe)	18
2.8.4 Disseleneto de Cobre (Galio) e Índio (CIS e CIGS)	18
2.8.5 Arseniuro de Gálio (GaAs)	19

3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

3.1 INTRODUÇÃO	22
3.2 ELEMENTOS PRINCIPAIS DE UM SFCR	22
3.2.1 Gerador Fotovoltaico	23



3.2.2 Inversor	23
3.2.3 Medidores de Energia	27
3.3 SISTEMAS DE PROTEÇÃO E CONTROLE	29
3.3.1 Formação de Ilha	29
3.3.2 Evitar Danos nas Instalações de Outros Clientes	29
3.4 PERTURBAÇÕES NA REDE	29
3.5 COMPATIBILIDADE COM O ARRANJO FOTOVOLTAICO	30
3.6 A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL	30
 4 O PRIMEIRO SFCR DO BRASIL	
4.1 INTRODUÇÃO	31
4.2 COMPONENTES	33
4.2.1 Painéis	33
4.2.2 Inversor	35
4.2.3 Sistema de Monitoramento	36
4.3 ANÁLISE DO SFCR DURANTE O ANO 1998	37
4.4 RELAÇÕES UTILIZADAS	38
4.4.1 Irradiância que Atinge a Cada Grupo	38
4.4.2 Potência Produzida por Cada Grupo	38
4.4.3 Eficiência Fotovoltaica de Cada Grupo	39
4.4.4 Potência CC Produzida Pelo Sistema	39
4.4.5 Irradiância que Atinge no Sistema Total	40
4.4.6 Eficiência Fotovoltaica de Todo o Sistema	40
4.4.7 Eficiência do Sistema Inversor	40
4.4.8 Eficiência Total do Sistema	41
4.4.9 Energia Elétrica total Produzida	41
4.4.10 Irradiação Total que Atinge o Sistema	42
4.4.11 AC Yield do Sistema	43
4.4.12 Performance Ratio	43
4.5 RESULTADOS	44
 5.- A NECESSIDADE DE SUBSÍDIO PARA A IMPLANTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL	
5.1 INTRODUÇÃO	51
5.2 ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	52
 6 PROGRAMA COMPUTACIONAL	61

6.1 INTRODUÇÃO	62
6.2 ESTRUTURA GERAL DO PROGRAMA	63
6.2.1 Bloco de Cálculos	65
6.2.2 Bloco de Escolha dos Painéis	68
6.2.3 Bloco Mais Informação	68
6.2.4 Base de Dados	70
6.2.5 Mapa de Irradiação	72
6.2.6 Créditos	72
6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	 73
 REFERÊNCIAS	 77
 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	 81
 APENDICE A: Energia Produzida Durante o Ano 1998	 83
 ANEXO A: Catálogo dos painéis Instalados no Sistema	 107
 ANEXO B: Catálogo do Sistema Integrado	 110
 ANEXO C: Lista de Fabricantes de Painéis Fotovoltaicos	 113

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Estrutura da célula solar.	5
Figura 2.2- Curva característica para uma célula fotovoltaica.	9
Figura 2.3- Raios do sol na atmosfera e definição do coeficiente de "Massa de Ar" (AM).	10
Figura 2.4- Efeito da radiação nos painéis fotovoltaicos.	12
Figura 2.5- Efeito da temperatura nos painéis fotovoltaicos.	12
Figura 3.1- Componentes de um sistema solar conectado à rede.	23
Figura 3.2- Formas de onda dos inversores.	24
Figura 3.3- Esquema de conexão à rede de baixa tensão para instalações menores a 5 kWp.	26
Figura 3.4- Esquema de conexão à rede de baixa tensão para instalações maiores a 5 kWp.	27
Figura 3.5- Instalação fotovoltaica com inversor monofásico.	28
Figura 4.1- Diagrama esquemático do SFCR, no prédio do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.	31
Figura 4.2- Instalação dos módulos do SFCR, na Universidade Federal de Santa Catarina.	32
Figura 4.3- Módulo ASE-30-DG-UT opaco usado na instalação	35
Figura 4.4- Curva típica de eficiência de conversão CC-CA em função da potência para um inversor de 650 watt Würth Elektronik.	36
Figura 4.5- Energia produzida durante o ano 1998.	47
Figura 4.6- AC Energy Yield mensal durante o ano 1998 (kWh/kWp).	48
Figura 4.7- AC Energy Yield mensal durante o ano 1998 (kWh/m²).	49
Figura 4.8- Performance Rate mensal durante o ano 1998	50

Figura 5.1- Benefício anual esperado considerando o preço dos painéis a US \$4,00/Wp, para sistemas isolados	55
Figura 5.2- Benefício anual esperado considerando o preço dos painéis a US\$ 4,00/Wp, para sistemas conectados à rede.	56
Figura 5.3- Benefício anual esperado considerando o preço dos painéis a US\$ 2,00/Wp, para sistemas isolados.	56
Figura 5.4- Benefício anual esperado considerando o preço dos painéis a US\$ 2,00/Wp, para sistemas conectados à rede.	57
Figura 5.5- Custo de produção de eletricidade considerando custos dos painéis a US\$ 2,00/Wp, para sistemas conectados à rede.	58
Figura 5.6- Custo de produção de eletricidade considerando custos dos painéis a US\$ 4,00/Wp, para sistemas conectados à rede.	58
Figura 5.7- Custo de produção de eletricidade em função do subsídio, considerando custo dos painéis a US\$ 2,00/Wp, para sistemas isolados.	59
Figura 5.8- Custo de produção de eletricidade em função do subsídio, considerando custo dos painéis a US\$ 4,00/Wp, para sistemas isolados.	59
Figura 5.9- Benefício esperado em função do período de amortização.	60
Figura 6.1- Apresentação do programa.	61
Figura 6.2- Diagrama de blocos do programa principal.	62
Figura 6.3- Janela do bloco de cálculos.	63
Figura 6.4- Diagrama de blocos do programa principal.	64
Figura 6.5- Tela do bloco Escolha de Painéis.	65
Figura 6.6- Preço dos painéis policristalinos vs potência máxima.	66
Figura 6.7- Preço dos painéis monocristalinos vs potência máxima.	67
Figura 6.8- Preço dos painéis amorfos vs potência máxima.	67
Figura 6.9- Fluxograma do bloco da escolha.	69
Figura 6.10- Tela do bloco Mais Informação.	70
Figura 6.11- Tela do bloco Base de Dados.	71

Figura 6.12- Tela do Mapa de Irradiação.	71
Figura 6.13- Tela dos Créditos.	72
Figura A1- Energia diária produzida durante o mês de janeiro.	84
Figura A2- Energia diária produzida durante o mês de fevereiro.	86
Figura A3- Energia diária produzida durante o mês de março.	88
Figura A4- Energia diária produzida durante o mês de abril.	90
Figura A5- Energia diária produzida durante o mês de maio.	92
Figura A6- Energia diária produzida durante o mês de junho.	94
Figura A7- Energia diária produzida durante o mês de julho.	96
Figura A8- Energia diária produzida durante o mês de agosto.	98
Figura A9- Energia diária produzida durante o mês de setembro.	100
Figura A10- Energia diária produzida durante o mês de outubro.	102
Figura A11- Energia diária produzida durante o mês de novembro.	104
Figura A12- Energia diária produzida durante o mês de dezembro.	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Algumas datas importantes com respeito às células solares.	6
Tabela 2.2- Eficiência de conversão para silício cristalino.	17
Tabela 2.3- Eficiência de células para sistemas de concentração.	19
Tabela 2.4- Resumo da tecnologia fotovoltaica.	20
Tabela 4.1- Energia produzida durante o ano 1998.	45
Tabela 4.2- Energy Yield durante o ano 1998 (kWh/kWp).	45
Tabela 4.3- Energy Yield durante o ano 1998 (kWh/m ²).	46
Tabela 4.4- Performance Rate do ano 1998.	46
Tabela 7.1- Comparação das diversas características do primeiro SFCR do Brasil.	74
Tabela A1- Energia diária produzida durante o mês de janeiro.	83
Tabela A2- Energia diária produzida durante o mês de fevereiro.	85
Tabela A3- Energia diária produzida durante o mês de março.	87
Tabela A4- Energia diária produzida durante o mês de abril.	89
Tabela A5- Energia diária produzida durante o mês de maio.	91
Tabela A6- Energia diária produzida durante o mês de junho.	93
Tabela A7- Energia diária produzida durante o mês de julho.	95
Tabela A8- Energia diária produzida durante o mês de agosto.	97
Tabela A9- Energia diária produzida durante o mês de setembro.	99
Tabela A10- Energia diária produzida durante o mês de outubro.	101
Tabela A11- Energia diária produzida durante o mês de novembro.	103
Tabela A12- Energia diária produzida durante o mês de dezembro.	105

CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Desde o início do século XX até os anos setentas, o crescimento econômico dos países industrializados fundamentou-se na disponibilidade de uma fonte de energia barata e abundante: o petróleo. A partir da Segunda Guerra Mundial, tanto a produção mundial de petróleo como a demanda industrial de energia duplicaram-se (PALZ, 1978). As previsões da evolução do consumo de energia no mundo, mostrava um crescimento similar nos anos seguintes.

Ainda que no final dos anos sessenta existisse críticas apontando que o crescimento energético não podia se manter indefinidamente, foi somente após a primeira crise do petróleo que a sociedade tomou consciência do problema da limitação das reservas de combustível fóssil, que segundo estimativas da época, se mantido o ritmo de consumo atual, as reservas de petróleo seriam esgotadas em 50 anos e as de carvão em aproximadamente 200 anos. Hoje, as únicas possibilidades de manter um crescimento econômico sustentado, garantindo um fornecimento energético a longo prazo, é incrementando a eficiência dos processos energéticos e buscando fontes de energias alternativas ao petróleo.

Entre as opções de substituir progressivamente a utilização do petróleo, encontra-se o aproveitamento dos recursos energéticos renováveis: As energias solar, eólica, hidráulica, geotérmica e dos oceanos.

As energias renováveis são inesgotáveis limpas e podem ser aproveitadas no mesmo lugar de produção. Além disso, podem complementar-se, fato este que favorece a integração entre elas.

Nas diversas reuniões mundiais especializadas em energia, viu-se a necessidade de definir uma estratégia de desenvolvimento sustentável a longo prazo, devido aos problemas futuros. Estima-se que no ano de 2020 o crescimento populacional alcançará os 8 bilhões de pessoas e em 2050, serão 10 bilhões. Além do problema populacional, tem-se a prioridade do desenvolvimento econômico para que todos os povos tenham acesso a uma qualidade de vida aceitável, se preocupando com o meio ambiente ou com receio do impacto do desenvolvimento sobre o aquecimento do planeta e a ameaça à bio-diversidade (ITURREGUI, 2001).

Estes fatores de preocupação para a comunidade mundial, levaram à conclusão que é preciso ampliar as fontes de energia disponíveis, com uma política conjunta para que os países estabeleçam a substituição paulatina dos combustíveis fósseis, buscando financiamento necessário para fazê-lo.

Os países industrializados comprometeram-se a reduzir as suas emissões de gases que provocam o efeito estufa em pelo menos 5% abaixo dos níveis de 1990, entre os anos 2008 e 2012. Para cumprir com este compromisso é necessário aumentar a produção de energia usando as fontes renováveis de energia (MCT, 1997).

Wills (1994), menciona que não existem mais barreiras tecnológicas para este tipo de energia; as barreiras políticas estão cada vez menores, necessitando assim vencer as barreiras do preço dos painéis (é o caso da energia solar fotovoltaica), já que ainda existe a dificuldade em competir com os preços das energias convencionais. A economia conseguida com as energias renováveis é a longo prazo, e isso não interessa muito aos investidores.

O aproveitamento das fontes renováveis de energia pelo homem é muito antigo. Muitos séculos antes de nossa era, já se utilizava a energia do sol, o vento e da água e seu uso continuou durante toda a história até a chegada da Revolução Industrial, onde foram abandonadas por muitos países, devido ao baixo preço do petróleo. Sem dúvida, hoje, devido ao incremento dos custos dos combustíveis fósseis e aos problemas ambientais derivados da sua exploração e uso, presenciamos um renascer no interesse pelas fontes renováveis de energia.

A crescente demanda de energia em todo o mundo está trazendo como consequência a extração cada vez maior dos recursos naturais e uma maior agressão ao meio ambiente; estes fatores de desequilíbrio de nosso ecossistema trazem consigo perigos globais como o efeito estufa e o degelo das calotas polares devido ao aumento da temperatura em até 6 °C (ITURREGUI, 2001), o que significaria uma catástrofe para a humanidade. Tal situação suscitou um grande interesse no estudo de novas fontes de energia: energia solar, energia mareo-motriz, energia eólica, etc. Dentre elas, a energia solar apresenta-se como uma das mais promissoras.

Aliados aos progressos científicos e tecnológicos dos últimos anos, que têm acelerado a utilização da energia solar em grande escala, vêm ocorrendo uma mudança nos aspectos econômicos de produção de energia mediante processos convencionais e um maior conhecimento de seus efeitos sobre o ambiente. Também, existe uma necessidade social, especialmente nos países em desenvolvimento de utilizar técnicas que permitam descentralizar a produção de energia em comunidades pequenas e/ou isoladas; a energia solar pode garantir, sem maiores problemas, a produção em pequena escala em zonas isoladas sem acesso às formas convencionais de energia.

Especificamente, tratando-se da energia solar fotovoltaica, já comprovou-se a viabilidade econômica desta em comunidades isoladas não servidas pela rede de distribuição de energia elétrica (COSTA; COSTA; ECK, 2000), seja como único meio de produção ou como suplemento a um sistema já existente (COSTA; FEITOSA, 2000; BAZZO; RÜTHER; MARTINS, 2001)



Por outro lado, os progressos conseguidos na tecnologia de fabricação de células solares com as chamadas células de camada fina, estão permitindo obter uma tecnologia mais acessível devido à redução nos custos; esta é portanto uma boa alternativa, não somente ecologicamente aceitável, mas também economicamente viável (BAZZO et al. 1999) .

As bases científicas da utilização da energia solar firmaram-se a vários anos, mas a sua utilização em grande escala não foi tecnologicamente viável até algumas décadas. Agora, cabe aos governos dispor de políticas que busquem o uso das energias renováveis em benefício das populações.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação é a análise da performance dos sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede, especificamente o sistema instalado no LABSOLAR na Universidade Federal de Santa Catarina, assim como estudar os seus componentes, a tecnologia empregada, os problemas provenientes da sua instalação. São também objetivos deste trabalho:

- Estudar os diversas tecnologias fotovoltaicos disponíveis no mercado;
- Analisar dados obtidos na primeira instalação fotovoltaica conectada à rede do Brasil, no LABSOLAR - UFSC;
- Estudar os componentes de um sistema solar conectado à rede;
- Desenvolver um software para ajudar na seleção de painéis fotovoltaicos comercialmente disponíveis, para instalações fotovoltaicas conectadas à rede;
- Efetuar análise econômica dos sistemas solares fotovoltaicos;
- Estudar benefícios associados ao uso da energia solar para a produção de eletricidade.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação esta estruturada em 7 capítulos.

CAPITULO I: Este capítulo tem a finalidade de apresentar o objeto de estudo da investigação, ressaltando a sua importância no âmbito nacional e mundial, assim como os objetivos do estudo e a estrutura da dissertação.



CAPITULO II: Este capítulo trata de noções de células solares destacando-se aspectos históricos e princípios de funcionamento. Módulos fotovoltaicos, fatores que afetam seu funcionamento, conexão de módulos e tecnologias comercialmente disponíveis.

CAPITULO III: Neste capítulo faz-se uma descrição dos sistemas conectados à rede, efetuando-se uma descrição de seus elementos principais, assim como de suas características técnicas.

CAPITULO IV: Neste capítulo apresenta-se a descrição da primeira instalação fotovoltaica conectada à rede do Brasil, seus componentes e suas características técnicas, e ainda analisa a produção de energia elétrica associada durante o ano 1998.

CAPITULO V: Aqui apresenta-se um estudo técnico-econômico sobre a instalação de uma planta solar em uma comunidade, enfatizando a importância da necessidade de subsídio financeiro por parte do Governo. Avalia-se a importância de parâmetros tais como taxa anual de juros, investimento específico, custo marginal da expansão da oferta de eletricidade e subsídio governamental sobre o tempo de amortização de capital investido.

CAPITULO VI: Apresenta-se uma descrição detalhada do algoritmo de programação e da aplicação do programa computacional desenvolvido.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES: São apresentadas as conclusões da dissertação assim como as sugestões para trabalhos futuros.



CAPÍTULO II A CÉLULA E O PAINEL FOTOVOLTAICOS

2.1. O EFEITO FOTOVOLTAICO

Uma célula solar é um dispositivo capaz de converter a energia proveniente da radiação solar em energia elétrica através do denominado Efeito Fotovoltaico. O princípio de funcionamento descrito por Shockey e Queisser é: Os fótons (quantum de luz) com energia suficiente atingem os elétrons na camada de valência, onde geralmente permanecem. Ao serem atingidos, os elétrons são enviados à camada de condução, mais energética. Ambas as bandas são separadas pela chamada camada proibida. Na camada de condução, os elétrons podem ser extraídos mediante um contato metálico feito na região chamada "tipo N", fabricada dopando-se localmente o semicondutor com um elemento químico adequado; por exemplo fósforo para o caso do silício. Após perder a sua energia na realização do trabalho elétrico, os elétrons retornam à camada de valência do semicondutor mediante um outro contato numa região chamada "tipo P", dopada com outro elemento químico; por exemplo, boro para o silício.

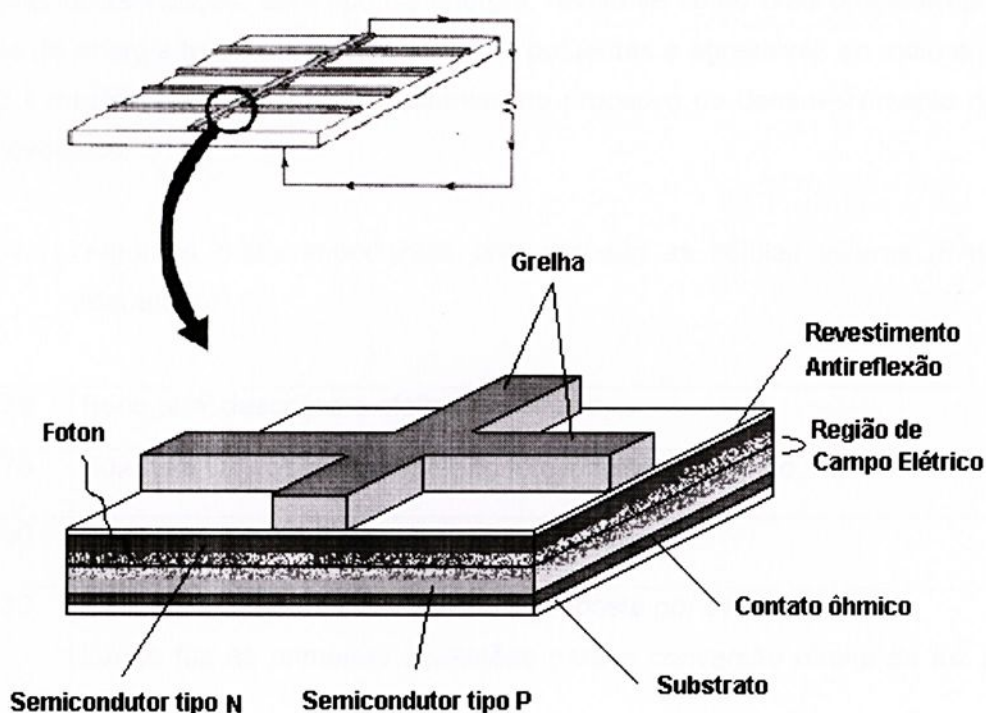


Figura 2.1. Estrutura da célula solar (VALERA, 1993, adaptação)

O campo elétrico necessário para gerar a corrente elétrica, é conseguido com a união de dois semicondutores diferentes, Já mencionados anteriormente: Um semicondutor tipo P

(com excesso de buracos) e um semicondutor tipo N (com excesso de elétrons), quando unidos permite a formação de um campo elétrico.

A face iluminada será a do semicondutor tipo N e a não-iluminada a do semicondutor tipo P. Os contatos são colocados de maneira a cobrir totalmente a face não iluminada, para oferecerem menos resistência à circulação da corrente elétrica. A face iluminada possuem contatos muito menores, para oferecerem maior passagem da luz solar, por isso é habitual encontrar contatos em forma de grelha (ver figura 2.1).

2.1.1. Histórico do Efeito Fotovoltaico

O desenvolvimento da aplicação da energia solar fotovoltaica ocorreu num largo período de tempo, desde o descobrimento do efeito fotovoltaico até a sua aplicação terrestre em grande escala em 1982; Primeiramente a energia fotovoltaica foi utilizada nas naves espaciais e nos satélites. A crise do petróleo ajudou muito no desenvolvimento da aplicação terrestre da energia solar fotovoltaica. Até alguns anos atrás, pensava-se nela como não muito atraente devido ao fato de ainda ser muito cara e já quase não existiam possibilidades de baixar os seus custos de produção; mas agora com o desenvolvimento de novas tecnologias de fabricação, este tipo de energia, revela-se como uma boa alternativa frente as fontes de energia tradicionais, normalmente poluentes e agressivas ao meio ambiente. A tabela 2.1 mostra algumas datas importantes no processo de desenvolvimento da energia solar fotovoltaica.

Tabela 2.1.- Algumas datas importantes com respeito as células solares (PALZ, 1978, adaptação)

1839	Becquerel descobre o efeito fotovoltaico.
1876	Adams e Day observam o efeito fotovoltaico no selênio.
1900	Plank postula a natureza quântica da luz.
1930	A teoria do quantum dos sólidos é proposta por Wilson. Lange faz as primeiras sugestões para a conversão direta da luz em eletricidade. Schottky estuda a teoria do efeito fotovoltaico numa barreira de Cu_2O .
1932	Audubert e Stora, primeiro efeito fotovoltaico no CdS .
1941	Ohl, descobre o efeito fotovoltaico nos cristais do silício.

1949	Billing e Pressner fazem as primeiras medições do rendimento em uma célula de selênio.
1954	Chapin, Fuller e Pearson constróem a primeira célula solar pratica. Welker consegue o primeiro efeito fotovoltaico no GaAs Surtem as primeiras células de camada fina sobre vidro. Reynolds, Leies, estuda o efeito fotovoltaico em cristais de CdS.
1956	Lofersky, Rappoport; estudos sobre o rendimento dos materiais. Primeiras aplicações terrestres, luzes de flash, navegação, estações de navegação e estações de comunicação.
1958	O primeiro uso das células solares num satélite orbital Vanguard 1.
1959	Primeiras células policristalinas de silício com 5% de eficiência.
1960	Células dendríticas; primeiro uso de contatos em grelha.
1961	Primeira evidencia de células de $\text{Cu}_2\text{S}-\text{Cd}$.
1962	Lamorte consegue células de GaAs com 13% de eficiência. A primeira célula fabricada por deposição por spray de baixo custo (CdS).
1969	Rendimento de 8% em células evaporadas de CdS.
1972	Lindmayer consegue a célula violeta de silício.
1973	Woodall, consegue rendimentos acima de 15% em células de GaAlAs - GaAs e Evidencia células de CdS de longa vida.
1974	Célula a partir de fitas de silício. Huaynos desenvolve a célula não refletiva. Jordan desenvolve células de CdS com 5% de eficiência, de baixo custo, construídas por spray.
1982	Primeira planta fotovoltaica construída em Hysperia, California de 1MW.

2.2. O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA CÉLULA SOLAR

Quando uma carga é conectada a uma célula solar, e esta é iluminada, produz-se uma diferença de potencial nos extremos da carga e circula-se uma corrente elétrica.

A corrente que circula pela carga, é o resultado de dois componentes internos da corrente que são a **corrente de iluminação** devido á geração de portadores (elétrons) e a



corrente devido à recombinação de portadores, que produz a voltagem externa necessária para fornecer energia à carga.

É necessário citar que nem todos os fótons que chegam a célula, são absorvidos por ela. Somente são absorvidos os que tem uma energia igual ou maior a da banda proibida do material semiconductor. Estes fótons serão os que formaram pares eletron-buraco que serão separados devido ao campo elétrico produzido pela união dos semicondutores tipo P e N, formando a corrente elétrica.

Alguns fótons não são aproveitados pela célula fotovoltaica, pelos seguintes motivos:

- Os fótons que tem energia inferior à banda proibida do semiconductor, atravessam o semiconductor sem serem absorvidos pelos elétrons.
- Pode acontecer que o fóton possa ter uma energia maior ou igual à da banda proibida do material e não é aproveitado devido ao fato de que o material semiconductor não tem capacidade de absorver todos.
- Outro motivo é que alguns fótons, podem ser refletidos na superfície da célula, por isso é importante a colocação de materiais não reflexivos na superfície da célula.

2.3. CURVA I x V DE ILUMINAÇÃO

A curva I x V (corrente X tensão) de uma célula fotovoltaica, a figura 2.2 representa os pares de valores de tensão e intensidade de corrente, nos quais a célula pode operar.

É importante definir os seguintes valores característicos das células:

V_{oc} **Tensão de circuito aberto:** é o valor máximo de tensão nos extremos da célula quando não se tem uma carga conectada.

I_{sc} **Corrente de curto-circuito:** definido como o máximo valor de corrente que circula por uma célula fotovoltaica e ocorre quando esta é conectada em curto-circuito.

A seguinte equação apresenta a relação entre a corrente (I) e a tensão (V) numa célula fotovoltaica.

$$I = I_{sc} \left(1 - e^{\frac{-e(V_{oc} - V)}{mKT}} \right) \quad (2.1)$$

Onde:

- I_{sc} : Corrente de curto-circuito (A)
 V_{oc} : Tensão de circuito aberto (V)
 e : carga do elétron ($1,60219 \times 10^{-19}$ C)
 m : parâmetro construtivo da célula (sem dimensão)
 K : constante de Boltzman ($1,38062 \times 10^{-23}$ J/K)
 T : temperatura (K)

A curva característica $I \times V$ de uma célula tem a seguinte forma:

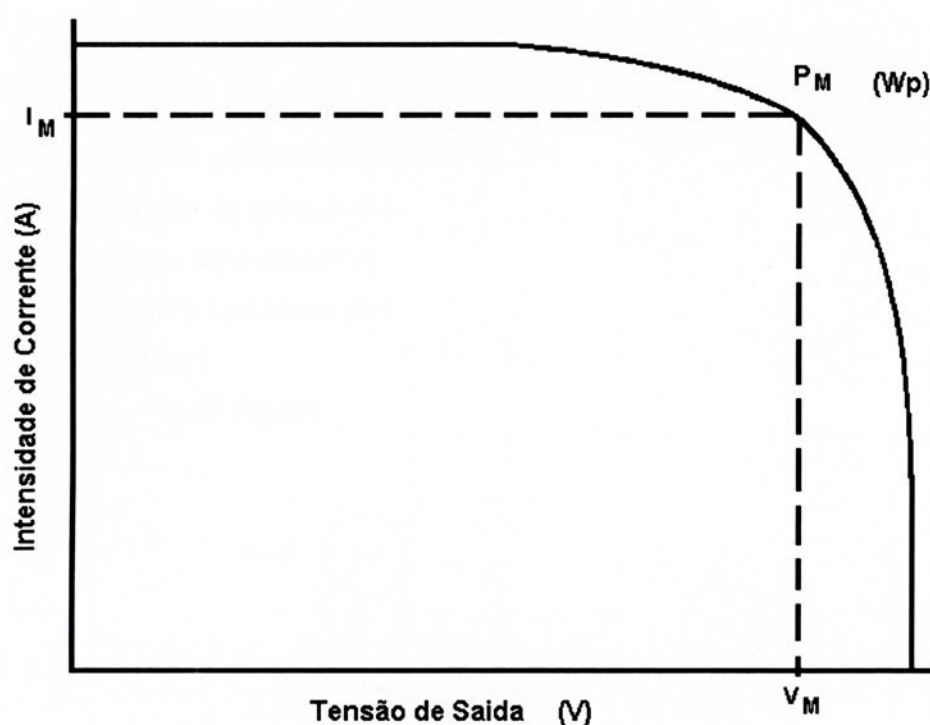


Figura 2.2.- Curva característica para uma célula fotovoltaica (SCHMIDT, 1994)

2.4. CONCEITOS IMPORTANTES

- **Ponto de máxima potência (P_M):** É o produto da tensão (V_M) e intensidade de corrente (I_M) na qual a potência é máxima.
- **Fator de forma (FF):** É definido como sendo a razão entre a máxima potência ($I_M \times V_M$) e o produto da tensão de circuito aberto (V_{oc}) e intensidade de corrente de curto-circuito (I_{sc}).

$$FF = \frac{I_M V_M}{V_{OC} I_{SC}} \quad (2.2)$$

- **Rendimento ou eficiência de conversão energética (η):** Define-se como sendo a razão entre a máxima potência elétrica ($P_M = I_M \times V_M$) que a célula pode fornecer à potência luminosa incidente (W).

$$\eta = \frac{P_M}{P_L} = \frac{I_M V_M}{A I_c} \quad (2.3)$$

Onde:

- P_M : Potência elétrica do módulo (W)
 I_M : Corrente do módulo (A)
 V_M : Tensão do módulo (V)
 P_L : Potência Luminosa (W)
 A : Área (m²)
 I_c : Irradiancia (W/m²)

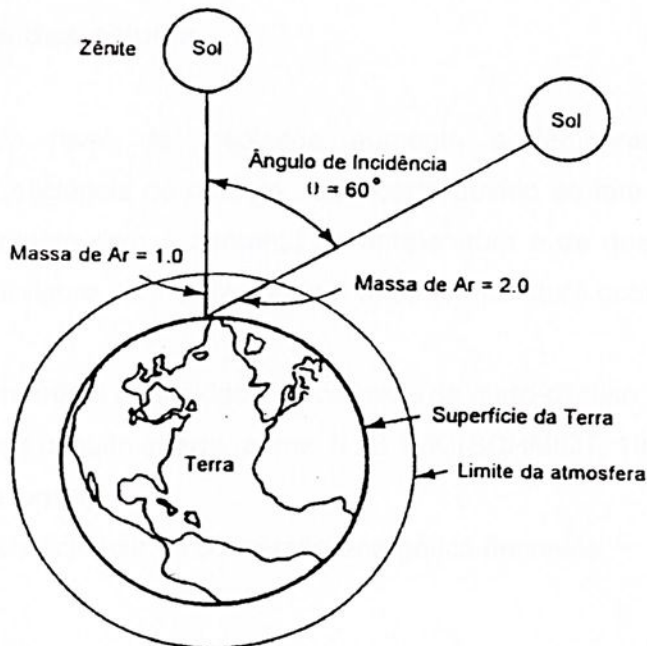


Figura 2.3. Raios do Sol na atmosfera e definição do coeficiente de "Massa de Ar" (AM) (GTEF, 1995)

- **Massa de ar (AM):** Antes de atingir o solo, as características da radiação solar são afetadas por interações com a atmosfera devido aos efeitos de absorção e espalhamento. Estas modificações são dependentes da espessura da camada atmosférica, também identificada por um coeficiente chamado de "Masa de Ar" (AM), e portanto do ângulo Zenital do sol, da distancia Terra-Sol e das condições atmosféricas e meteorológicas (ver figura 2.3).

2.5. FATORES QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS

Existem dois fatores que afetam as características elétricas dos módulos. São eles: a potência luminosa ou irradiância incidente e a temperatura das células.

2.5.1 Intensidade luminosa

Na figura 2.4 é mostrado como a intensidade luminosa afeta os módulos. A corrente gerada aumenta ligeiramente com a luz incidente, por isto é importante seguir o sol no seu movimento aparente no céu com os chamados **trackers**; mas devido a seu alto custo pode tornar inviável a instalação. Portanto, é fundamental determinar a melhor inclinação do painel para cada local de instalação de modo a otimizar a produção de eletricidade deste.

2.5.2. Temperatura das células

O aumento do nível de insolação aumenta a temperatura das células e consequentemente a eficiência do módulo. Isto ocorre devido ao fato de que a voltagem é reduzida significativamente com o aumento da temperatura e de que a corrente sofre um pequeno aumento (ver figura 2.5). Com o aumento da temperatura ocorre o seguinte:

- Aumenta ligeiramente a intensidade de corrente de curto-circuito;
- Baixa a tensão de circuito aberto, aprox. 0,38 %/K (SCHMIDT, 1994);
- Baixa o fator de forma;
- O rendimento ou eficiência de conversão energética decresce.



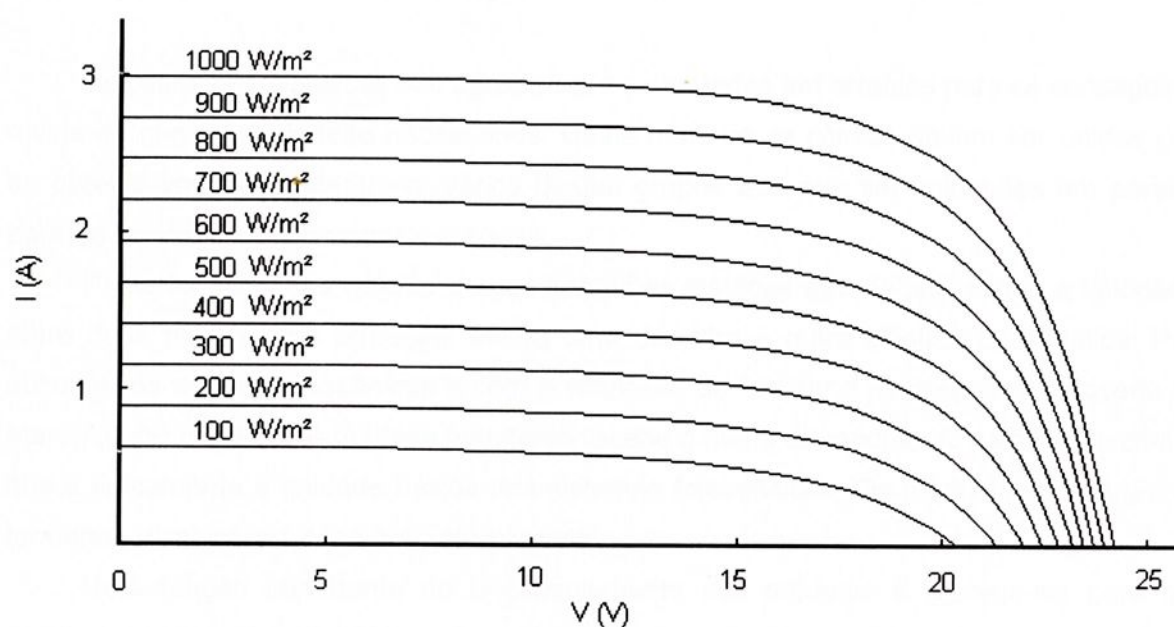


Figura 2.4.- Efeito da radiação nos painéis fotovoltaicos (GTEF, 1995)

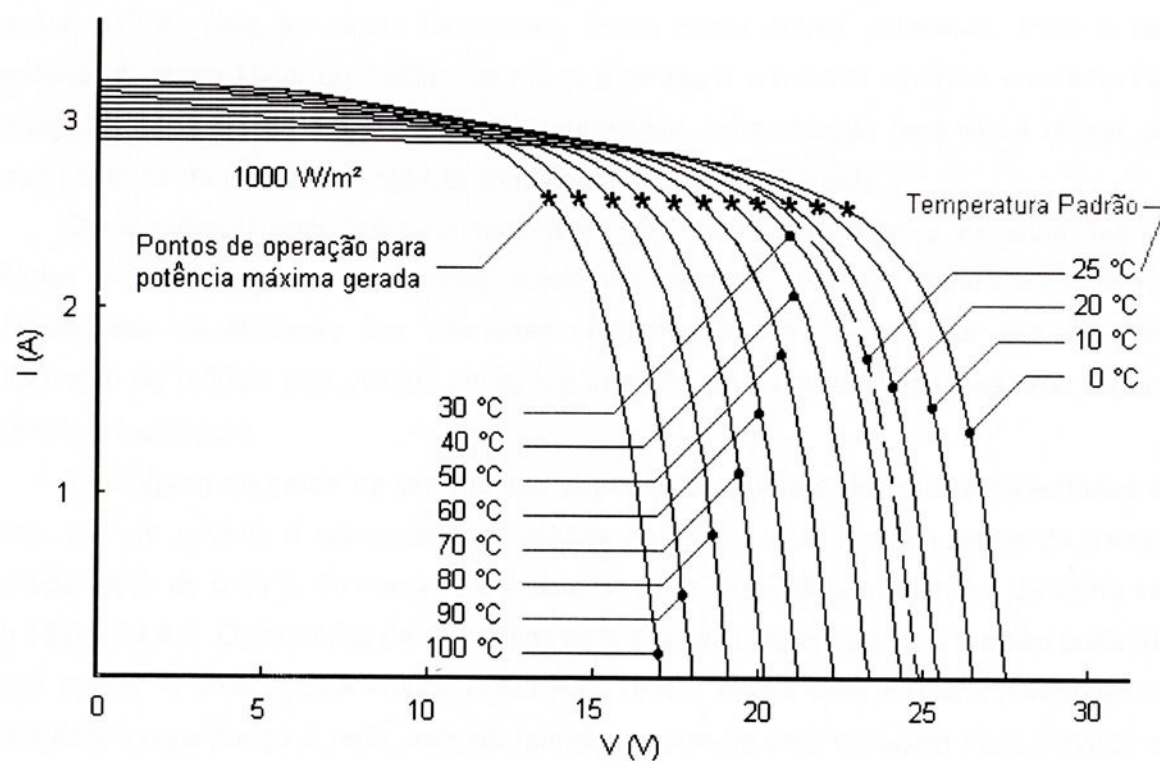


Figura 2.5. Efeito da temperatura nos painéis fotovoltaicos (GTEF, 1995)

2.6. PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

As células fotovoltaicas são agrupadas e conectadas em arranjos para se conseguir os níveis de corrente e tensão necessários. Desta maneira as células devem ser unidas para se obter a voltagem adequada; vários destes grupos tem que ser colocados em paralelo para se conseguir incrementar a corrente.

Posteriormente, as células e suas conexões elétricas são encapsuladas e colocadas entre duas placas para proteção, sendo uma de vidro e outra plástica ou metálica. Para absorver os esforços mecânicos e com o propósito de facilitar a montagem é colocado um marco (guia) metálico. A unidade resultante recebe o nome de módulo ou painel fotovoltaico, que é tipicamente a unidade básica dos sistemas fotovoltaicos. Os módulos podem unir-se formando arranjos em série e/ou em paralelo.

Uma função importante do encapsulamento dos módulos é protege-los para que possam operar em condições de climas desfavoráveis e resistir a possíveis danos mecânicos produzidos por aves, poeira, pedras, neve ou granizo. As células e conexões formam um bloco único, proporcionando rigidez ao sistema. Para os adesivos encapsulantes e capas intermediárias são utilizadas resinas de silício, as quais tem uma boa estabilidade frente a radiação ultravioleta, baixa absorção da luz visível e são suficientemente elásticas para reduzir os problemas em caso de temperatura extrema. Também é usado Etileno-Vinil-Acetato (EVA) para as capas laminadas, assim como outros polímeros. Para a capa posterior é usado Mylar ou Tedlar, de modo a proteger o módulo contra a umidade. Sem exceção, quase todos os polímeros são permeáveis. Uma solução para isto é utilizar uma capa posterior de alumínio recoberta com algum polímero adequado.

Outro aspecto importante na fabricação dos módulos é relativo as conexões nas células. As conexões também estão sujeitas a esforços térmicos devido as diferentes propriedades de dilatação dos diferentes componentes do módulo. Por isto durante a fabricação do módulo são usadas conexões capazes de evitar desconexões e/ou rupturas durante a instalação.

A voltagem de saída de um módulo depende do número de células conectadas em série. Se um módulo é fabricado com células de Silício, que tem um ponto de trabalho característico de 0,45 V, 30 mA/cm², e possui de 30 a 32 células, a voltagem de saída será de 13,5 a 14,4 V. Os módulos de 44 células geram uma voltagem de 19,8 V e são preferidos para operar a altas temperaturas (VALERA, 1993). Agora com o maior interesse nas instalações conectadas à rede, vem-se fabricando painéis com voltagem mais elevada em circuito aberto ($V_{oc} = 95$ V), recomendado como voltagem de entrada para inversores (RÜTHER, 1999)



2.6.1. Parâmetros Básicos de um Pannel Fotovoltaico

Ao adquirir um pannel fotovoltaico são fornecidas as seguintes características:

- I_{sc} : Corrente de curto-circuito;
 V_{oc} : Tensão de circuito aberto;
 P_{max} : Potência máxima

Estes parâmetros são medidos em condições normais de operação, que são as seguintes (GTEF, 1995)

- Irradiância : 1000 W/m²
Massa de ar (AM) : 1,5
Incidência : Perpendicular
Temperatura da célula : 25 °C

Outro parâmetro que deve ser considerado e indicado é a **TONC** (Temperatura de Operação Nominal do célula); esta é a temperatura que atinge a célula quando submetida aos seguintes parâmetros de operação (GTEF, 1995). O TONC varia para cada pannel.

- Irradiância : 800 W/m²
Massa de ar (AM) : 1,5
Incidência : perpendicular
Temperatura ambiente : 20°C
Velocidade do vento : 1 m/s

2.7. CONEXÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os módulos assim como as células de um único módulo, podem ser conectadas em série e/ou paralelo, dependendo da potência, tensão e corrente desejada.



2.7.1. Conexão em Série

A conexão em série dos painéis fotovoltaicos é feita de um terminal positivo de um painel a um terminal negativo do outro painel. Neste caso, as tensões são adicionadas e as correntes são mantidas.

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (2.5)$$

$$I_t = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \quad (2.6)$$

Onde:

- V_t : Tensão total;
- 1...n : Refere-se aos módulos 1, 2, ..., n;
- I_t : corrente total da instalação.

Ao assumir as correntes individuais como iguais, significa considerar os módulos idênticos, sobre as mesmas condições de irradiação e temperatura. Geralmente isto não é verdade, mas é uma boa aproximação, tomando as devidas precauções com a seleção dos módulos.

2.7.2. Conexão em paralelo

Neste caso as conexões são feitas juntando os terminais positivos entre si e os terminais negativos entre si. A conexão em paralelo resulta na adição da intensidade de corrente, a tensão de saída continua igual.

$$V_t = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \quad (2.7)$$

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (2.8)$$

Onde:

- V_t : Tensão total;
- 1...n : Refere-se aos módulos 1, 2, ..., n;
- I_t : corrente total da instalação.

2.8. TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS COMERCIALMENTE DISPONÍVEIS

Em aplicações terrestres, os materiais usados para a fabricação dos painéis fotovoltaicos são em ordem de maturidade e utilização: O silício cristalino (c-Si), o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H ou a-Si), o telureto de cádmio (CdTe) e os compostos relacionados com o bissulfeto de cobre (gálio) e índio (CuInSe₂ ou CIS e Cu(InGa)Se₂ ou CIGS). Neste último grupo, aparecem elementos que são altamente tóxicos (Cd, Se, Te), ou muito raros (Te, Se, Ga, In, Cd) ou ambos; isto foi inicialmente um obstáculo para o uso intensivo desta tecnologia.

A seguir faz-se uma revisão das principais características de cada uma destas tecnologias.

2.8.1. Silício Cristalino

É a mais tradicional das tecnologias e a mais utilizada atualmente, tendo em vista a escala de produção em nível comercial; o silício cristalino consolidou-se no mercado devido à sua extrema robustez e confiabilidade. O custo de produção destes painéis solares é bastante elevado e as possibilidades de redução destes já foram praticamente esgotadas, razão pela qual esta tecnologia não é considerada como competidora no mercado de fotovoltaicos para os próximos anos. Mas sem dúvida até o momento é a líder entre as tecnologias fotovoltaicas para aplicações terrestres.

Para o caso das células fotovoltaicas de **Silício monocristalino** (m-Si), o monocristal cresce a partir de um cristal em um forno com silício fundido de alta pureza (99,99 % a 99,9999%) em reações com atmosfera controlada e com velocidades de crescimento extremadamente lentas (cm/hora). Como as temperaturas a que chegam são de aproximadamente 1400°C, o consumo de energia neste processo é grande e o **energy pay-back** é superior a dois anos, dependendo da insolação do lugar de instalação (o **energy pay back** é definido como o tempo necessário para que um painel fotovoltaico gere a quantidade de energia que foi usado na sua fabricação (KNAPP; JESTER, 2001)). Etapas posteriores ao crescimento do monocristal tais como, corte, lapidação, ataque químico, polimento, difusão/dopagem, deposição da máscara condutora e a interconexão fazem com que se desperdice uma boa quantidade de material, fato este que encarece o processo de fabricação ainda mais.



Com esta tecnologia são produzidas lâminas cristalinas relativamente espessas, da ordem dos 350 μm (DELAHOY; KISS, 2000). Isto também é uma limitação para reduzir os custos de produção devido à quantidade de material que precisam. As tecnologias de camada fina produzem filmes da ordem de 1 μm (RÜTHER, 1998).

O **silício policristalino** (p-Si) tem menor eficiência, mas tem a vantagem de ter menor custo de produção, já que não precisa de uma perfeição cristalina, como o silício monocristalino, e o processo de fabricação é mais simples. O material de início é o mesmo utilizado que para o silício monocristalino, porém este é fundido e posteriormente solidificado, o que resulta num bloco de grãos de cristal onde a seu redor concentram-se alguns defeitos que fazem com que o material seja menos eficiente que o m-Si. Os processos de fabricação posteriores são semelhantes ao de m-Si e os custos finais são bastante similares.

Na tabela 2.2, (WITT et Al, 2000), mostra-se um resumo das eficiências de conversão alcançadas por estas tecnologias.

Tabela 2.2.- Eficiência de conversão para silício cristalino

Material	Célula (%)	Modulo(%)
Float-zone	24 - 25	21 - 23
Czochralski	22 - 24	15 - 18
Polisilício fundido	18 - 20	14 - 15
EFG	14- 15	11 - 13
Rede Dentritica	15 - 17	14
String Ribbon	14 -15	12
Substrato de Silício	16 - 17	10

2.8.2. Silício Amorfo Hidrogenado (a-Si)

Nos inícios dos anos 80, o a-Si representava a única tecnologia de filmes finos comercialmente viável, sendo usado pela primeira vez na década de 70, quando mostrou-se como uma tecnologia ideal para aplicações em calculadoras, relógios e outros produtos onde o consumo elétrico é relativamente baixo. Por apresentarem uma resposta espectral mais voltada ao azul do espectro, são extremamente eficientes sob luz artificial, com uma eficiência que supera em algumas oportunidades aquela do silício cristalino (c-Si) (RÜTHER, 1998)

Os processos de produção do a-Si ocorre a temperaturas relativamente baixas ($<300^{\circ}\text{C}$), em processos a plasma, o que possibilita que o material possa ser depositado sobre substratos de baixo custo como vidro, aço inoxidável e alguns plásticos. Desta forma é possível fabricar painéis flexíveis e mais leves, semitransparentes e com superfícies curvas; isto está ampliando o mercado dos fotovoltaicos devido a sua maior versatilidade. Por sua aparência estética mais atraente, vem encontrando aplicações diversas, substituindo materiais de cobertura de telhados e fachadas em instalações fotovoltaicas integradas ao meio construído. É por isto que o a-Si é vantajoso frente ao c-Si; pois neste caso o custo por m^2 tem maior importância que o custo por Wp (potência pico) sendo, neste caso, o custo do a-Si é menor que do c-Si (RÜTHER, 1998)

A **energy pay-back** para o a-Si é outro atrativo, já que é muito menor que o do c-Si. Atualmente fica em torno de um ano e é devido principalmente a energia utilizada na fabricação do substrato (vidro, aço inoxidável, etc). A potência que se precisa para depositar o filme fino de a-Si no substrato é bastante baixa e coincidentemente da ordem de grandeza da energia do sol, 1 kW/m^2 (RÜTHER, 1998); a eficiência de geração de eletricidade se situa entre 12 a 13% para as células e entre 7 a 8 % para os módulos (WITT et Al, 2000)

2.8.3. Telureto de Cadmio (CdTe)

O material policristalino de filme fino é depositado através de eletrodeposição. As células fabricadas em laboratório tem uma eficiência de conversão de aproximadamente de 16%. Com módulos de tamanho comercial de 6728 cm^2 a eficiência é de 9,1% (Solar Cells Inc.) e de 4540 cm^2 a eficiência é de 8,4% (BP Solar) (ZWEIBEL, 1998).

O CdTe é o mais recente concorrente do c-Si e do a-Si no mercado fotovoltaico para geração de energia em aplicações integradas a edificações, também em forma de filmes finos. Para aplicações em calculadoras ou relógios, este material já vem sendo usado a algum tempo. Estes painéis apresentam um atrativo estético em comparação com o c-Si, já que vem normalmente em placas de vidro, com cores que vão do marrom escuro até azul obscuro e já vem-se aplicando em trabalhos arquitetônicos em substituição ao vidro.

Assim como no caso do a-Si, seu custo de produção é bastante baixo para produção em grande escala. Esta tecnologia tem grandes chances de ser um sério competidor no mercado dos fotovoltaicos na geração de energia. Sua baixa abundância e toxicidade são aspectos relevantes, sobretudo ao fabricar quantidades significativas.

2.8.4.- Disseleneto de Cobre (gálio) e Índio (CIS e CIGS)

Em pesquisas, a célula destes materiais alcançou uma eficiência de 18 a 19% (WITT et Al.,2000) e tem uma das mais altas em módulos completos em nível comercial (11%) (Siemens Solar). É a família dos compostos baseados no disseleneto de cobre e índio (CuInSe_2 ou simplesmente CIS) e o disseleneto de cobre, gálio e índio (Cu(InGa)Se_2 ou CIGS) (ZWEIBEL, 1998)

É também outro sério competidor no mercado dos fotovoltaicos, também em aplicações integradas a edificações. Estes painéis apresentam uma ótima aparência estética e devem aparecer no mercado com grandes superfícies encontrando aplicações arquitetônicas diversas. Assim como no caso do Telureto de Cadmio (CdTe) a pouca abundância dos elementos e a sua toxicidade são aspectos a serem considerados no momento da uma significativa produção.

2.8.5.- Arseneto de Galio (GaAs)

Os materiais semicondutores das colunas IIIA-VA da tabela de classificação dos elementos químicos dos quais são feitas células fotovoltaicas de alta eficiência são freqüentemente utilizadas em sistemas concentradores e sistemas de energia espacial. Estes sistemas necessitam de aparelhos que concentram a radiação solar, tais como lentes concentradoras. Portanto, a energia que os atinge é superior à de um sistema fotovoltaico normal.

As células pesquisadas tem uma eficiência de 28% sob fatores de concentração menores a 1000 (WITT et Al., 2000). As células unidas baseadas em GaAs e combinações de elementos químicos das colunas IIIA-VA da tabela dos elementos químicos excederão 30% de eficiência de conversão, como é visto na tabela 2.3.

O problema aqui reside em como conseguir sistemas simples e eficientes de focalização de luz e de seguimento do sol.

Tabela 2.3. Eficiência de células para sistemas de concentração

Material	Fator de Concentração	Eficiência
Si	<400	27
GaAs	<1000	28
$\text{GaInP}_2/\text{GaAs}$	1	30,3
$\text{GaInP}_2/\text{GaAs}$	180	30,2
$\text{GaInP}_2/\text{GaAs}/\text{Ge}$	50	32,3

A tabela 2.4 apresenta-se um resumo das principais tecnologias de produção fotovoltaica em aplicações terrestres, com a suas vantagens, desvantagens e os respectivos fabricantes em nível mundial

Tabela 2.4. Resumo das tecnologias fotovoltaicas para aplicações terrestres.

TIPO DE CÉLULA	EFICIÊNCIA (%)		VANTAGEM	DESVANTAGEM	FABRICANTES
	LAB	PROD.			
Silício Monocristalino	19,1	12 a 14	• Tecnologia desenvolvida e provada. • Estável. • Maior eficiência. • É fabricado em células quadradas	• Utiliza muito material caro. • Muito desperdício (quase a metade) • Manufatura custosa	• Siemens (Alemanha) • Solec (USA) • Solarex (USA) • Tidelands (USA) • CEL (Índia) • Hoxan (Japão) • PB Solar (UK) • Pragma (Itália) • Ansaldo (Itália) • Nippon Elec. (Japão) • Sharp (Japão) • Helios (Itália) • Hitachi (Japão) • Mitsubishi (Japão) • Kyocera (Japão) • Heliodynâmica (Brasil) • Bharat (Índia) • Isofotón (Espanha) • Komatsu (Japão)
Silício Policristalino	18	11 a 13	• Tecnologia bem desenvolvida e provada • Estável • Boa eficiência • Células quadradas • Menos custoso que o monocristal	• Material Custoso • Muito desperdício • Manufatura custosa • Menor eficiência que o monocristal	• Solarex (USA) • Pragma (Itália) • Photowatt (Franzia) • AEG (Alemanha) • Kyocera (Japão)

Tabela 2.4. Resumo da tecnologia fotovoltaica, continuação...

Silício laminado	15	11 a 13,5	• Menos material desperdiçado • Potencial para rapidez de manufatura • Boa Eficiência	• Complexidade no crescimento do cristal	ASE (USA) Westinghouse (USA)
Silício Amorfo e de filme fino	11,5	4 a 8	• Utiliza pouco material • Alto potencial e produção muito rápida • Custo baixo, 50% do silício cristalino • Menos afetado por baixos níveis de insolação	• Degradação inicial pronunciada • Menor eficiência • Menor durabilidade	Chronar (USA) Solarex (USA) Sovonics (USA) Sanyo (Japão) Sharp (Japão) Kaneka (Japão) Taiyo Yuden (Japão)

CAPÍTULO III. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

3.1. INTRODUÇÃO

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são aqueles em que sua instalação está vinculada ao fornecimento de energia para a rede pública, para venda de energia ou como apoio ao sistema de distribuição ou geração convencional.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCRs) são uma das aplicações da energia solar fotovoltaica que mais cresceu nos últimos anos, dado o seu elevado potencial de utilização nas zonas urbanizadas conectadas à rede elétrica. Estes são formados (constituídos) por um gerador fotovoltaico conectado à rede convencional através de um inversor, promovendo um intercâmbio energético entre esta e o sistema fotovoltaico. Assim, o sistema entrega energia à rede quando a sua produção supera o consumo do local e extrai energia da rede em caso contrário.

A diferença fundamental entre um sistema fotovoltaico autônomo e os conectados à rede consiste na ausência, nestes últimos, do sistema de armazenagem, formado pelas baterias e regulador de carga, que aumenta em muitos casos os custos de instalação em até 89% (MORTENSEN, 2001).

Um dos fatores favoráveis dos sistemas conectados à rede, é a possibilidade de melhorar a qualidade do serviço da energia fornecida pela rede, já que, a máxima produção de energia do sistema fotovoltaico coincide com horas nas quais existem problemas de fornecimento para as companhias elétricas devido à maior demanda.

3.2. ELEMENTOS PRINCIPAIS DE UM SFCR

A figura 3.1 representa um esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Os elementos principais de um SFCR são:

- Gerador fotovoltaico;
- Inversor;
- Medidores de energia.

3.2.1. Gerador Fotovoltaico (GFV):

O gerador fotovoltaico mostrado na figura 3.1, é chamado de arranjo fotovoltaico; este é o coração do sistema, é um arranjo de painéis fotovoltaicos em série e/ou paralelo com a finalidade de conseguir a potência requerida e o nível de tensão necessário ao inversor. A energia elétrica gerada por estes equipamentos é em corrente contínua (CC), como já visto no capítulo anterior.

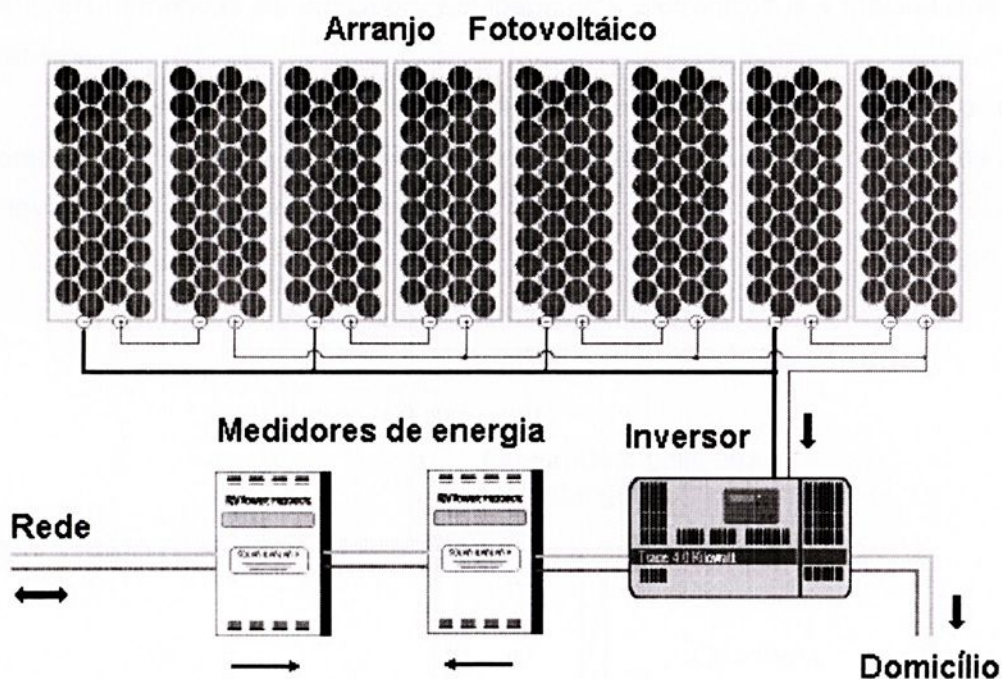


Figura.- 3.1.- Componentes de um sistema solar conectado à rede

3.2.2. Inversor:

Um inversor é um conversor de corrente contínua em corrente alternada (DC-AC). Normalmente um inversor é composto por uma etapa sintetizadora e por outra filtradora. A etapa sintetizadora ocupa-se de produzir em sua saída uma onda de impulsos a partir da tensão contínua presente na sua entrada (proveniente do GFV). A etapa filtradora tem como missão a eliminação dos harmônicos não desejados da onda de impulsos, para produzir uma onda totalmente senoidal, que é a necessária para não se ter problemas com a rede. A seguir faz-se uma descrição de algumas características destes equipamentos.

- a. **Forma da onda:** Os inversores geralmente classificam-se pelo tipo de onda que produzem; as três formas mais comuns são a quadrada, a quadrada modificação e a senoidal, a figura 3.2 ilustra estes tipo de onda.

As unidades de **onda quadrada** proporcionam uma saída comutada de corrente alternada (CA). São econômicos e adequados para alimentar alguns equipamentos de corrente alternada como aquecedores com resistências elétricas, ferramentas elétricas, artefatos de mão, lâmpadas incandescentes e cargas resistivas ou motores universais.

Os inversores de **onda quadrada modificada** suportam perturbações transitórias e podem alimentar uma grande variedade de equipamentos de CA, entre os quais, lâmpadas de descarga, equipamentos eletrônicos e a maioria dos motores elétricos.

Finalmente, os inversores de **onda senoidal** produzem um tipo de onda compatível com as da rede elétrica e por essa razão são utilizados para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (GTEF, 1995).

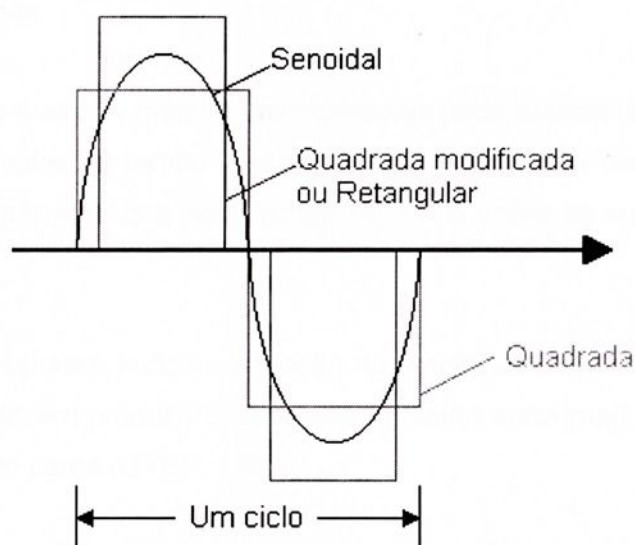


Figura 3.2.- Formas de onda dos inversores.

- b. **Eficiência na conversão de potência:** É a relação entre a potência de saída e a potência de entrada do inversor, para uma dada carga resistiva. O rendimento dos inversores para sistemas independentes varia de acordo com a demanda elétrica dos equipamentos conectados a este. Para sistemas conectados à rede é possível ter rendimentos maiores, visto que nestes sistemas quando não existe demanda, a energia produzida é injetada à rede. Um diferencial de 1% na eficiência do inversor pode resultar em 10% a mais em energia gerada ao longo de um ano (RÜTHER, 1998).

- c. **Potência indicada:** Indica a potência em watts que o inversor pode fornecer durante o seu funcionamento normal. Uma recomendação nestes casos é que seja selecionado um inversor que proporcione de 10 a 20 % da demanda máxima de carga, para aumentar a confiabilidade do sistema e a vida útil do inversor (GTEF, 1995)
- d. **Tensão de entrada:** É necessário bastante atenção neste ponto para que, no momento da instalação, o arranjo fotovoltaico não ultrapasse o nível de tensão de entrada do inversor. Normalmente, a tensão nominal de entrada do inversor aumenta com o aumento da demanda da carga, o que mantém a corrente em níveis adequados (GTEF, 1995).
- e. **Tensão de saída:** A tensão de saída da maioria dos inversores é regulada pelo próprio inversor e atende às especificações necessárias para alimentar as cargas que serão alimentadas.
- f. **Capacidade de surto:** A maioria dos inversores pode exceder a sua potência nominal por curtos intervalos de tempo. Alguns motores em CA, na partida, no acionamento, necessitam de corrente que pode atingir de 3 a 6 vezes as suas correntes nominais (GTEF, 1995).
- g. **Regulação da tensão:** Indica a variação de amplitude permitida na tensão de saída. Os inversores devem produzir uma tensão de saída aproximadamente constante para variados tipos de carga (GTEF, 1995).
- h. **Frequência:** Estes aparelhos são fabricados para operar numa frequência específica. Alguns tipos necessitam de uma cuidadosa regulação de frequência pois variações podem causar problemas na rede. A frequência do sinal da saída CA para o Brasil é de 60 Hz.
- i. **Modularidade:** Em alguns sistemas o uso de múltiplos inversores é muito vantajoso. Eles podem ser conectados em paralelo para operar com diferentes cargas. Em algumas instalações existe um chaveamento de carga manual, para permitir que o inversor possa atender às cargas críticas em caso de falha. Esta característica aumenta a confiabilidade do sistema.
- j. **Fator de potência:** As cargas mais comuns em instalações residenciais, são indutivas com o fator de potência que pode chegar a 0,5. Os melhores inversores são

projetados para compensarem as cargas indutivas e manterem o fator de potência próximo de 1; isto reduz a corrente necessária para qualquer nível de potência.

- k. **Consumo de potência sem carga:** Chamado de consumo em **Standby**, é a potência que o inversor consome quando nenhuma carga está sendo alimentada. Alguns inversores verificam a presença de carga automaticamente e no momento que uma carga for detectada o inversor é ativado, implicando numa redução do consumo permanente. Durante a noite, alguns tipos de inversores desligam-se automaticamente da rede para evitar estes problemas.

Existem dois tipos de inversores destinados para instalações fotovoltaicas conectadas à rede pública:

- Inversores comutados pela própria rede elétrica, onde o sinal da rede é utilizado para sincronizar o inversor com a rede.
- Inversores auto-comutados, onde um circuito eletrônico no inversor controla e atrela a entrega de energia à rede.

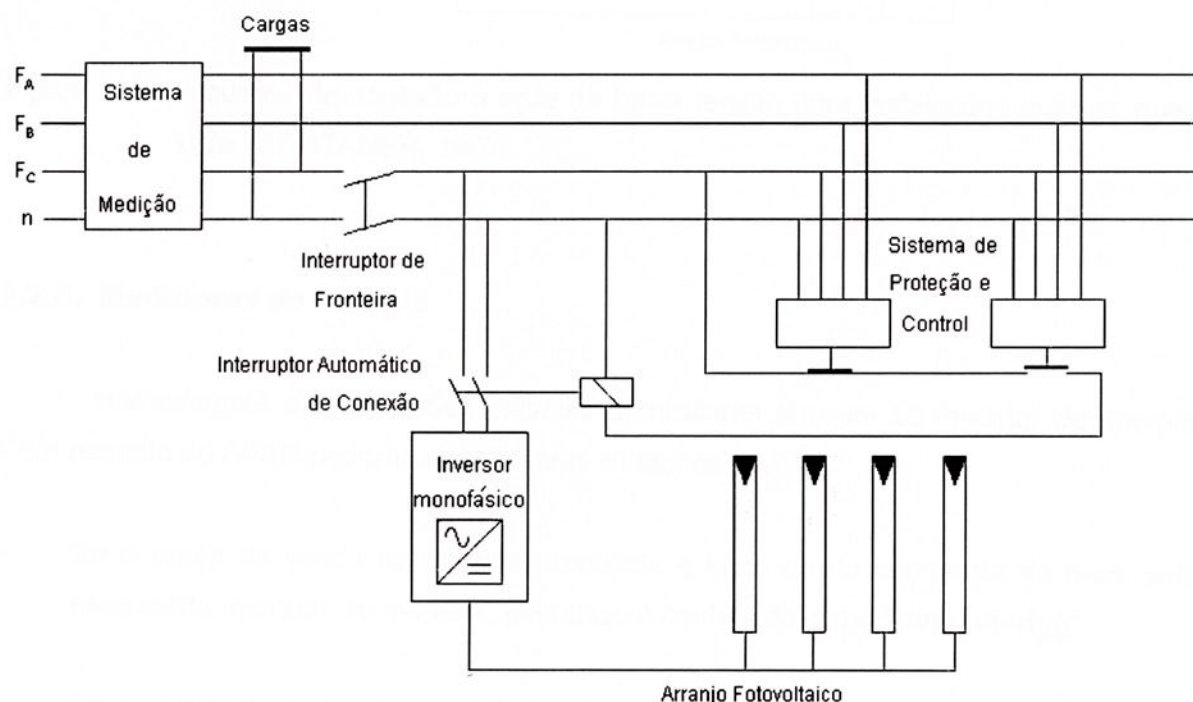


Figura 3.3.- Esquema de conexão à rede de baixa tensão para instalações menores que 5 kWp (MONTANER, 1997)

Na Espanha, um dos países com muita experiência nestes sistemas, recomendam-se que para instalações maiores que 5 kWp os inversores sejam trifásicos e para instalações menores são recomendados inversores monofásicos (MONTANER, 1997). As figuras 3.3 e 3.4 representam os esquemas elétricos para estas instalações. A figura 3.5 é o esquema unifilar com inversor monofásico.

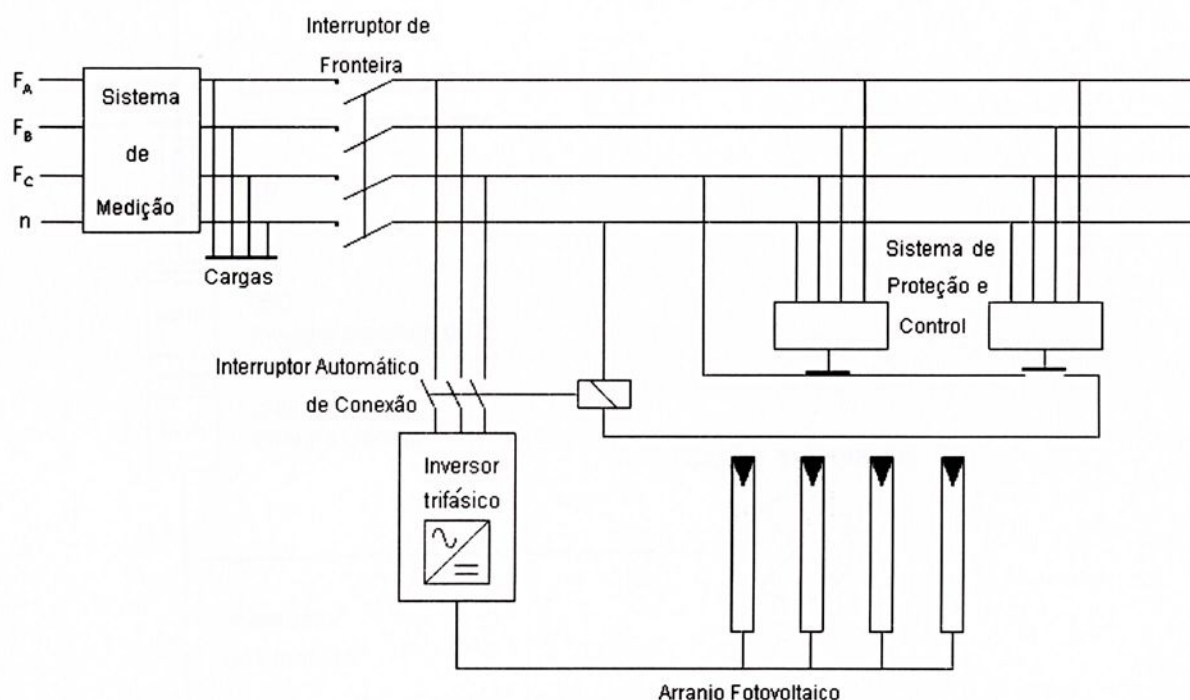


Figura 3.4.- Esquema de conexão à rede de baixa tensão para instalações maiores que 5 kWp (MONTANER, 1997).

3.2.3. Medidores de energia

Normalmente as instalações elétricas domiciliares tem um só medidor de energia. Com respeito ao SFCR poderão ocorrer duas situações.

- Se o preço de venda da energia produzida é igual ao da comprada da rede, será necessário usar um só medidor, este caso é conhecido como **"net metering"**.
- Se o custo da energia produzida é diferente daquele da comprada da rede, são necessários dois medidores: Um deles é para medir o consumo e outro é para medir a produção do sistema fotovoltaico; este caso é conhecido como **"dual metering"** (EIFFERT; THOMPSON, 2000), a figura 3.5 ilustra este caso.

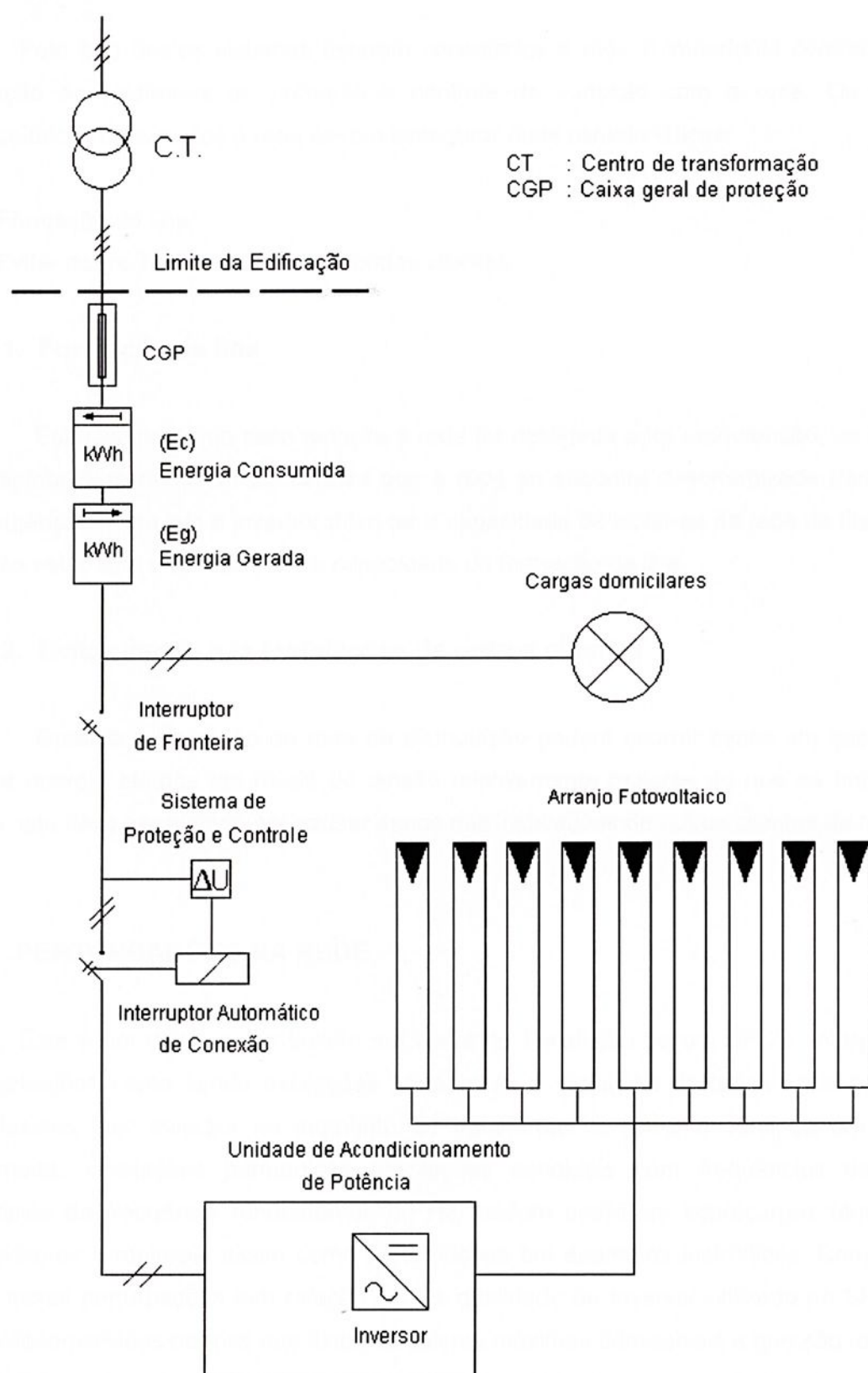


Figura 3.5.- Instalação fotovoltaica com inversor monofásico e sistema dual metering.

3.3. SISTEMAS DE PROTEÇÃO E CONTROLE

Pelo fato destes sistemas estarem conectados à rede é importante centrar a nossa atenção aos sistemas de proteção e controle da conexão com a rede. Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede devem assegurar duas características:

- Formação de Ilha,
- Evitar danos nas instalações de outros clientes.

3.3.1. Formação de Ilha

Especialmente no caso em que a rede for desligada para manutenção, os operários da distribuidora precisam ter certeza que a rede se encontra desenergizada para realizar manutenção. Para isto o inversor deve ter a capacidade de isolar-se da rede de distribuição. Diz-se então que o inversor tem a capacidade de formação de ilha.

3.3.2. Evitar danos nas instalações de outros clientes

Durante a operação da rede de distribuição podem ocorrer casos em que o SFCR injete energia elétrica em níveis de tensão relativamente maiores do que os nominais da rede, isto deve ser evitado por causar danos nas instalações de outros clientes da rede.

3.4. PERTURBAÇÕES NA REDE

Este é um ponto a ser levado em conta na instalação de um SFCR. Interpretam-se perturbações como sendo oscilações harmônicas e variações de tensão que podem ser produzidas pelo inversor no momento de transformar a corrente contínua em corrente alternada. Oscilações harmônicas (oscilações senoidais com frequências de valores múltiplos da frequência fundamental, 60 Hz) podem ocasionar sobrecargas térmicas em capacitores e motores, assim como perturbações em aparelhos eletrônicos. Considerando que essas perturbações tem relação com a qualidade do inversor utilizado no SFCR, têm sido desenvolvidas normas que fixam os valores máximos admissíveis e que são referências para fabricantes dos inversores. Tendo a certeza de que o inversor cumpre com essas normas, pode-se garantir que o SFCR poderá ser instalado em qualquer ponto da rede de distribuição sem nenhum problema para esta.

3.5. COMPATIBILIDADE COM O ARRANJO FOTOVOLTAICO

A tensão máxima de operação do arranjo fotovoltaico deve ser compatível com a tensão (CC) nominal de entrada do inversor. A tensão máxima de circuito aberto do arranjo fotovoltaico deve estar dentro do limite máximo de tensão que o inversor pode tolerar. Seguidores do ponto de máxima potência são normalmente utilizados em inversores conectados à rede elétrica para controlar a tensão de operação do arranjo fotovoltaico.

3.6. A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL

Mais de uma dezena de países têm tido alguma experiência de incentivo aos SFCR. Merecem atenção especial os casos da Austrália e da Alemanha, que independentemente dos programas específicos que tem implementado, regulamentaram por lei que toda geração de energia elétrica renovável recebesse no mínimo 80% do valor da tarifa de mercado. Com isso conseguiu-se diferenciar a energia elétrica gerada com tecnologias que usam fontes renováveis daquela gerada com tecnologias convencionais.

No caso de programas de incentivos específicos, os mais agressivos têm sido os casos da Alemanha e da Suíça, que atribuem um preço de recompra entre 5 a 6 vezes o preço de mercado. Depois, têm-se os casos de Japão, Holanda e Itália, com um preço de recompra entre 1 a 1,2 vezes o preço de mercado. Finalmente, destacam-se Austrália, Portugal, França e o Reino Unido, que tem implementado programas com preços de recompra menores do que a metade do preço de mercado.

Os mecanismos para a arrecadação dos recursos para a sustentação desses programas foram diversos, mas aqueles que conseguiram melhores resultados foram os da Alemanha e Espanha. Nessas experiências, o programa é financiado com uma sobretaxa na tarifa de todos os clientes das empresas elétricas, que pode variar entre 0,6% e 1% do preço final da eletricidade, favorecendo e incentivando implantações dos SFCR.



CAPITULO IV. O PRIMEIRO SFCR DO BRASIL

4.1. INTRODUÇÃO

Em setembro de 1997, colocou-se em operação, no Campus da Universidade Federal de Santa Catarina na cidade de Florianópolis, a primeira instalação solar fotovoltaica integrada a uma edificação urbana e interligada à rede elétrica pública no Brasil. O sistema foi projetado originalmente para atender a demanda elétrica de uma família típica brasileira, uma família de 4 pessoas. A instalação tem uma potência de 2078 Wp, em CC e em condições normais de irradiação (1000 W/m^2), temperatura de operação de 25°C e massa de ar (AM) de 1,5. É composto por 68 painéis de vidro sem moldura de $60 \times 100 \text{ cm}$, 54 deles opacos e 14 semitransparentes, com um área total de $40,8 \text{ m}^2$. A instalação possui um sistema inversor, sensores de irradiação, temperatura e um sistema de aquisição de dados. A figura 4.1 amostra um esquema da instalação que opera com performance satisfatória desde sua instalação.

ESQUEMA DA INSTALAÇÃO

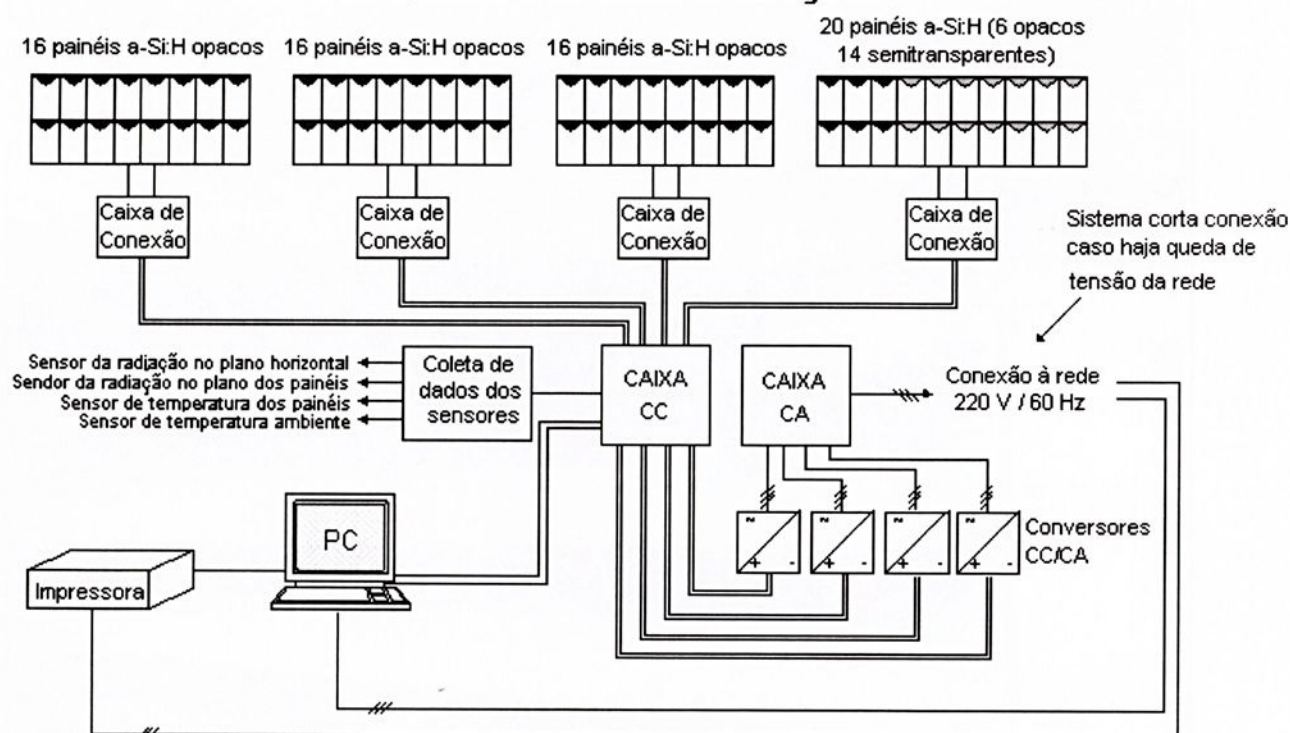


Figura.- 4.1.- Diagrama esquemático do SFCR, no prédio do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

O sistema está instalado sobre o "bloco A" do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, onde encontra-se também instalada uma estação solarimétrica. Os painéis encontram-se dispostos na parte norte do edifício, orientados ao norte com um desvio de 6° para o leste. Geralmente em Florianópolis, as manhãs apresentam um céu mais claro e o reflexo naquela direção também é maior; isto faz com que esta orientação seja favorável. As perdas por sombreamento são desprezíveis já que não existem obstruções por outra edificação ou vegetação. Os painéis estão montados sobre um mesmo plano, com uma inclinação igual à latitude ($\sim 27^\circ$ para maximizar a oferta de sol durante todo o ano). O sistema utiliza uma configuração em paralelo para a conexão dos painéis a quatro inversores independentes. Apesar da instalação apresentar uma superfície única, com 68 painéis, há uma subdivisão em 4 subsistemas de aproximadamente 500 Wp aproximadamente cada um, conectados a 4 inversores de alto rendimento de 650 Wp (eficiência de 93% do tipo comutado pela rede e com onda senoidal). O fornecimento da energia é controlado por microprocessadores que rastreiam o ponto de máxima potência dos painéis. Durante a noite, o sistema desconecta-se da rede através de relês para evitar perdas por **stand by**.

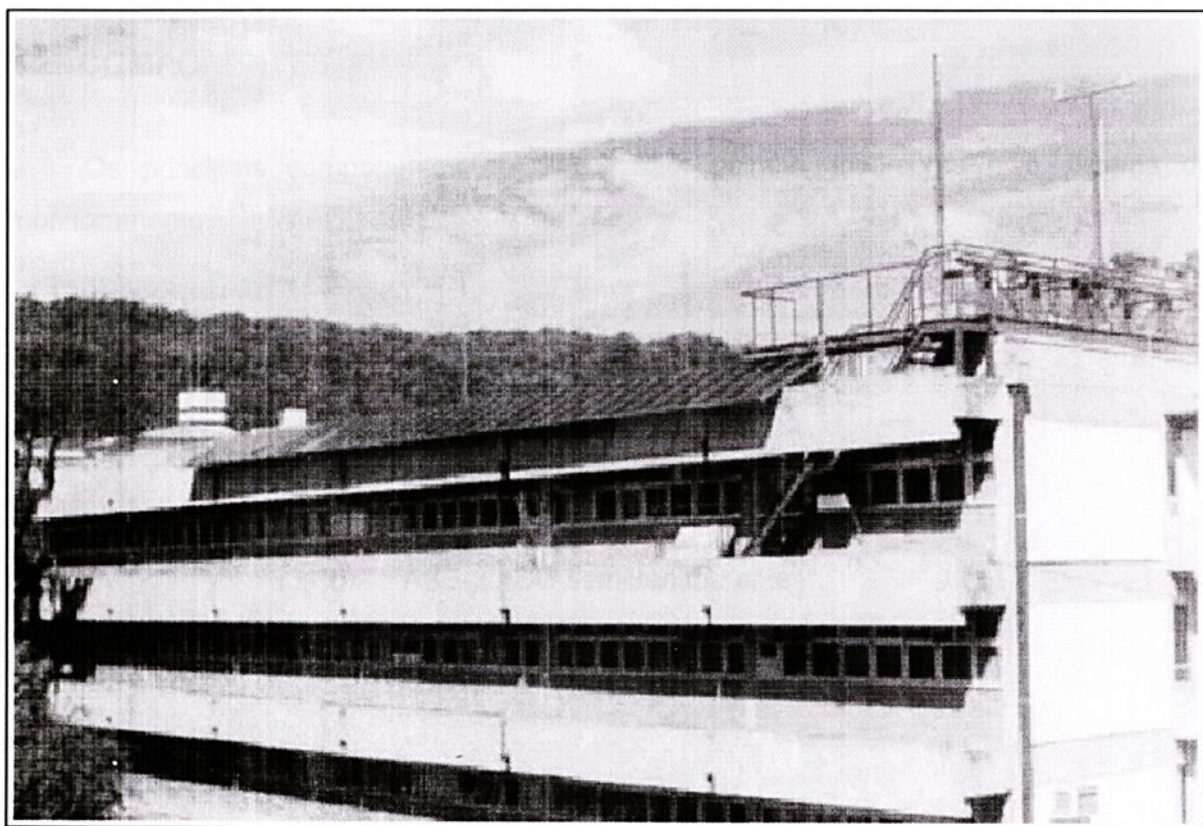


Figura.- 4.2.- Instalação dos módulos do SFCR, na Universidade Federal de Santa Catarina.

O sistema foi dividido em 4 subsistemas, para proporcionar maior segurança, já que nestes sistemas o equipamento que pode falhar é o inversor (ainda que a possibilidade é um tanto remota). Portanto, se existe um só inversor e este falha, todo o sistema sai de operação. Ao subdividir, tem-se 4 inversores de 650 kW; se um deles falha, só sai fora de serviço um quarto da instalação, tendo-se ainda a possibilidade de redistribuir a energia gerada pelos painéis do sistema que estão fora de serviço para os outros três grupos, já que eles podem suportar esta carga devido ao seu fator de segurança, até que o inversor em falha seja reparado ou trocado. A probabilidade que todos os inversores falhem ao mesmo tempo é muito remota.

Outra vantagem desta configuração é que como a potência máxima gerada por cada subsistema está próxima da região de eficiência máxima do inversor (isto acontece abaixo da região de potência máxima do inversor), o rendimento do sistema inversor é otimizado. Finalmente, o sistema está conectado a uma das fases do barramento trifásico do prédio onde encontra-se a instalação elétrica. A conexão à rede é feita por **net metering** e está formalmente autorizada pela concessionária elétrica local (CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina).

4.2. COMPONENTES

Os principais componentes do SFCR são: painéis, inversores e o sistema de monitoramento.

4.2.1. Painéis

A figura 4.3 mostra um módulo típico usado no sistema.

Modelo	: ASE-30-DG opaco
	: ASE-30-DG semitransparente
Potência pico	: 32 Wp
Voltagem a potência max.	: 36 V
Corrente a potência max.	: 0,89 A e 0,75 A
Corrente de curto circuito	: 1,13 A e 1,02 A

Voltagem de circuito aberto : 49 V

Eficiência de conversão energética : 6,3 %

Dimensões : 1000 x 600 mm

Espessura : 9 mm

Espessura com conectores : 21 mm

Massa : 12 kg

Tipo : Silício amorfo de película fina (a-Si:H), superfície de cor marrom, os painéis semitransparentes tem 10% de transparência.

Conexões elétricas : Condutor resistente à radiação ultravioleta, com duplo isolamento, seção: 1,94 mm² por polo, diâmetro externo de condutor: 2,26 mm.

Temperatura de operação : -40 a +85 °C

Carga max. na superfície : 1440 N (2400 N/m²)

Cumprir com os requerimentos do CEC 701 (conforme ao IEC 61215), proteção elétrica classe II.



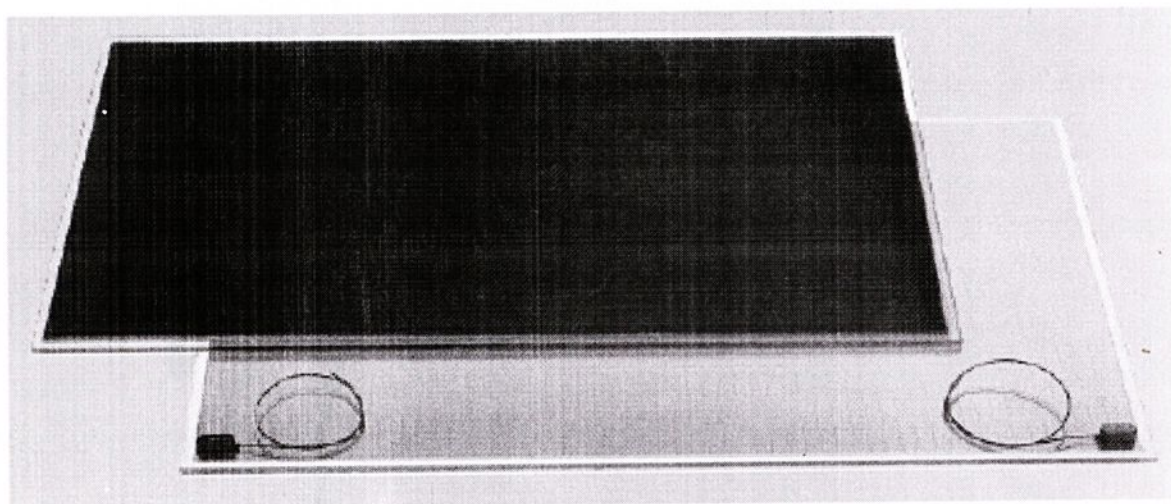


Figura 4.3.- Módulo ASE-30-DG-UT opaco, usado na instalação

4.2.2. Inversor

A figura 4.4 mostra a curva característica de eficiência do inversor usado.

Marca	: Würth Elektronik
Modelo	: Würth Elektronik Netzwechselrichter WE 500 NWR
Potência nominal	: 650 Watt AC
Máxima potência de entrada	: 800 Watt CC
Eficiência	: entre 100 e 650 Watt > 90 % : máxima: 93%
Tensão de entrada	: 25 V - 55 V (DC)
Frequência de saída	: senoidal 60 Hz $\pm$ 1Hz
Tensão de saída	: 120 V (AC $\pm$ 10%)

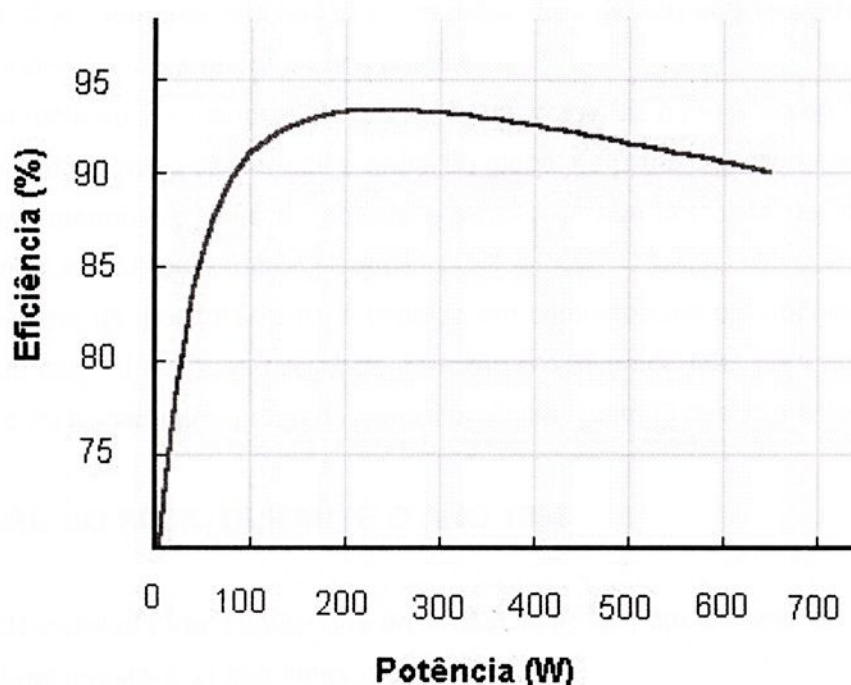


Figura 4.4.- Curva típica de eficiência de conversão CC-CA em função da potência para um inversor de 650W Würth Elektronik [WÜRTH, 1996].

Temp. de operação : -25 a +60 °C

Norma de fabricação : DIN VDE 0838/EN 16555

Emissão de ruído : 35 dB

Dimensões : 240 x 300 x 120 mm

Massa : 10 kg

Isolamento elétrico da rede : Transformador com núcleo toroidal

procedência : Alemanha

4.2.3. Sistema de Monitoramento

O sistema é constantemente monitorado por um sistema dedicado, composto pelos sensores conectados a um computador que tem instalado um programa de coleta e armazenagem de dados (ver figura 4.1).

Existem 2 sensores de temperatura, um deles para monitorar a temperatura ambiente e outro para monitorar a temperatura dos painéis.

Existem também 2 medidores de radiação, um deles faz a medição da radiação global no plano horizontal e outro para medir a radiação global no plano dos módulos.

Também, medem-se tanto a corrente e tensão gerada por cada um dos subgrupos, como a potência em CA para todo o sistema.

Este sistema de monitoramento é vendido em conjunto com os módulos, como um kit integrado¹, em conjunto com as caixas de conexão e o inversor. Mas para nosso sistema, o inversor único foi trocado por quatro de menor potência, como já descrito anteriormente.

4.3. ANÁLISE DO SFCR, DURANTE O ANO 1998

O SFCR instalado nas instalações do LABSOLAR tem um sistema de monitoramento dedicado, o qual monitora as seguintes variáveis.

- Temperatura ambiente
- Temperatura dos módulos
- Radiação no plano horizontal
- Radiação no plano dos módulos
- Intensidade de corrente de cada um dos subsistemas
- Tensão gerada por cada um dos subsistemas
- Potência total do sistema em CA.

Estes dados são armazenados num arquivo diário. A aquisição dos dados é feita a cada 4 minutos, 24 horas por dia, durante 365 dias por ano. Existem dias em que parte destes dados não estão disponíveis, como se verá mais adiante. Isto, deve-se em parte à saída de serviço da rede em algumas oportunidades por qualquer motivo que o SFCR deixa de injetar energia à rede, que é o esperado nestes casos.

Os dados tomados pelo sistema de monitoramento, servem para analisar a performance de nosso sistema. Com esses dados podemos calcular os seguintes parâmetros:

- Potência Solar que chega aos grupos (W)
- Potência CC, produzida por cada grupo (W_{CC})
- Eficiência fotovoltaica de cada grupo (%)

¹ As características técnicas deste kit encontra-se no anexo B.



- Potência CC. gerada por todo o sistema (W_{cc})
- Potência Solar que chega ao sistema total (W)
- Eficiência fotovoltaica de todo o sistema (%)
- Eficiência do inversor (%)
- Eficiência total do sistema (%)
- Energia elétrica produzida (C.A.)
- Irradiação total
- AC Yield do sistema (kWh/kWp)
- AC Yield do sistema (kWh/m²)
- Performace Rate do sistema

Outro dado a utilizar é a área de cada um dos subgrupos e a área total do sistema, que são:

Grupo 1	: 9,6 m ²
Grupo 2	: 9,6 m ²
Grupo 3	: 12 m ²
Grupo 4	: 9,6 m ²
Total	: 40,8 m ²

4.4. RELAÇÕES UTILIZADAS

Os dados são organizados em arquivos mensais, sendo que nestes arquivos, os dados são colocados em ordem diária. Com este dados pode-se estabelecer os seguintes parâmetros.

4.4.1. Potência Solar que atinge cada grupo

Pode-se encontrar com a seguinte relação:

$$G_n = G_g * A$$

(4.1)

Onde:

- G_n : Potência Solar que atinge ao grupo "n" (W)
 G_g : Irradiância global no plano dos módulos (W/m^2)
 A : Área do grupo "n" (m^2)

4.4.2. Potência CC produzida por cada grupo

A potência produzida por cada grupo (em CC), se deriva da lei de ohm.

$$P_n = V_n \times I_n \quad (4.2)$$

Onde:

- P_n : Potência em CC de cada grupo (W)
 V_n : Tensão produzida pelo respectivo grupo (V)
 I_n : Corrente do respectivo grupo (A)

4.4.3. Eficiência fotovoltaica de cada grupo

Para encontrar a eficiência fotovoltaica relaciona-se a potência elétrica em CC produzida pelo grupo versus. a potência da radiação solar (Irradiância) que atinge o respectivo grupo.

$$E_n = 100 \times P_{cc}/G_g \quad (4.3)$$

Onde:

- E_n : Eficiência fotovoltaica do grupo "n" (%)
 P_{cc} : Potência em CC do grupo "n" (W)
 G_g : Irradiância que atinge o grupo "n" (W/m^2)

4.4.4. Potência CC produzida pelo sistema

A potência de todo o sistema é a somatória de cada um dos grupos

$$P_{cc} = \sum_{n=1}^4 P_n \quad (4.4)$$

Onde:

P_{cc} : Potência total em CC produzida pelo sistema

P_n : Potência em CC produzida no grupo "n"

4.4.5. Potência Solar que atinge o sistema total

A Irradiância total que atinge todo o sistema é a Irradiância que atinge no plano dos módulos multiplicada pela área total, assim:

$$G_t = G_n \times A \quad (4.5)$$

Onde:

G_t : Potência Solar total que atinge o sistema (W)

G_n : Irradiância no plano dos módulos (W/m^2)

A : Área (m^2), para nosso caso $40,8 m^2$

4.4.6. Eficiência fotovoltaica de todo o sistema

Para este caso usam-se os dados encontrados anteriormente:

$$E_{cc} = 100 \times P_{cc} / G_t \quad (4.6)$$

Onde:

E_{cc} : Eficiência CC do sistema (%)

P_{cc} : Potência elétrica em CC de todo o sistema (W)

G_t : Potência Solar total que atinge todo o sistema (W)

4.4.7. Eficiência do sistema inversor

A eficiência do sistema inversor é calculada utilizando a potência total. Assim o valor encontrado refere-se aos quatro inversores e não somente a um deles.

$$E_i = 100 \times P_{CA} / P_{CC} \quad (4.7)$$

Onde:

- E_i : Eficiência do inversor (%)
 P_{CA} : Potência CA. de todo o sistema (W)
 P_{CC} : Potência CC. de todo o sistema (W)

4.4.8. Eficiência total do sistema

A energia produzida é influenciada pela eficiência total dos módulos e pela eficiência de conversão do grupo inversor, portanto:

$$E_T = E_{cc} \times E_i / 100 \quad (4.8)$$

Onde:

- E_T : Eficiência total do sistema (%)
 E_{cc} : Eficiência fotovoltaica do sistema (CC.) (%)
 E_i : Eficiência do sistema inversor (%)

4.4.9. Energia elétrica total produzida

A energia produzida é a área abaixo da curva da potência durante um período de tempo, para o nosso caso diariamente. O sistema

$$E_d = \sum_{i=1}^{360} \left(P_{CA_i} \times \frac{4}{60} \right) \quad (4.9)$$

Onde:

- E_d : Energia elétrica produzida diariamente em CA (Wh/dia)
 P_{CA} : Potência elétrica do sistema em CA (W)

Logo é calculada a energia elétrica produzida durante um mês e de todo o ano somando todos os dias e mensalmente, de acordo com o:

$$E_m = \sum_{i=1}^{30} E_{d_i} \quad (4.10)$$

$$E_a = \sum_{i=1}^{12} E_{m_i} \quad (4.11)$$

Onde:

E_d : Energia elétrica produzida diariamente (Wh/dia)

E_m : Energia elétrica mensal produzida pelo sistema (Wh/mes)

E_a : Energia anual produzida pelo sistema (Wh/año)

4.4.10. Irradiação Total que atinge o sistema

A irradiação solar total é a energia que atinge o sistema; semelhante ao caso anterior esta é determinada pela área abaixo da curva da potência solar (Irradiância) que atinge o sistema durante um período de tempo.

$$H_d = \sum_{i=1}^{365} \left(G_{t_i} \times \frac{4}{60} \right) \quad (4.12)$$

Onde:

H_d : Irradiação total que atinge o sistema durante um dia (Wh/dia)

G_t : Irradiância total do sistema no tempo i (W)

Calcula-se a irradiação que atingiu durante todo um mês e logo durante o ano somando a irradiação diária e mensal, de acordo ao caso:

$$H_m = \sum_{i=1}^n H \quad (4.13)$$

$$H_a = \sum_{i=1}^{12} H_m \quad (4.14)$$

Onde:

- H_m : Irradiação que atinge o sistema durante um mês (Wh/mês)
 H : Irradiação diária que atinge o sistema (Wh/dia)
 H_a : Irradiação anual que atinge o sistema (Wh/ano)
 n : em nosso caso se refere-se ao número de dias de cada mês.

4.4.11. AC Yield do Sistema

Para poder fazer comparações entre sistemas é necessário obterem-se parâmetros, como por exemplo o Yield AC do sistema por um ano. Existem varias relações, uma delas relaciona a energia gerada pelo sistema fotovoltaico (kWh), medida na saída do inversor (AC) relativamente à potência do sistema (kWp).

$$\text{Yield} = E_a / \text{kWp} \quad (4.15)$$

Onde:

- E_a : Energia elétrica produzida durante o ano (kWh),
 kWp : Potência nominal do sistema (kW).

Também existe outra relação entre a energia gerada pelo sistema fotovoltaico (kWh), medido à saída do inversor (AC) relativo a área do sistema (m^2) (ERGE; HOFFMANN; KIEFER, 2001).

$$\text{Yield} = E_a / A \quad (4.16)$$

Onde:

- E_a : Energia elétrica produzida durante o ano (kWh),
 A : Área do sistema (m^2).

4.4.12. Performance Ratio

Este dado serve para avaliar a eficiência de conversão da energia solar irradiada sobre o nosso sistema:



$$PR = \frac{E_a}{H_a \eta_{STC}} \quad (4.17)$$

Onde

- H_a : Irradiação anual que atinge o sistema (kWh)
 E_a : Energia elétrica produzida durante o ano pelo sistema (kWh)
 η_{STC} : Eficiência nominal do arranjo a condições normais. Para nosso caso é considerado que o arranjo tem a eficiência de um painel.

4.5. RESULTADOS

Devido à grande quantidade de dados com que se trabalha, os resultados obtidos são apresentados em forma de tabelas e gráficos no anexo.

A energia produzida pelo sistema foi: **2644,31 kWh**, o sistema apresentou uma eficiência de **4,46 %**. A quantidade de energia que atingiu o sistema (Irradiação) durante todo o ano foi de: **59300,84 kWh**. O mês de maior produção foi o dezembro, durante o início de verão e a menor produção deu-se durante setembro, como pode-se observar na tabela 4.1 e na figura 4.5.

O **AC Energy Yield System** durante o ano foi **1272,525 kWh/kWp** e de **64,811 kWh/m²**. O **performance rate** do sistema no ano foi **70,8 %**, as tabelas 4.2 a 4.4 mostram o AC energy yield do sistema e o performance rate mensal para o sistema durante o ano 1998.

TABELA 4.1.- Energia produzida durante o ano 1998

Mês	Energ.Produc. (kWh)	Energ.Irrad (kWh)
Janeiro	272,41	5755,50
Fevereiro	208,34	4464,49
Março	257,15	5555,71
Abril	230,54	5073,84
Maio	237,69	5323,73
Junho	207,02	4706,80
Julho	169,29	3898,09
Agosto	164,94	3833,41
Setembro	148,57	3445,81
Outubro	206,14	4766,24
Novembro	251,99	5795,37
Dezembro	290,23	6681,83
TOTAL :	2644,31	59300,84
Eficiência (%):	4,459	

TABELA 4.2.- Energy Yield durante o ano 1998 (kWh/kWp)

Mês	Energ.Produc. (kWh)	Energ.Irrad. (kWh)	Yield (kWh/kWp)
Janeiro	272,41	5755,50	131,09
Fevereiro	208,34	4464,49	100,26
Março	257,15	5555,71	123,75
Abril	230,54	5073,84	110,95
Maio	237,69	5323,73	114,39
Junho	207,02	4706,80	99,62
Julho	169,29	3898,09	81,47
Agosto	164,94	3833,41	79,38
Setembro	148,57	3445,81	71,50
Outubro	206,14	4766,24	99,20
Novembro	251,99	5795,37	121,26
Dezembro	290,23	6681,83	139,67
TOTAL :	2644,31	59300,84	1272,53

TABELA 4.3.- Energy Yield durante o ano 1998 (kWh/m²), com área 40,8 m².

Mês	Energ.Produc. (kWh)	Energ.Irrad. (kWh)	Yield (kWh/m ²)
Janeiro	272,419	5755,50	6,68
Fevereiro	208,34	4464,49	5,11
Março	257,15	5555,71	6,30
Abril	230,54	5073,84	5,65
Maio	237,69	5323,73	5,83
Junho	207,02	4706,81	5,07
Julho	169,29	3898,09	4,15
Agosto	164,94	3833,41	4,04
Setembro	148,57	3445,81	3,64
Outubro	206,14	4766,24	5,05
Novembro	251,99	5795,37	6,18
Dezembro	290,23	6681,83	7,11
TOTAL :	2644,31	59300,839	64,81

TABELA 4.4 Performance Rate mensal do ano 1998

Mês	Energ.Produc. (kWh)	Energ.Irrad. (kWh)	PR
Janeiro	272,41	5755,50	0,75
Fevereiro	208,34	4464,49	0,74
Março	257,15	5555,71	0,74
Abril	230,54	5073,84	0,72
Maio	237,69	5323,73	0,71
Junho	207,02	4706,81	0,70
Julho	169,29	3898,09	0,69
Agosto	164,94	3833,41	0,68
Setembro	148,57	3445,81	0,68
Outubro	206,14	4766,24	0,69
Novembro	251,99	5795,37	0,69
Dezembro	290,23	6681,83	0,69
TOTAL :	2644,31	59300,84	0,71

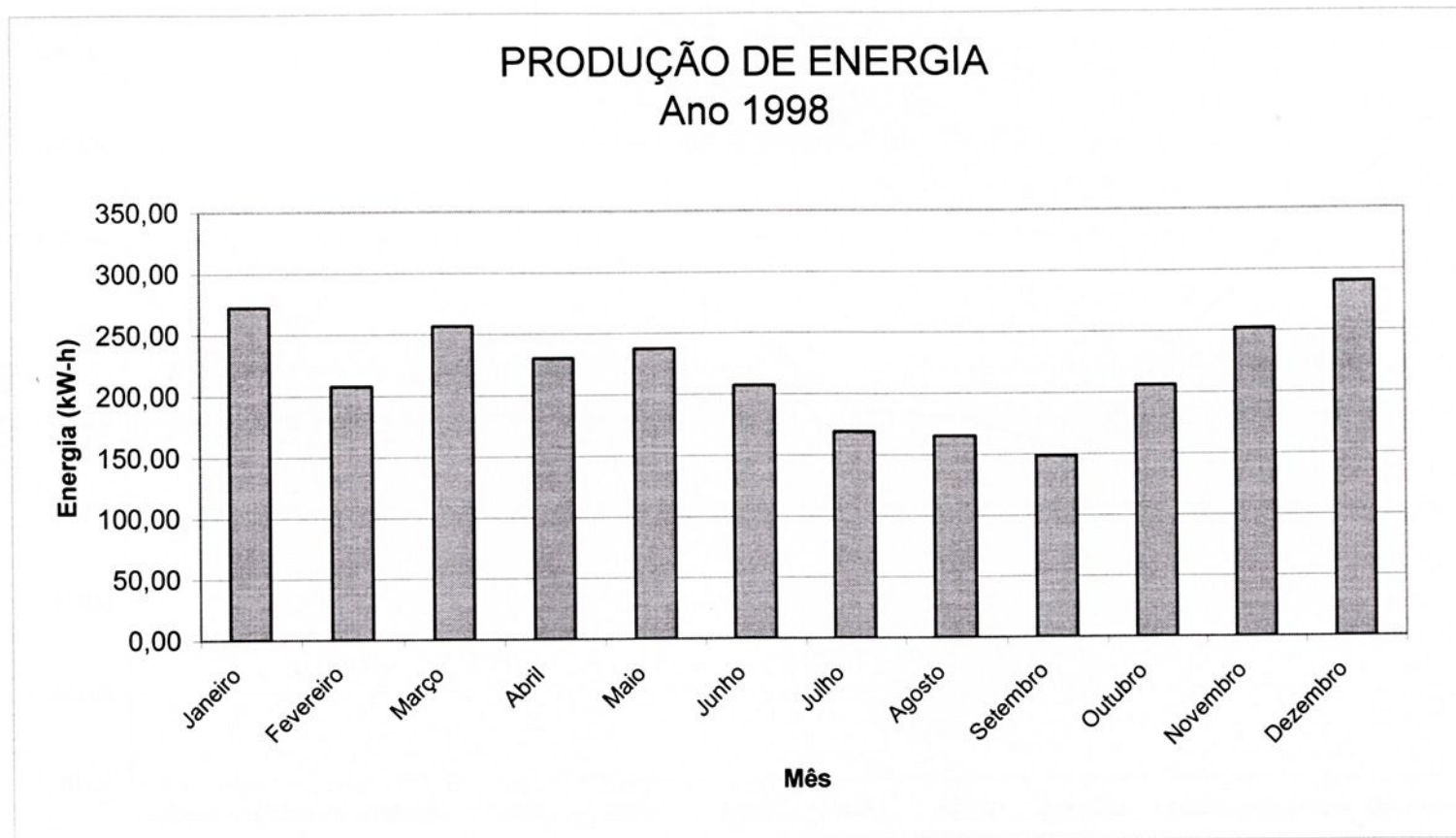
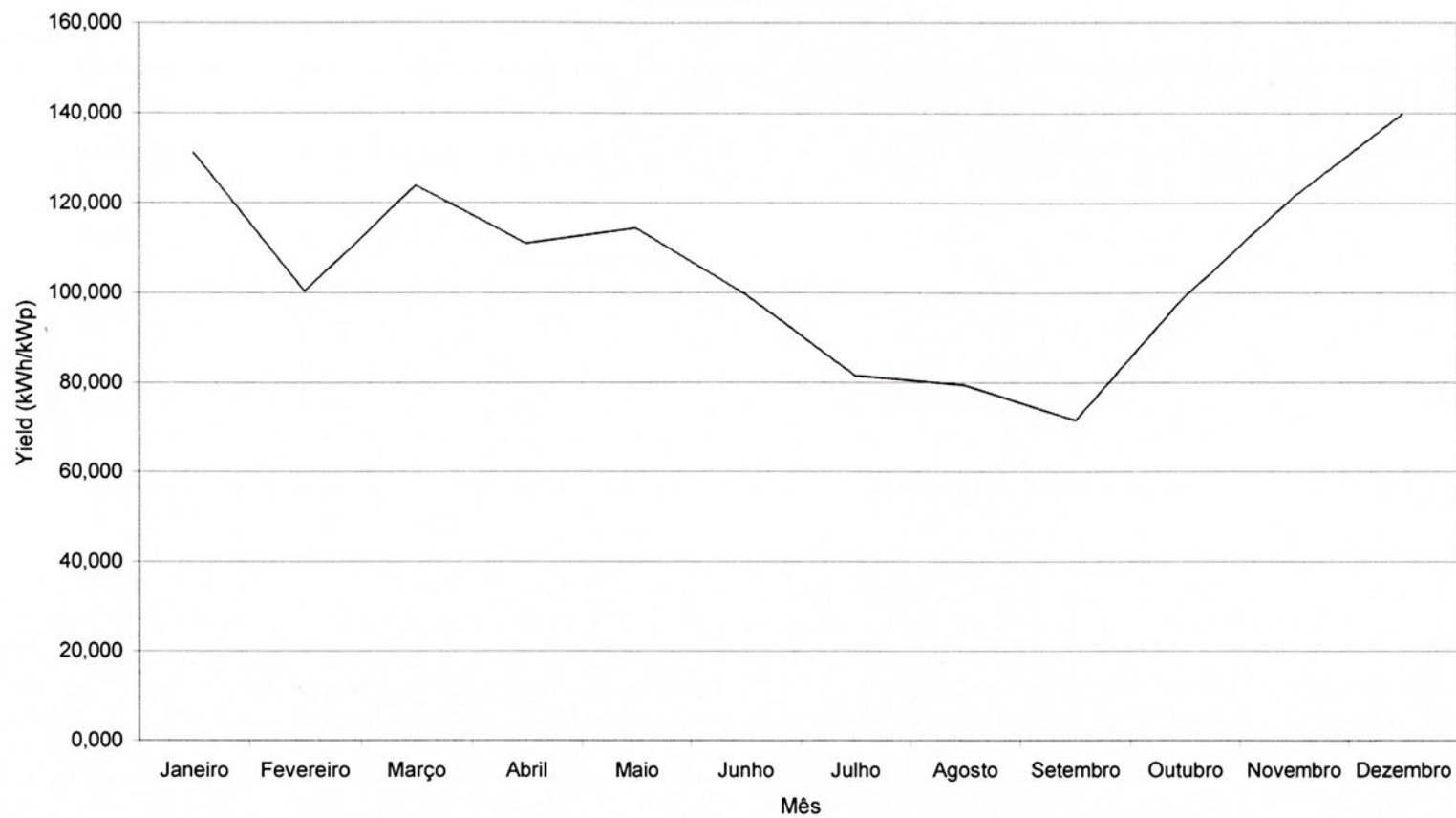


FIGURA 4.5.- Energia produzida durante o ano 1998

AC YIELD MENSAL**FIGURA 4.6.- AC. Energy Yield mensal durante o ano 1998 (kWh/kWp)**

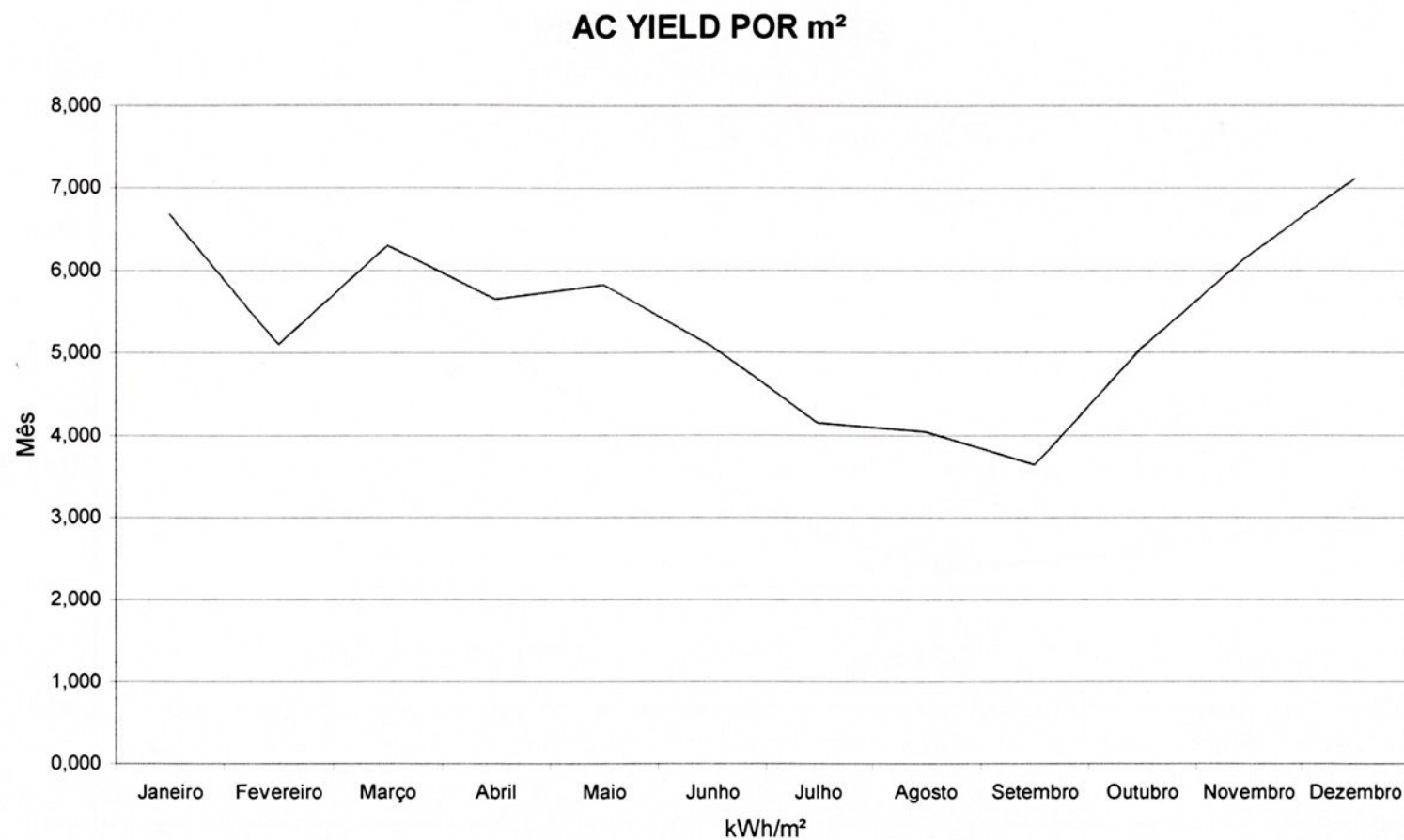


FIGURA 4.7.- AC. Energy Yield mensal durante do ano 1998 (kWh/m²).

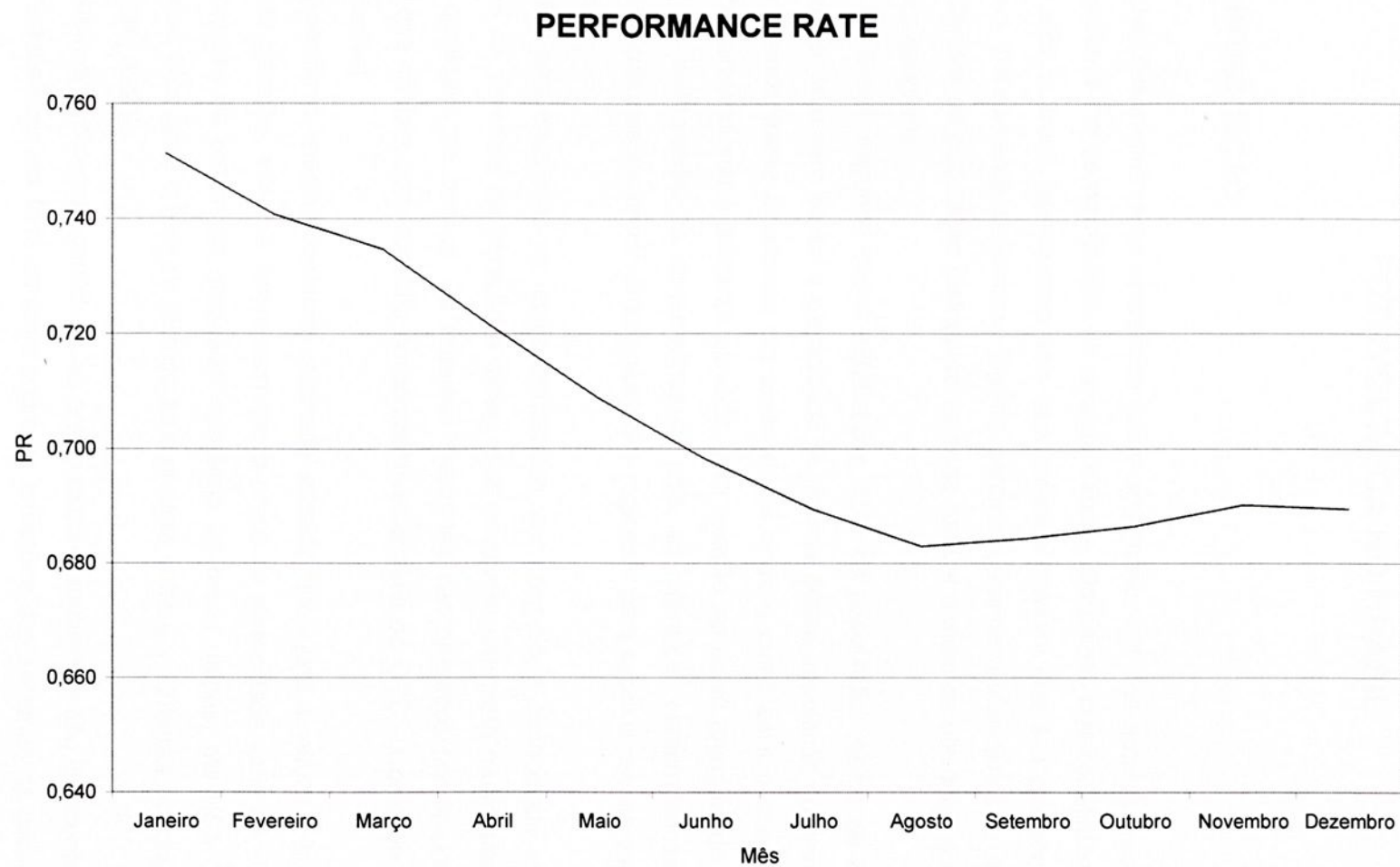


FIGURA 4.8.- Performance Ratio mensal durante o ano 1998

CAPÍTULO V. A NECESSIDADE DE SUBSÍDIO PARA A IMPLANTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

5.1. INTRODUÇÃO

No desenvolvimento energético latino-americano, um dos setores que requer maior reengenharia é o de distribuição de energia elétrica. Os países que constituem essa região, entre eles o Brasil, apresentam uma característica comum, que é a presença de grandes cidades densamente habitadas, alguns centros urbanos secundários e um percentual considerável da população distribuída na zona rural, em meio de um difícil acesso devido à inóspita geografia.

No Brasil, segundo dados estatísticos, 15% da população, (cerca de 25 milhões de habitantes) vive sem acesso à eletricidade. A maioria dessa população sobrevive com baixa renda e encontra-se localizada em áreas rurais onde o custo para o acesso à instalação elétrica convencional é bastante elevado, com relação ao custo marginal de expansão da oferta de eletricidade. As dimensões do país, as diferentes características geográficas, sociais e culturais sugerem várias soluções regionais para suprir a necessidade de energia elétrica.

Em pequenas vilas na região amazônica, por exemplo, a eletricidade está disponível através de sistemas de geração a diesel, que envolvem um custo muito alto associado à baixa qualidade no serviço. Os sistemas existentes são operados por empresas públicas locais que contam com subsídio no combustível através da CCC - Conta de Consumo de Combustível.

Entretanto, mesmo contando com este subsídio que ajuda a reduzir o impacto do alto custo de geração, estudos demonstram que o preço da eletricidade varia de US\$ 0,15/kWh em sistemas da ordem de megawatt operando 24 horas diárias, até US\$ 0,50/kWh em pequenas vilas onde a energia elétrica só é provida entre 6 y 12 horas por dia. (VALENTE; ALMEIDA, 1998).

Além do problema econômico, as preocupações ambientais são crescentes no sentido de se estabelecer um forte controle sobre as emissões dos sistemas de geração a diesel. Assim, o desenvolvimento de tecnologias locais para a geração de energia que não agredam o meio ambiente é estimulado, buscando evitar também a construção de longas e numerosas linhas de transmissão de eletricidade.

Este capítulo tem como objetivo complementar um estudo realizado sobre a viabilidade econômica da implantação de uma microcentral fotovoltaica geradora de 15 kW, para atender as necessidades de demanda elétrica de uma comunidade rural (SILVEIRA; AGUIRRE; GOUVÊA, 2000). A unidade é composta de painéis solares fotovoltaicos que podem ou não estarem interligados à rede elétrica local por meio de conversores CC/CA. Avalia-se a real necessidade de subsídio para aquisição dos componentes do sistema, uma vez que a instalação geradora de energia permite um grande benefício social, a partir de um avanço tecnológico proporcionado em termos de reduzidos custos de operação e manutenção, frente às atuais tecnologias disponíveis no mercado, além de assegurar qualidade de vida mínima para a população de uma comunidade rural isolada no que tange ao acesso à eletricidade.

5.2. ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA FOTO-VOLTAICO

A viabilidade econômica da instalação de um sistema depende do custo de produção de eletricidade cobrir os custos suplementares em relação ao sistema de atendimento convencional. No caso da instalação de um sistema de geração de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos em uma comunidade rural, o benefício anual esperado depende do custo de produção de eletricidade cobrir os custos relacionados à expansão da rede de energia elétrica.

Para o estudo da viabilidade econômica, foi adaptada a metodologia desenvolvida por Silveira (1994) e Silveira, Walter e Luengo (1995) com algumas considerações, entre elas, a adoção de um período de funcionamento do sistema de 6 horas por dia, o que durante um período de 360 dias, representa um tempo de operação de 2160 horas/ano. Este período de funcionamento diário é restrito ao horário em que a oferta de energia solar está disponível, e recomendado como máximo permissível no caso dos sistemas solares fotovoltaicos para a região amazônica.

A avaliação do custo de geração de eletricidade para o sistema fotovoltaico leva em consideração os investimentos necessários na aquisição, instalação e os gastos na operação e manutenção do sistema. No caso da microcentral fotovoltaica de 15 kW, o investimento necessário na aquisição de placas é diretamente proporcional ao custo específico dos painéis solares. Atualmente, esse investimento requerido para a aquisição de placas fotovoltaicas é da ordem de US\$ 4,00 / Wp (BAZZO; RÜTHER; MARTINS, 1999).

Considerando a necessidade de instalação de um inversor e componentes periféricos e estruturais, o investimento pode subir cerca de 25%. Foram consideradas ainda duas possibilidades de estudos econômicos. Na primeira, a comunidade isolada conta com uma

linha de transmissão de eletricidade nas proximidades, o que facilita a sua conexão à rede. Nesse caso, avalia-se o benefício esperado em função do custo da tarifa de eletricidade local. Na segunda, a comunidade isolada não dispõe de recursos de transmissão de energia elétrica e, portanto, a geração de eletricidade através dos sistema fotovoltaico deve suprir a demanda em períodos quando a geração solar for insuficiente (ou à noite). Neste caso, o sistema necessita de um meio de acumulação de energia gerada, com um custo adicional de cerca de 20% relacionado à aquisição e manutenção de baterias, conforme Valente e Almeida (1998).

Levando esses fatores em consideração, o custo de produção de eletricidade (C_{el} , em US\$/kWh) no sistema fotovoltaico pode ser determinado a partir da equação 5.1:

$$C_{el} = \left(\frac{I_{pl} \cdot f}{H \cdot E} \right) + C_{man} + C_{oper} \quad (5.1)$$

Onde:

- C_{el} : Custo de produção de eletricidade [US\$/kWh];
- I_{pl} : Representa o investimento total necessário na planta [US\$];
- H : Número de horas de operação [h/ano];
- C_{man} : Custo de manutenção [US\$/kWh];
- C_{oper} : Custo de operação [US\$/kWh];
- E : Potencia da instalação [kW];
- f : Fator de anualidade [1/ano].

$$f = \frac{q^k \cdot (q - 1)}{q^k - 1} \quad (5.2)$$

com

$$q = 1 + \frac{r}{100} \quad (5.3)$$

Onde:

- r : Taxa anual de juros [%];
- k : Período de amortização ou **pay back** [anos].

No caso da existencia de rede proxima, o benefício anual [US\$/ano] decorrente da implantação do sistema de geração de eletricidade fotovoltaica, calculado conforme a equação (5.4), é determinado pela soma dos ganhos associados à produção de eletricidade. O benefício é função também da eletricidade consumida pela comunidade, que neste caso foi considerada como sendo toda a quantidade produzida (15 kW).

$$\text{Benefício esperado} = E_c \cdot H \cdot (P_{el} - C_{el}) \quad (5.4)$$

Onde:

E_c : Representa a energia elétrica consumida [kW];

P_{el} : Custo unitário de eletricidade [US\$/kWh] que possivelmente seria adquirida a partir de uma concessionária (tarifa elétrica).

Para o caso da comunidade não dispor de recursos de transmissão de energia elétrica, ou seja, caso haja a necessidade de armazenamento, o benefício anual [US\$/kWh] decorrente da implantação do sistema fotovoltaico é calculada pela equação (5.5):

$$\text{Benefício esperado} = E_c \cdot H \cdot (C_{Mex} - C_{el}) \quad (5.5)$$

Onde:

C_{Mex} : Custo marginal de expansão da oferta de energia elétrica [US\$/kWh].

Deve-se observar que este benefício esperado (nos 2 casos) será fortemente influenciado a partir da taxa de subsídio considerada, uma vez que influi diretamente na determinação do investimento total, e portanto, no custo de produção de eletricidade (C_{el}).

Os cálculos foram feitos levando em consideração a redução do custo de produção dos painéis fotovoltaicos. Assim, acompanhando a tendência de queda contínua, foram analisados casos específicos para custos de instalação entre US\$ 2,00 e US\$ 4,00 por Wp. Explorou-se valores até 10 anos para o período de amortização de capital, uma vez que o sistema fotovoltaico apresenta em média, tempo de vida útil de 25 anos (RÜTHER, 1998).

A Figura 5.1 mostra que aos preços atuais de US\$ 4,00/Wp, para taxas de juros de 8% ao ano, o investimento não se torna atraente na ausência de subsídios. Para o caso da comunidade isolada que não possui recursos de distribuição de eletricidade, a análise do benefício esperado foi calculada em função do custo marginal de expansão, ou seja, em

função do custo equivalente para a instalação de sistemas de transmissão de eletricidade. Os resultados mostram que com subsídios de 50%, o sistema será atraente caso o custo marginal da expansão seja superior a US\$ 0,22/kWh.

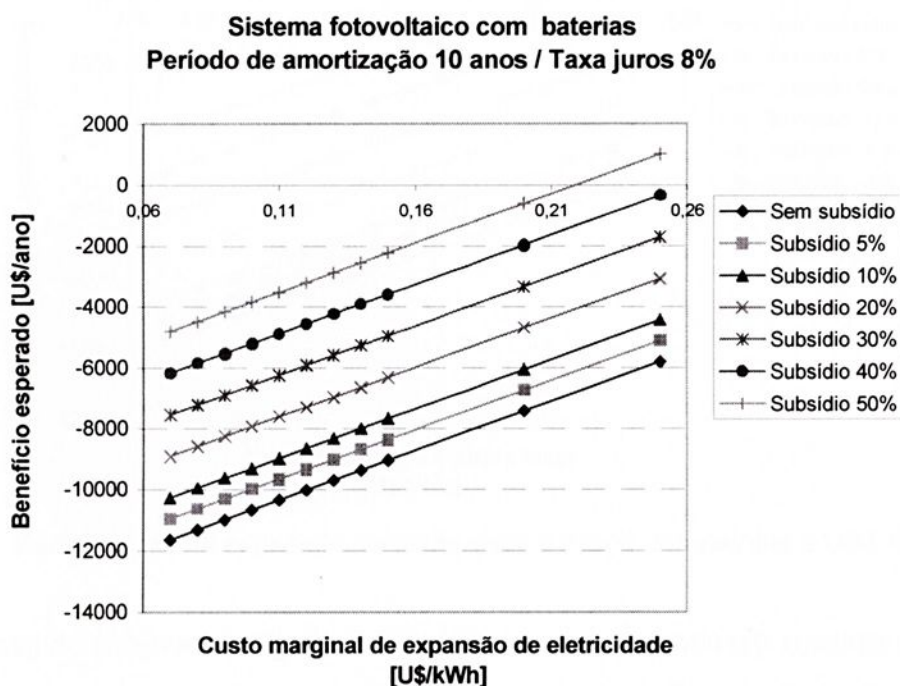


Figura 5.1. Benefício anual esperado considerando o preço dos painéis a US\$ 4,00/Wp e sistema com baterias.

A Figura 5.2 apresenta os cálculos do benefício esperado em função da tarifa de eletricidade local de uma comunidade isolada que apresente uma linha de transmissão e distribuição, e necessita de expansão em recursos de eletricidade. Observa-se que mesmo com subsídios de 50%, o sistema torna-se atraente caso o custo da tarifa local seja superior a US\$ 0,19/kWh.

Entretanto, caso o custo para aquisição de painéis reduza para US\$ 2,00/Wp, é possível esperar viabilidade de investimentos a partir de um custo de expansão superior a US\$ 0,15/kWh, garantido um subsídio de 40% nos recursos de aquisição e instalação do sistema fotovoltaico. Isto representa uma economia de cerca 32% na tarifa de eletricidade, em relação à aquisição de um sistema fotovoltaico com custo de US\$ 4,00/Wp, subsidiado com uma taxa de 50%.

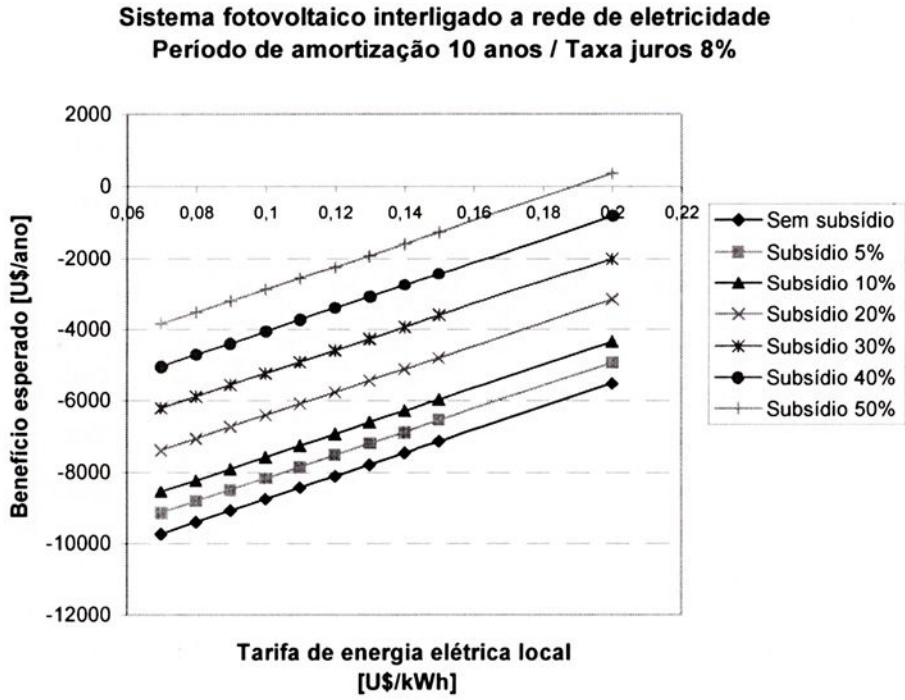


Figura 5.2. Benefício anual esperado considerando o preço dos painéis a US\$ 4,00/Wp

No caso do sistema interligado à rede pública, considerando um subsídio da ordem de 40%, o retorno esperado garante atratividade a partir de tarifas locais de energia elétrica superiores a US\$ 0,13/kWh, caso o custo de aquisição de painéis reduza para a margem de US\$ 2,00/Wp. Estes resultados são apresentados nas Figuras 5.3 e 5.4 a seguir.

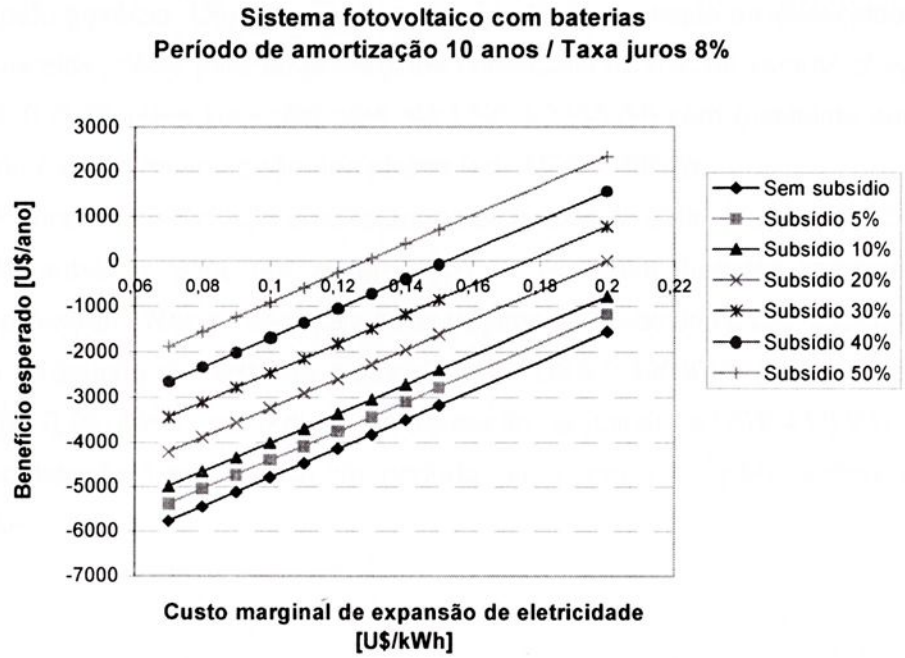


Figura 5.3 – Benefício anual esperado considerando o preço dos painéis a US\$ 2,00/Wp

Sistema fotovoltaico interligado a rede de eletricidade
Período de amortização 10 anos / Taxa juros 8%

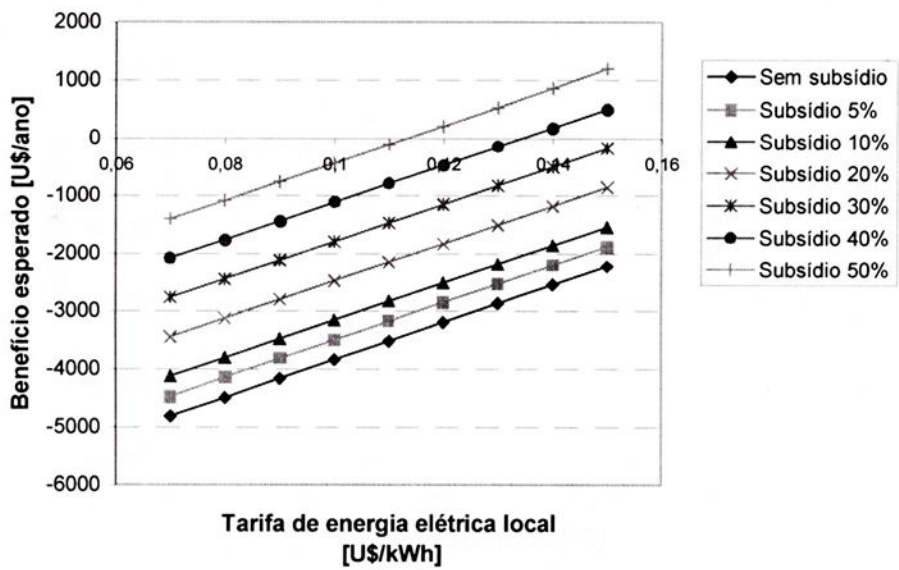


Figura 5.4. Benefício anual esperado considerando o preço dos painéis a US\$ 2,00/Wp

Pela análise das Figuras 5.5 e 5.6, ainda garantido um subsídio de 40%, observa-se uma redução substancial de 30 a 40% no custo de produção de eletricidade em virtude da eventual diminuição do custo de investimento das placas do sistema. É possível observar neste caso, como o custo de produção de eletricidade varia em função da taxa de subsídio financiada pelo governo. Observa-se a sensível redução no custo de eletricidade obtido em função do subsídio, onde para taxas de juros comerciais de 8%, os valores chegam a variar de US\$ 0,370 /kWh (sem subsídio) para até US\$ 0,225/kWh com o sistema subsidiado em 40%, quando o custo de aquisição das placas é de US\$ 4,00/Wp.

Nas Figuras 5.7 e 5.8, são apresentados os custos de eletricidade variando em função da taxa de subsídio para um sistema fotovoltaico com baterias instalado em uma comunidade isolada . Neste caso, para taxas de juros de 8% ao ano e com subsídio de até 40%, observa-se a redução do custo de eletricidade de US\$ 0,430/kWh (sistema sem subsídio) para até US\$ 0,261/kWh com o custo de aquisição de painéis a US\$ 4,00/Wp. A figura 5.9 apresenta o benefício em função do período de amortização para ambos os sistemas considerados.

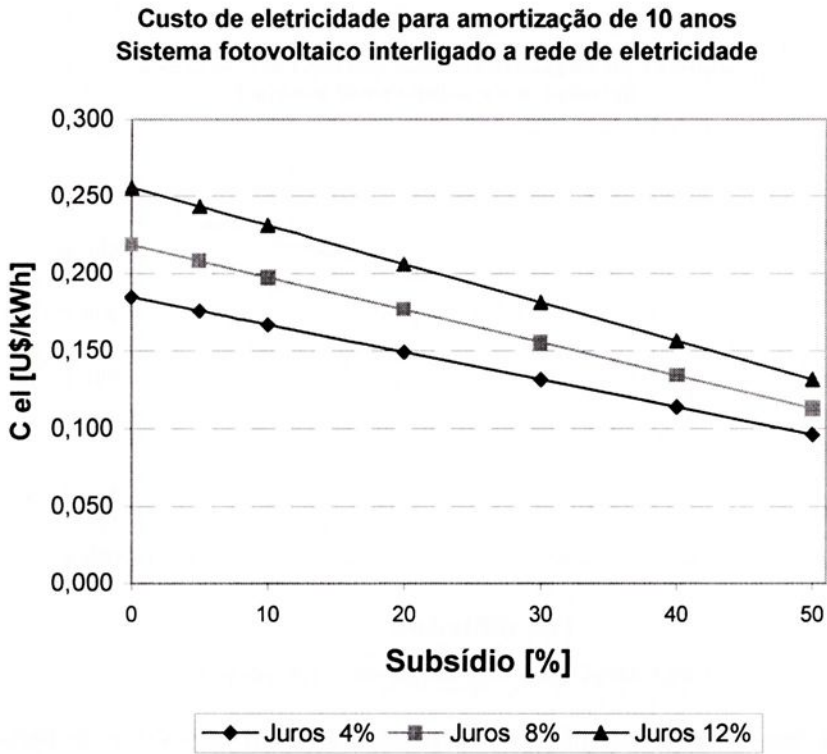


Figura 5.5. Custo de produção de eletricidade considerando custo dos painéis a US\$ 2,00/Wp

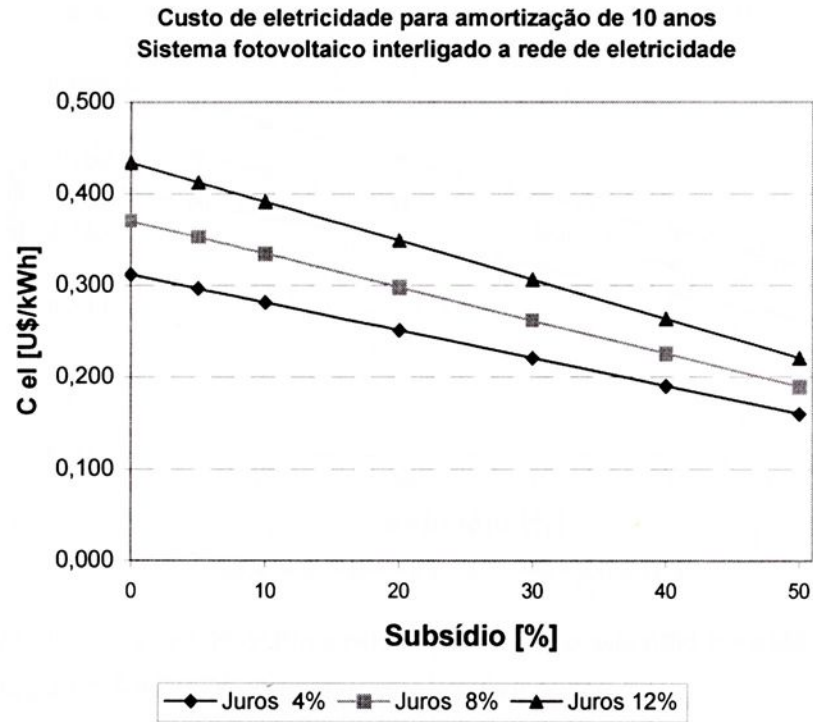


Figura 5.6. Custo de produção de eletricidade considerando custo dos painéis a US\$ 4,00/Wp

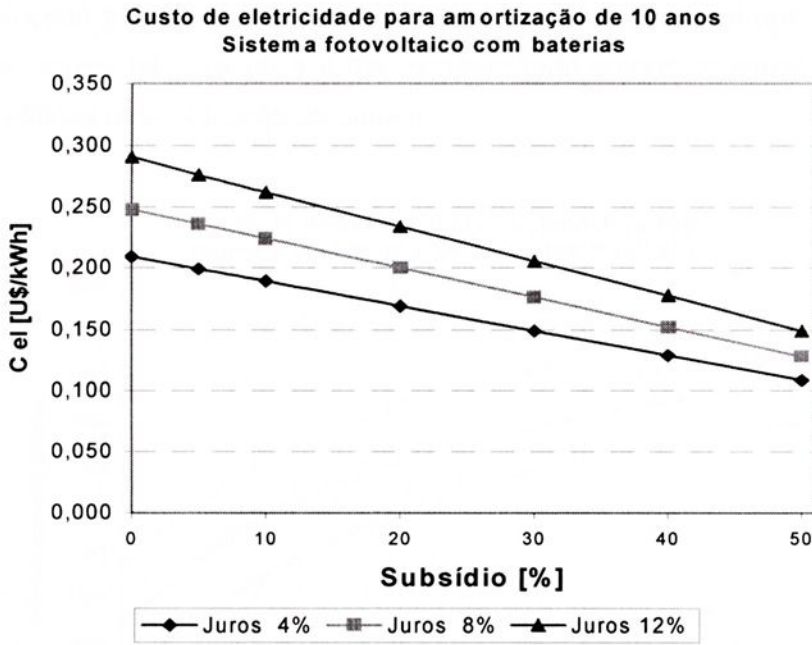


Figura 5.7. Custo de produção de eletricidade em função do subsídio considerando custo dos painéis a US\$ 2,00/Wp (Sistemas com baterias)

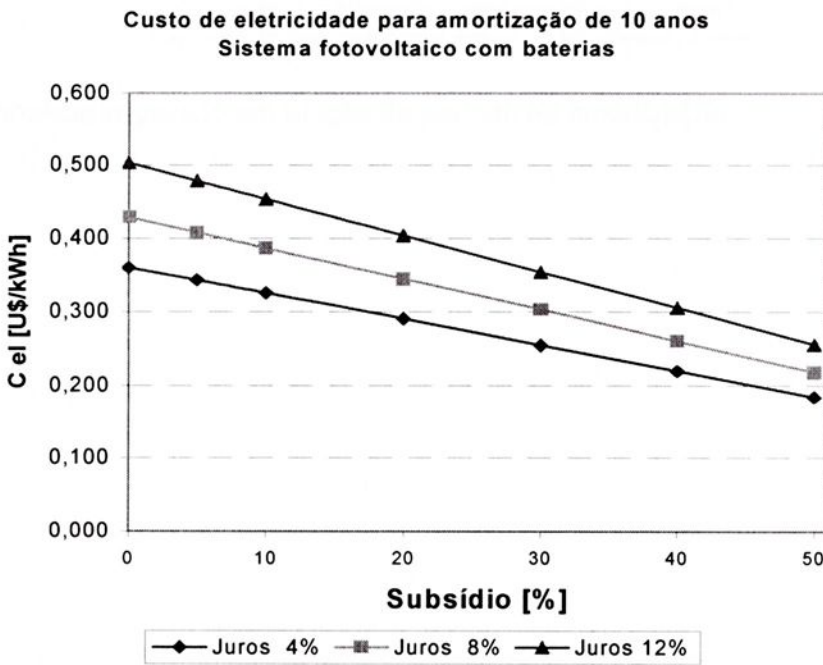


Figura 5.8. Custo de produção de eletricidade em função do subsídio considerando custo dos painéis a US\$ 4,00/Wp (Sistemas com baterias)

É possível verificar através da Figura 5.9, que a viabilidade econômica para o sistema proposto é alcançada a partir de um período de amortização de capital que varia de 7 a 10 anos para taxas anuais de juros de 4 e 8%, considerando ambos os casos, interligação do sistema à rede elétrica e de utilização de baterias.

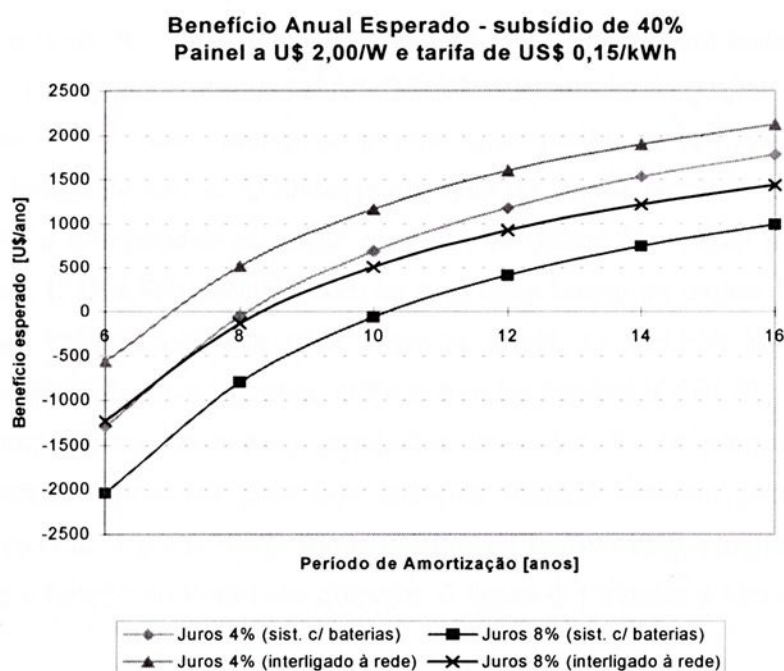


Figura 5.9. Benefício esperado em função do período de amortização

CAPITULO VI. PROGRAMA COMPUTACIONAL

6.1. INTRODUÇÃO

O programa proposto foi desenvolvido em DELPHI,a qual é uma poderosa ferramenta de programação visual, para ambiente WINDOWS. El permite programar diálogos com o usuário de uma forma muito amigável e tem uma poderosa ferramenta de trabalho associada a um banco de dados: O Sistema de Base de Dados (Borland Database Engine, DBE) que permite a independência quase absoluta do código fonte com o tipo de base de dados que se use. O DELPHI trabalha com as seguintes bases de dados: Dbase, Paradox, Interbase, Acces, FoxPro inclusive com arquivos Excel. O DELPHI também permite o acesso para servidores locais e remotos, entre outras facilidades (PEREIRA, 1996).

O programa, desenvolvido para ambientes Windows, é um programa visual, com explicações e avisos suficientes para que qualquer usuário iniciante possa utiliza-lo, por exemplo ao se colocar o ponteiro do mouse sobre os botões será apresentado uma nota explicativa sobre a função do botão em questão. A figura 6.1 mostra a tela de apresentação do programa.



Figura. 6.1. Apresentação do Programa

O programa desenvolvido é uma ferramenta para auxiliar no desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, com a escolha dos painéis fotovoltaicos comercialmente disponíveis que melhor se adaptam as necessidades apresentadas.

Inicia-se com a apresentação do programa (figura 6.1), onde observa-se o pôr do sol com o nome do software SOLAR V1.0. O código fonte é formado por dois grandes blocos que interagem entre si. Estes são o Bloco de Cálculos e o Bloco de Gestão de Base de Dados. O bloco de cálculos faz um chamado ao bloco de dados que faz a escolha dos painéis e por sua vez chama outro onde se detalha os módulos escolhidos. A figura 6.2 apresenta o diagrama de blocos principal do programa.

O banco de dados para a seleção dos painéis é formado por 251 tipos de painéis fotovoltaicos comercialmente disponíveis.

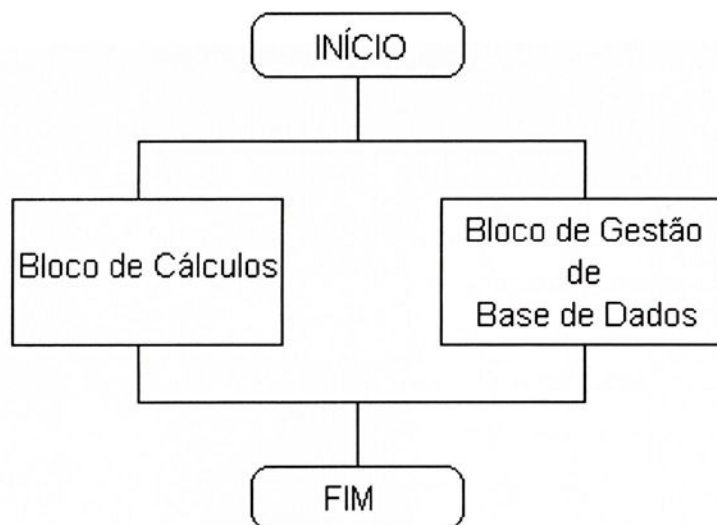


Figura 6.2. Diagrama de blocos do programa principal

6.2.- ESTRUTURA GERAL DO PROGRAMA

Devido ao fato de ter sido desenvolvido em Delphi®, uma linguagem estritamente estruturada, o programa é dividido em blocos. Após a janela de entrada o programa vai diretamente ao Bloco de Cálculos onde é possível acessar também ao Bloco de Gestão de Base de Dados.

O Bloco da Gestão da Base de Dados, permite fazer uma série de ações na base de dados como: limpar arquivos, colocar novos arquivos, editar arquivos, etc, assim como recorrer a base de dados em busca de um arquivo específico. A base de dados tem 35 fabricantes e 251 painéis fotovoltaicos específicos disponíveis no mercado até o ano 2000.

6.2.1. Bloco de cálculos

Neste módulo realizam-se os cálculos prévios à escolha dos painéis fotovoltaicos. A figura 6.3 mostra a janela principal do módulo de cálculos onde observa-se na parte superior esquerda um **menu** contendo as seguintes itens: **Escolha**, **Base Dados**, **Mapa de Irradiação** e **Créditos**.

Quando seleciona-se **Escolha**, este desdobra-se num submenu com, **Escolher Painei** e **Sair**. **Escolher Painei** nos levará ao Módulo para a seleção dos painéis. Cabe indicar que se pressionamos este antes da realização dos cálculos de potência, o programa avisará que primeiro é preciso realizar os cálculos. Se clicamos **Sair** (ou **ctrl+x**), o programa abre a janela anterior, isto é, a de apresentação do programa onde é possível sair definitivamente do mesmo.

	Nro.	Watt	H/dia	TOTAL	
Televisor	1	50	3	150.00	W-h
Computador	1			0.00	W-h
Impressora	1			0.00	W-h
Luminárias	4	20	5	400.00	W-h
Microondas	1			0.00	W-h
Geladeira	1			0.00	W-h
Rádio AM/FM	1	20	5	100.00	W-h
Rádio Transmissor	1			0.00	W-h
Carregador de baterias	1			0.00	W-h
Receptor de Satélite	1	40	3	120.00	W-h
Equipamento de som	1			0.00	W-h
Vídeo Cassete	1			0.00	W-h
Bomba d'água	1			0.00	W-h

IRRADIAÇÃO MEDIA ANUAL 5600 (W - H)/m²

Figura. 6.3. Janela do bloco de cálculos

Quando seleciona-se no menu **Base Dados**, o programa ingressa no módulo que faz a gestão da base de dados, que será tratado posteriormente.

Quando seleciona-se **Mapa de Irradiação**, aparece um mapa do Brasil com a Irradiação Média Anual, dados estes que são necessários para os cálculos prévios; o mapa

foi adotado da primeira versão para irradiação global do Atlas de Irradiação Solar do Brasil (COLLE e PEREIRA, 1998).

Em **Créditos** acessa um módulo que contém dados do programa, dos autores do programa assim como do local de desenvolvimento (UNESP-FEG). A figura 6.4 apresenta o diagrama de blocos do programa de cálculos

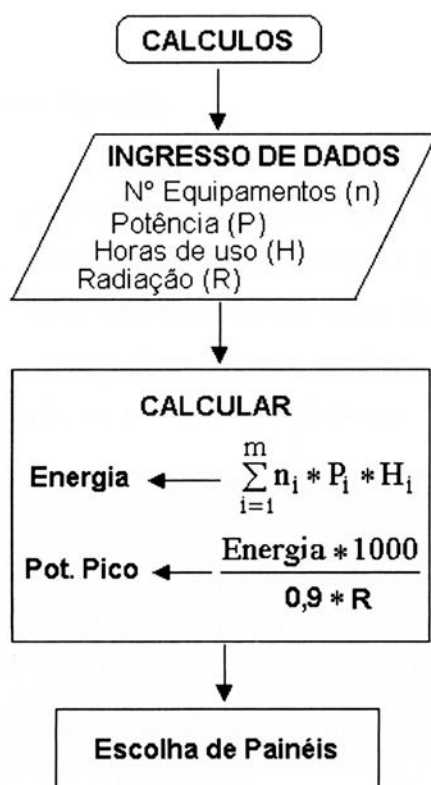


Figura 6.4. Diagrama de blocos do programa de cálculos

Nesta janela, existem 13 tipos de equipamentos de energia para os mais diversos empregos; entende-se por consumidor qualquer equipamento que o sistema fotovoltaico deva alimentar. O usuário deverá entrar com os seguintes dados: quantidade (número) de equipamentos consumidores de energia, a sua potência (W) e o número de horas de uso por dia (h/dia). Quando não se tem um certo tipo de equipamento não é necessário preencher os espaços correspondentes, já que o programa considera estes como sendo zero e não o usa nos cálculos. Se o equipamento não existe na lista, é possível ingressar os seus dados em qualquer outro lugar da lista.

Ao clicar sobre **Calcular**, realizam-se os cálculos de consumo de energia e de potência máxima necessárias para o projeto. A potência máxima calcula-se com base na irradiação média anual, dado este preenchido de acordo ao local da instalação. O botão

Limpar ajuda no caso de se precisar realizar outro cálculo ou ocorrer o preenchimento de forma incorreta, pois este deixa todos os espaços limpos e prontos para a realização de outro cálculo. O botão **Sair**, realiza a mesma função que o **Sair** do menu. O botão **Escolher Paineis**, também realiza as mesmas funções que o seu similar no menu. Cabe mencionar, que se o usuário digitar mais de 24 horas diárias de uso do equipamento, o programa não calcula e dá um aviso que o dia só tem 24 horas para que realizem-se as devidas correções e os cálculos corretos.

6.2.2. Bloco da Escolha dos Paineis

Ao clicar no botão **Escolher Paineis** da janela do Bloco de Cálculos Prévios (figura 6.3) o programa passa para a janela de escolha de painéis. Esta permite-nos a escolha dos painéis de acordo ao tipo de painel fotovoltaico (ver figura 6.5). Neste módulo, o programa realiza a escolha dos painéis fotovoltaicos comercialmente disponíveis de acordo com a potência calculada no módulo anterior e com o tipo de painel.

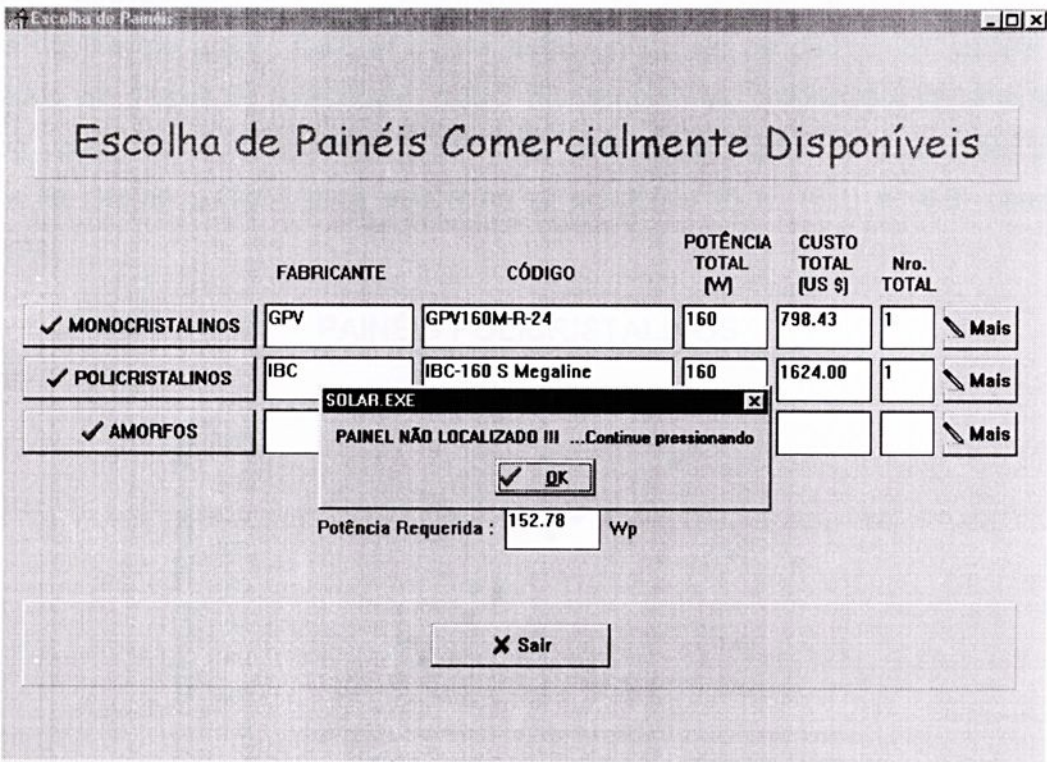


Figura. 6.5. Tela do bloco Escolha de Paineis

Como já mencionado, a escolha dos módulos é feita de acordo com o tipo de painel: Monocristalinos, Policristalinos e Amorfos. Na janela, existem botões com os respectivos nomes onde deve-se clicar para realizar a escolha do painel, de acordo à figura 6.5.

Uma vez clicado, o programa recorre à base de dados, investiga os painéis cadastrados e escolhe primeiramente o que apresenta potência imediatamente acima que a requerida pela instalação.

Neste ponto, o programa faz uma comparação entre os painéis do mesmo tipo, para escolher o de menor custo. Se não existe um painel que cumpra com os requisitos (isso é quando a potência requerida é maior do que a dos painéis comercialmente disponíveis na base de dados), o programa dá um aviso indicando que não encontra um painel mas pede para clicar outra vez. Deste modo o programa aumenta automaticamente o número de painéis do sistema, até encontrar uma configuração que atenda as necessidades, por exemplo, se o maior painel dos amorfos é 150 Wp e é necessário 200 Wp, o programa não conseguirá encontrar um painel para esta potência necessária e dará um aviso de "PAINEL NÃO LOCALIZADO", é só o clicar outra vez sobre o botão **OK**, aumenta o número de painéis usados, significando que podem servir 2 painéis de 100 Wp, que imediatamente serão localizados na base de dados.

Quando o painel não tem seu preço cadastrado na base de dados, o programa estima este valor através de equações que foram encontradas a partir dos valores dos outros painéis do mesmo grupo. Para encontrar estas equações, os dados dos painéis foram separados em grupos de acordo com o tipo: monocristalinos, policristalinos e amorfos. Em seguida apresenta-se as figuras 6.6, 6.7 e 6.7 com custo x potência para estes painéis, valendo-se destes gráficos para encontrar as equações (6.1), (6.2) e (6.3) usadas no programa.

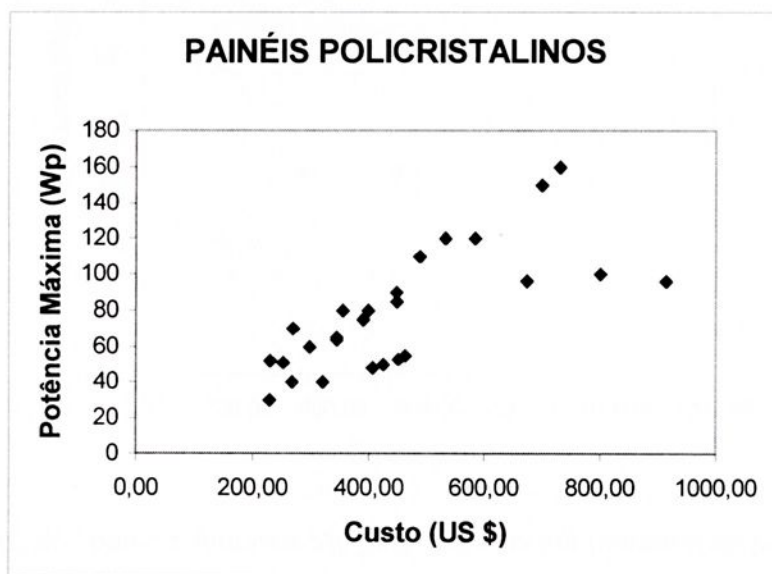


Figura 6.6. Preço dos painéis Policristalinos Vs. potência Máxima (elaboração própria)

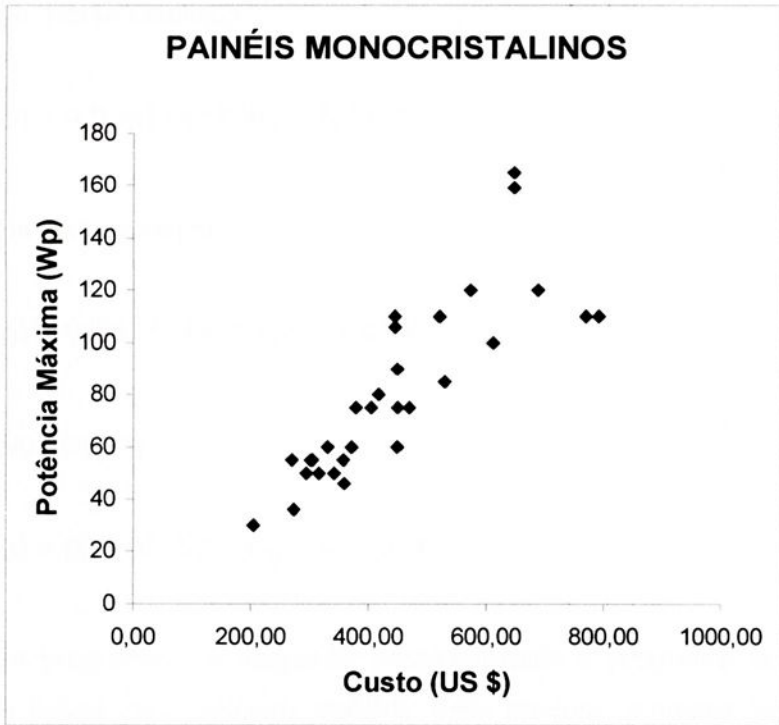


Figura 6.7. Preço dos painéis Monocristalinos Vs. potência Máxima (elaboração própria)

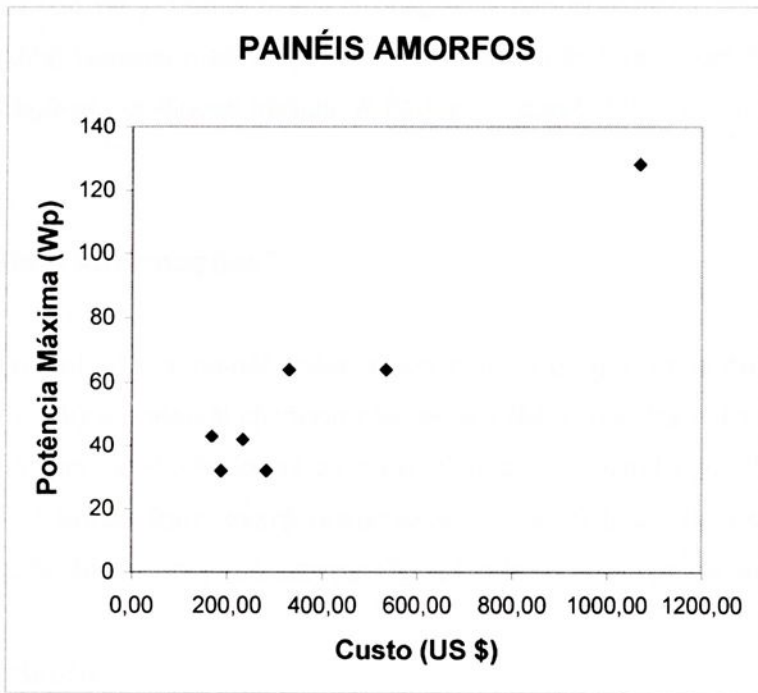


Figura 6.8.- Preço dos painéis Amorfos Vs. potência Máxima (elaboração própria)

As equações encontradas são:

- Para painéis monocristalinos:

$$\text{Log(preço)} = 0,0081445 * W_p + 5,37952 \quad (6.1)$$

- Para painéis policristalinos:

$$\text{Log(preço)} = 0,00777303 * W_p + 5,45992 \quad (6.2)$$

- Para Painéis amorfos:

$$\text{Log(preço)} = 0,0180791 * W_p + 4,73025 \quad (6.3)$$

A lógica do programa é a seguinte: Primeiramente o programa acessa à base de dados e inicia a busca pelo primeiro registro. Este procura, primeiro, por tipo de painel (monocristalino, policristalino ou amorfos de acordo a escolha) em função da potência, isso é, escolhe os painéis que tem a potência maior que a potência procurada, calculada no bloco dos cálculos. Se na primeira busca o programa não encontrou um painel adequado, este passa o próximo registro e assim sucessivamente até encontrar um painel ou grupo de painéis que satisfaça as condições iniciais. A figura 6.9 apresenta o fluxograma do bloco de busca.

6.2.3. Bloco "Mais Informações"

Uma vez encontrado o painel mais adequado, o programa pode apresentar mais informações deste; isto é possível clicando no **botão Mais**, que irá acessar a janela "Mais Informações", onde apresenta-se todas as características do painel fotovoltaico selecionado (ver figura 6.10). O **botão Sair** levará novamente à tela do bloco de escolha de painéis, tendo a possibilidade de conhecer as características totais de outro painel encontrado.

6.2.4. Base de dados

Através do menu do bloco de cálculos, é possível realizar tarefas como: Editar, "deletar" e ingressar novos dados, através dos botões ou através de um "navegador" que também permite recorrer a base de dados. A figura 6.11 mostra a tela de trabalho da base de dados.



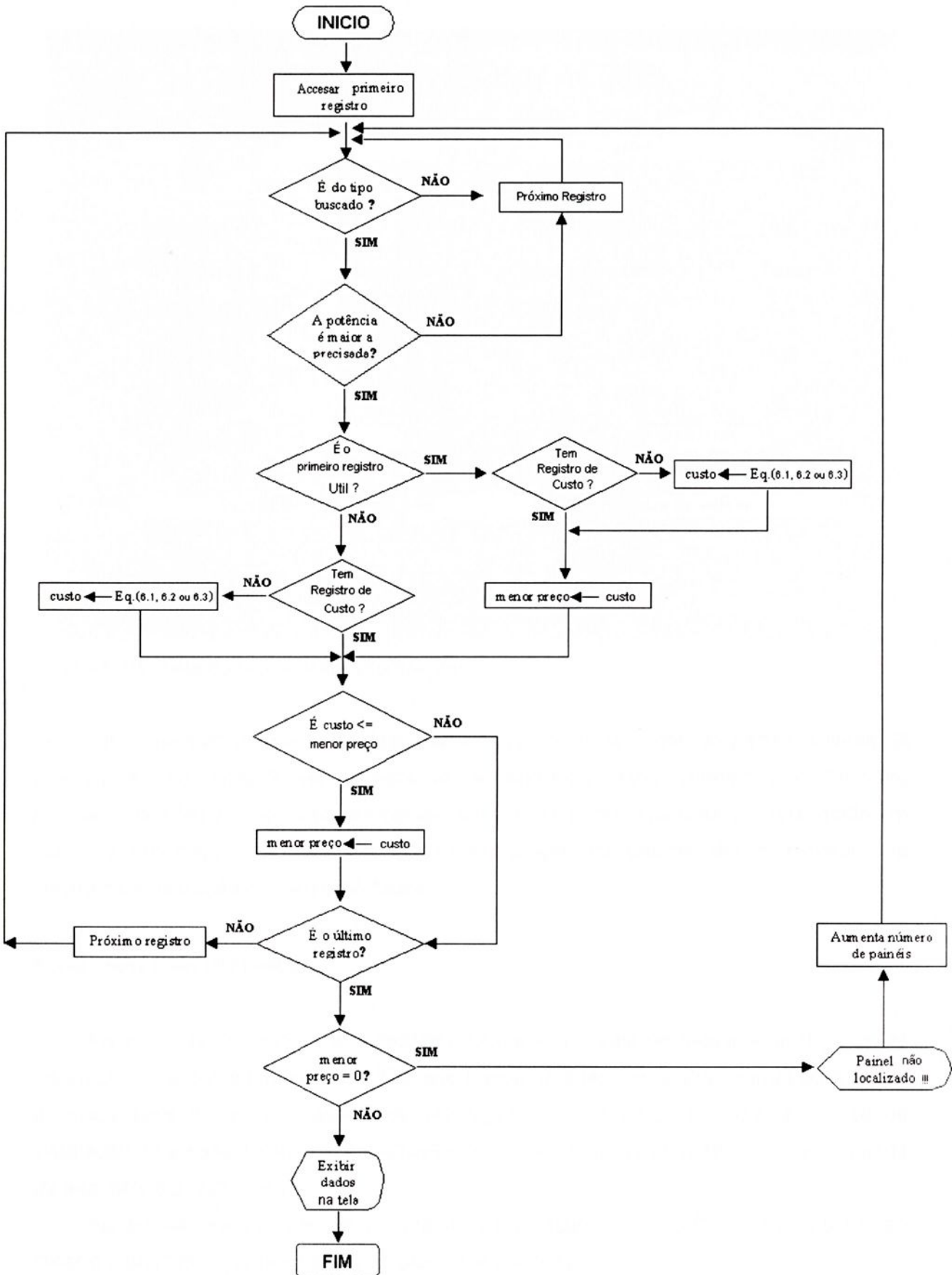


Figura 6.9. Fluxograma do bloco da escolha

Mais Informações

Registro 113	Fabricante IBC	Código IBC-160 S Megaline
------------------------	--------------------------	-------------------------------------

Potência Pico 160 Wp	Volt. de circ. aberto 28,0 Volt
Tolerância +/- 5 %	Corr. de curto-circuito 7,74 Amp.
Eficiência 11,5 %	Voltagem a -10 °C 31,7 Volt
Voltagem 22,5 Volt.	Voltagem a 70 °C 17,7 Volt
Corrente 7,12 Amp.	Massa 16,4 Kg
Tipo de célula poli	Tamanho 1909x731x50 mm

Preço 1624 US\$	Procedência USA	Internet www.ibc-solar.de
---------------------------	---------------------------	-------------------------------------

X Sair

Figura 6.10. Tela do bloco "Mais Informações"

Este módulo permitirá atualizar permanentemente os dados de painéis solares, já que alguns deles poderão ser retirados do mercado e/ou desenvolvidos outros. Por outro lado as condições do mercado dos painéis fotovoltaicos são dinâmicas, ou seja, estão em contínua atualização, fato este que influirá nos preços dos painéis, devendo existir uma constante atualização no banco de dados.

6.2.5. Mapa de Irradiação

Para os cálculos iniciais é necessário conhecer a irradiação média solar do local de instalação do sistema fotovoltaico e Por isso o programa tem um mapa de irradiação média do Brasil, para auxiliar nos casos onde não seja conhecida a irradiação media do local de instalação. O acesso a este mapa é através do menu localizada na parte superior esquerda da tela, no bloco dos cálculos.

Ao acessar essa tela temos um mapa da irradiação média do Brasil (figura 6.12); ao clicar o botão OK, retorna-se a tela do bloco dos cálculos.

Base de dados

BASE DE DADOS

Registro 23	Fabricante AstroPower	Código AP-7105
--	--	---

Potência Pico 75 Wp Tolerância +/- 10 % Eficiência 11,9 % Voltagem 17,0 Volt. Corrente 4,40 Amp. Tipo de célula mono	Volt. de circ. aberto 21,0 Volt Corr. de curto-circuito 4,80 Amp. Voltagem a - 10 °C Volt Voltagem a 70 °C Volt Massa 8,2 Kg Tamanho 1200x526x35 mm
---	--

Preço 378,97 US\$	Procedência USA	Internet www.astropower.com
--	---	---

Figura 6.11. Tela do bloco Base de Dados

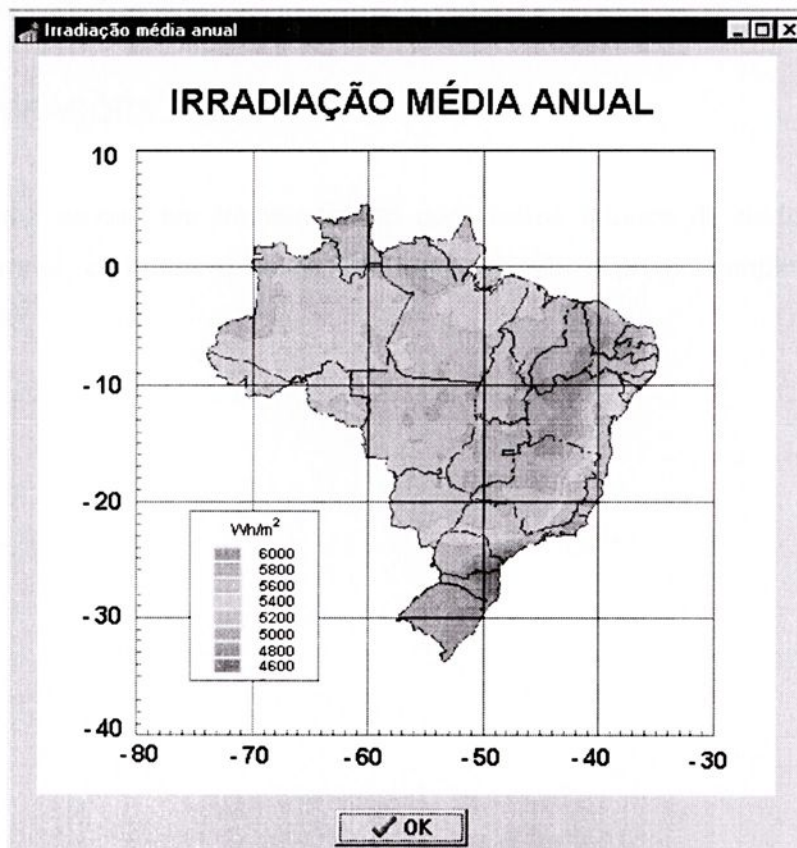


Figura 6.12. Tela do Mapa de Irradiação

6.2.6. Créditos

Este bloco apresenta informações acerca dos autores do programa, local de trabalho, e-mail, telefone entre outras. A figura 6.13, mostra a tela deste bloco.



Figura 6.13. Tela dos Créditos

6.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O programa deverá ser implementado com outros bancos de dados, incorporando baterias, inversores, controles e periféricos; para permitir o projeto amplo de um sistema solar fotovoltaico.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede como fontes de geração distribuída de energia são uma boa alternativa frente aos problema energéticos e de meio ambiente:

Com respeito à rede:

- Podem ser instalados em prédios residenciais ou comerciais não importando as dimensões destes.
- Podem ser usados para reduzir a demanda de pico em cidades onde a hora de máxima demanda coincide com as horas de maior disponibilidade de energia solar.
- A instalação dos sistemas solares podem reduzir o gasto necessário para o substituição e manutenção dos equipamentos nas redes elétricas de distribuição.
- Podem reduzir inclusive a necessidade de uma nova planta geradora e de novas redes de transmissão e distribuição.
- Podem aumentar a vida útil das redes de transmissão e distribuição, devido ao fato de não exigir a sua máxima capacidade nas horas de ponta.

Com respeito ao Meio Ambiente:

- Os sistemas fotovoltaicos são uma fonte limpa de geração de energia, livre de emissões de CO_2 e NO_x . Kroposki e Deblasio, 2000, mencionam que um sistema de 10 kW no Colorado, EEUU, evita a produção de 22,456 lbs (10,105 kg) de CO_2 e 4 lbs (1,801 kg) de NO_x
- Se a energia produzida durante o ano 1998 (2644,31 kWh), fosse produzida por uma usina com gás natural, seriam produzidos 1105,11 Kg de CO_2 , 3,437 kg de NO_x e 0,58 kg de CO, de acordo com dados fornecidos por Coelho, 1999.

Na parte econômica

- O fato de que no ano 2000 o custo de instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede serem de US\$ 5,7/Wp, versus US\$ 13,9/Wp para sistemas isolados (Mortensen, 2001), dá uma idéia da importância dos SFCRs para a redução dos custos de instalações de sistemas fotovoltaicos.
- Os custos dos painéis fotovoltaicos influem fortemente nos custos finais das instalações fotovoltaicas entre 40% a 75% (DELAHOY; KISS, 2001). Com a perspectiva da redução dos custos, espera-se aumento de SFCR, para os próximos anos (KROPOSKI; DeBLASIO, 2000) tornando esta alternativa economicamente viável para produção de eletricidade descentralizada.
- É importante incluir os fatores de não poluição na análise econômica. O **Denver Service Guideline 82-1**, determina os custos associados à produção de dióxido de carbono (CO₂) em US\$ 0,004/lb (US\$ 0,0088/kg), dióxido de enxofre (SO₂) em US\$ 0,75/lb (US\$ 1,65/kg) e óxidos de nitrogênio (NO_x) em US\$ 3,40/lb (US\$ 7,48/kg) (EIFFERT; THOMPSON, 2000).
- Painéis solares de filmes finos, fabricados com diversos substratos como aço e vidro, tem a possibilidade de serem utilizados como materiais para construção gerando a expectativa a curto prazo de serem produzidos em grande escala e que os custos venham a declinar de forma acentuada.

A primeira instalação fotovoltaica conectada à rede do Brasil, tem uma boa performance, com relação a outras experiências em nível mundial, entre as quais:

Tabela 7.1 Comparação das diversas características do primeiro SFCR no Brasil

Característica	Brasil	Mundo
AC Yield (kWh/kWp)	1272,53	1038 ¹ , 961 ² , 888 ³ , 700 ⁴
AC Yield (kWh/m ²)	64,811	64 ⁵ , 40 ⁶ , 47 ⁷
Performance Rate (%)	70,8	75 ⁸ , 70 ⁹

^{1, 2, 3, 5, 6, 7}(EIKELBOOM; JANSEN, 2000), ^{4, 8}(ERGE; HOFFMANN; KIEFER, 2001), ⁹(KUROWAWA; IKKI, 2001)



A utilização de sistemas solares fotovoltaicos no Brasil, assim como em todo o mundo, depende ainda de subsídios para alcançar viabilidade econômica mantidos os custos atuais da tecnologia, sem levar em conta os benefícios indiretos da geração limpa que esta tecnologia proporciona. Os investimentos que vêm sendo realizados atualmente na área, por países desenvolvidos, visam gerar volumes de produção necessários, para que o custo de aquisição dos painéis se reduza em torno de US\$ 2,00/Wp considerados na análise do capítulo V. Esta redução de custos deve ser atingida nos próximos anos com a tecnologia existente hoje, dependendo em parte do volume de produção (RÜTHER, 1999).

Visto as vantagens estratégicas, ambientais e sociais destes sistemas, destaca-se ainda a importância do desenvolvimento de políticas para a instalação de SFCR. Um destes mecanismos é o protocolo de Kioto, com análise da possibilidade de comercializar as emissões (principalmente de CO₂, resultante da queima de combustíveis fósseis, cuja utilização nos países desenvolvidos é intensiva) que vem ganhando força como estratégia política internacional.

No artigo 12 do Protocolo, foi definido o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) visando auxiliar os países não incluídos no chamado "Anexo I" a atingir um desenvolvimento sustentável e contribuindo para atingir os objetivos da convenção, bem como auxiliar os países do Anexo I a atingir os objetivos de limitação/redução de suas emissões. Os MDL permitem aos países do Anexo I a utilização dos Certificados de Redução de Emissões (Certified Emissions Reductions - CER), obtidos a partir de projetos desenvolvidos nos países não pertencentes ao Anexo I, como parte dos acordos de limitação e redução de emissões. Dentro deste mecanismo, uma indústria de um país desenvolvido pode obter créditos para emitir carbono através de investimentos em processos que reduzem as emissões de carbono em países em desenvolvimento. Estes créditos devem corresponder, segundo o Protocolo, as emissões que serão evitadas através da introdução de processos limpos de geração. Como estes créditos podem ser acumulados, desde o ano de 2000, este mecanismo poderá, se adequadamente implementado, transformar-se num instrumento importante para a transferência de tecnologia para os países em desenvolvimento.

O programa computacional desenvolvido neste trabalho apresenta a vantagem de ter um banco de dados composto por 251 painéis solares comercialmente disponíveis no mercado. Além do banco de dados do programa este é facilmente atualizado com a inclusão de novos painéis disponíveis no mercado.

Fica como sugestão de futuros trabalhos, a inclusão de uma base de dados com a irradiação média para o Brasil, a fim de se ter a possibilidade de incluir como um dado de entrada as coordenadas do local de instalação de modo a conseguir automaticamente a irradiação local. Outra possibilidade é a de implementar o programa com outros dados

relacionados a diversos equipamentos utilizados em plantas fotovoltaicas tais como baterias, inversores controladores e periféricos, de modo a permitir a seleção e o projeto na integra destes sistemas de geração de energia.



REFERÊNCIAS

BAZZO, E.; RÜTHER, R.; MARTINS, D.C. Análise de viabilidade técnica e econômica de um sistema isolado híbrido diesel/fotovoltaico, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 15, 1999, Águas de Lindóia, **anais...** Águas de Lindóia, SP: 1999.

Würth, **Netzgeführter Sinus Wechselrichter WE 500 NWR**. Catalogo, Germany, 1996.

Angewandte Solarenergie- ASE GmbH, **ASI® thin-film, opaque/semitransparent solar modules**. type ASE-30-DG-UT, Catalogo, Federal Republic of Germany, 2000.

COELHO, S. T. **Mecanismos Para Implementação da Cogeração de Eletricidade a Partir de Biomassa, Um Modelo Para o Estado de São Paulo**. 1999. 194 f. Tese (Doutorado em Energia) Faculdade de economia e administração, Instituto de Eletrotécnica e Energia, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo.

COLLE, S., PEREIRA, E. B., **Atlas de Irradiação do Brasil, 1ra versão para Irradiação Global**, Instituto Nacional de Meteorologia, versão em CD., Brasília - DF., outubro de 1998.

COSTA, A. C.; FEITOSA E. A. Sistema híbrido eólico-solar-bateria para geração de energia em locais isolados. **Revista Engenharia Mecânica**, São Paulo, p. 120-131, maio 2000.

COSTA, H. S.; COSTA, R. A.; ECK, M. Análise Comparativa entre a extensão da Rede e os Sistemas Fotovoltaicos. In: Conferencia Latino-Americana de Eletrificação Rural, 17, 2000, Pernambuco: Companhia Energetica de Pernambuco, Recife/PE, 7 a 11 novembro

DELAHOY, A. E.; KISS Z. J. **Photovoltaics - heading towards thin films**. New Jersey; Energy Photovoltaics Inc, 2000, 10 pag

ERGE, T., HOFFMANN, V. U., KIEFER, K., The German Experience With Grid-Connected PV-System, **Solar Energy**, vol 70, pp. 479-487, 2001.

EIKELBOOM, J. A., JANSEN, M. J. Characterisation of PV Modules of New Generatios. Informe ECN-C-00--067. DOE - U.S. Department of Energy - DOE, 2000, 20 p, disponível em <<http://www.osti.gov/bridge/search.easy.jsp>> aceso em: 14 nov. 2001.

EIFFERT, P., THOMPSON, A., U.S. **Guidelines the Economic Analisis of Building-Integred Photovoltaic Power Systems**, NREL - National Renewable Energy Laboratory, TP 710-25266, Colorado, USA, 38 pag., february 2000, disponível em <<http://www.osti.gov/bridge/search.easy.jsp>> aceso em: 30 oct. 2001.

GTEF - GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA - CRESEB - CEPEL, **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**, 1ra edição, São Paulo, 228 pag., junho de 1995.

ITURREGUI, P. **La Atmósfera Mundial: A Salvo o em Remate?**, CONAM - Comisión Nacional del Medio Ambiente, Lima, Perú, 2001, disponível em <www.conam.gob.br> acessado em 21 de maio de 2002.

KROPOSKI, B.; DeBlasio, R. **Technologies For The New Millenium: Photovoltaics as a Distributed Resource**, NREL - National Renewable Energy Laboratory, IEEE Power Engineering Society (PES), Seattle , Washington, july 16-20, 2000, 4 p. disponível em <<http://www.osti.gov/bridge/search.easy.jsp>> aceso em: 10 dez. 2001.

KNAPP, K. E.; JESTER, T. L. Pv Payback. **Home Power**, n. 80, p.42-46, dec./jan 2001.

KUROKAWA, K.; IKKI, O. The Japanese Experiences With National PV System Programmes. **Solar Energy**, Vol. 70, N° 6, p. 457-466, 2001.

MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia, **Protocolo de Quioto**. Disponível em: <www.mct.gov.br/clima/quioto/protocol.htm>, acesso em: 15 maio de 2002, 1997.

MONTANER, J. Conexión a la Red de Distribución de Baja Tensión de Paneles Fotovoltaicos. **Energia**, vol. Noviembre/Diciembre, España 1997.

MORTENSEN, J. **Factors Associated With Photovoltaic System Cost**, NREL - National Renewable Energy Laboratory, TP.620-29649, june 2001, 10 p. disponível em <<http://www.osti.gov/bridge/search.easy.jsp>> aceso em: 14 dez. 2001.

PALZ, W. **Electricidad Solar, Estudio Económico de la Energía Solar**, Editorial Blume, Barcelona, España, 358 pag., 1978.

PEREIRA, A. Delphi, **Programação Visual Para Windows 95: Aplicação Para Bases de Dados**. São Paulo, Erica, 1996.

RÜTHER, R. **Panorama Atual da Utilização da Energia Solar Fotovoltaica e o Trabalho do Labsolar nesta área.**, Labsolar - Laboratório de Energia Solar , Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis/SC, 1999, 18 pag.

RÜTHER, R. **Instalações Solares Fotovoltaicas Integradas a Edificações Urbanas e Interligadas à Rede Elétrica Pública**. Labsolar - Laboratório de Energia Solar, UFSC - Universidad Federal de Santa Catarina,, Florianopolis/SC 1998, 40 p.

SILVEIRA, J. L.; **Cogeração disseminada para pequenos usuários; estudo de Casos para o Setor Terciário**. Tese (Doutorado em engenharia mecânica), Faculdade de Engenharia - UNICAMP, Campinas, São Paulo, 1994.

SILVEIRA, J. L.; AGUIRRE, A. B.; GOUVÊA, P. M. **A necessidade de subsídio para a implantação de energia solar fotovoltaica como coadjuvante na geração descentralizada de eletricidade no Brasil**; in: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 16, 2001, Campinas. **Anais...**Campinas/SP, 2001.

SILVEIRA, J. L.; WALTER A.C.S.; LUENGO,C.A. **Cogeneration for small user: case studies for brazilian tertiary sector**, in: ASME COGEN TURBO, 1995, **proceedings...**,August, 1995.

SCHMIDT, R. **Diseño Básico, Ejemplos y Experiencias de sistemas Fotovoltaicos Autónomos**. Grupo de Energias Renovables - Universidad de Tarapacá, Facultad de Ingeniería, Arica, Chile, 47 pag., 1994.

VALENTE, L. C. G.; ALMEIDA, S. C. A. Economic Analysis of a Diesel/Photovoltaic Hybrid System for Decentralized Power Generation in Northern Brazil. **Energy Journal**, vol. 23, nº 4, p.317-323, 1998.

VALERA, A. P., **Energía Solar**, Universidad Nacional de Ingeniería - UNI, Concytec, Lima, Perú, 394 pag., 1993.



WILLS, R. H. **The Interconnection of Photovoltaic Power System With the Utility Grid: An Overview for Utility Engineers**, contractor report SAND94-1057, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico, june 1994, disponível em <http://www.osti.gov/bridge/search.easy.jsp> aceso em: 14 sept. 2001.

WITT, C. E.; SUREK, T.; MITCHELL, R. L.; SYMKO-DAVIES, M.; THOMAS, H. P. **Terrestrial Photovoltaics Technologies - Recent Progress in manufacturing R & D**. in: ASME 2000, 34th National Heat Transfer Conference, 34, Pittsburgh, Pennsylvania, August 20 - 22, 5 pag., 2000.

ZWEIBEL, K. **Thin Film Photovoltaics**. In: Technology's Critical Role in Energy and Environmental Markets Conference, Alburquerque, New Mexico, anais, Octover p. 18-21 p., 1998.



BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AGAMI T. R. **The Design and Sizing of Active Solar Thermal Systems.**, New York: Clarendon Press, 1987

CANTÙ, M. **La Bíblia de Delphi 5**, Ediciones Anaya, Madrid, España, 928 pag. 2000

DUFFIE, J. A. BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes.** New York, John Wiley & Sons, 1980.

GROVE, A., S. **Physics and Technology of Semiconductor Devices**, New York, John Wiley and Sons Inc., 1967.

LORENZO E.; CAAMAÑO, E. M. **Seguridad y Condiciones Técnicas en Edificios Fotovoltaicos Conectados a la Red.** Barcelona, España, Instituto de Energía Solar, 2001.

LUNDE, P. J. **Solar Thermal Engineering - Space Heating and hot Water Systems.** New York, John Wiley & Sons, 1980.

MONTENEGRO, A. A. **Fontes Não-Convencionais de Energia - As Tecnologias Solar, Eólica e de Biomassa.** Florianópolis/SC, 3 ed. Labsolar - Laboratório de Energia Solar, Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, 2000. 208 p.

OLIVEIRA, S. G. F. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos: Ênfase na Eletrificação de Residências de Baixo Consumo.** Dissertação (mestrado em energia), Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 1997.

PALZ, W.; **Energia Solar e Fontes Alternativas**; São Paulo, Ed. Hemmus, 1981. 358 p.

RÜTHER, R.; Montenegro, A. de A. **Building-Integrated, Grid-Connected Photovoltaic Installations in Warm Climates: Choice of Technologies.** In: Conference on Passive and Low Energy Architecture, 18, Florianópolis - Brazil, *anais...*, 7 -9 November 2001.

SILVA, M. J.; SILVEIRA, J. L; GOUVÊA, P.E.M.; RÜTHER, R.; **Energia Solar Fotovoltaica para Geração Descentralizada de Eletricidade no Brasil: A Necessidade de Subsídio por Parte do Governo.** In: CLAGTEE - Congreso LatinoAmericano de Generación y Transporte de Energia Electrica, 4, Viña del Mar/Chile; **anales...**, Nov./2000, p.1-7.

SAYIGH, A. A. M. **Solar Energy Engineering.** New York: Academic Press, 1977.

SUREK, T., **The State of the Art of Thin-film Photovoltaics**, U.S.A. National Renewable Energy Laboratory, U.S. Departament of Energy, Colorado, 12 pag., 1993. disponível em <<http://www.osti.gov/bridge/search.easy.jsp>> aceso em: 3 dez. 2001.

UNITS and Symbols In Solar Energy, **Solar Energy**,. Vol. 59, Nº 1-3, P. 3-4, 1997.

ZWEIBEL, K. Thin Films: Past, Present, Future. **Progress in Photovoltaics**, Vol. 3, N. 5, Sept./Oct. 1995.



APÊNDICE A: Energia Produzida Durante o Ano 1998

TABELA. A1.- Energia diária produzida durante o mês de janeiro

dia	Energia Prod. W-h	Irradiação. W-h
1	2349,20	55615,84
2	5584,67	116331,68
3	5428,93	114019,68
4	2255,00	50611,04
5	8349,67	174730,08
6	10627,60	219811,36
7	1522,07	32482,24
8	4927,47	105576,80
9	7872,80	167916,48
10	5553,87	122938,56
11	12204,20	251325,28
12	12136,80	255592,96
13	13049,13	277012,96
14	12799,87	268151,20
15	7496,40	158170,72
16	7927,67	169529,44
17	10803,67	228694,88
18	12585,87	267471,20
19	5392,60	112801,12
20	9261,60	197387,68
21	12379,00	260540,64
22	12640,93	265474,72
23	8941,27	192138,08
24	8397,47	179748,48
25	10435,93	223235,84
26	10446,73	219958,24
27	12979,00	269747,84
28	11372,87	240681,92
29	8838,27	185357,12
30	8407,87	173155,20
31	9440,67	199294,40
TOTAL	272409,07	5755503,68
Rend.	4,73	

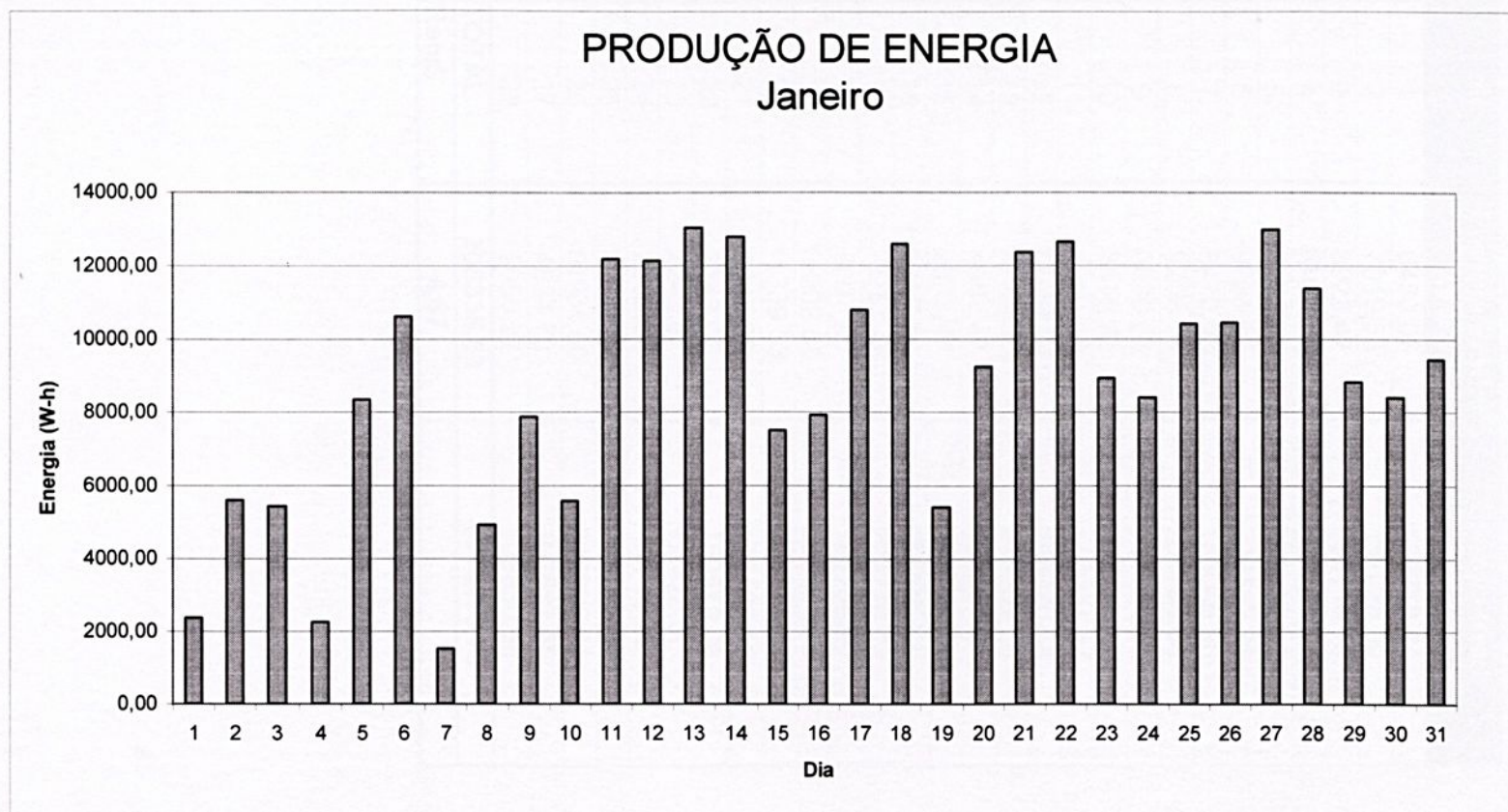


FIGURA A.1.- Energia produzida durante o mês de janeiro

TABELA A.2.- Energia diária produzida durante o mês de fevereiro

dia	Energia Prod. W-h	Energia Irrad. W-h
1	6450,07	138779,84
2	7019,53	151028,00
3	8923,47	189116,16
4	10488,00	220521,28
5	7182,67	153492,32
6	9751,07	206687,36
7	6470,93	136048,96
8	9208,73	201293,60
9	6830,33	145340,48
10	3410,93	76584,32
11	5280,07	112001,44
12	13754,67	296920,64
13	10133,93	218239,20
14	4681,47	101067,04
15	2676,47	61025,92
16	2487,60	53709,12
17	10257,40	222226,72
18	8897,20	190769,92
19	11002,80	237681,76
20	11339,33	243173,44
21	8045,33	173408,16
22	7143,07	150519,36
23	2243,67	52428,00
24	2909,33	63745,92
25	11757,87	248243,52
26	10104,60	213998,72
27	4834,73	102612,00
28	5050,27	103830,56
TOTAL	208335,53	4464493,76
Rend.	4,67	

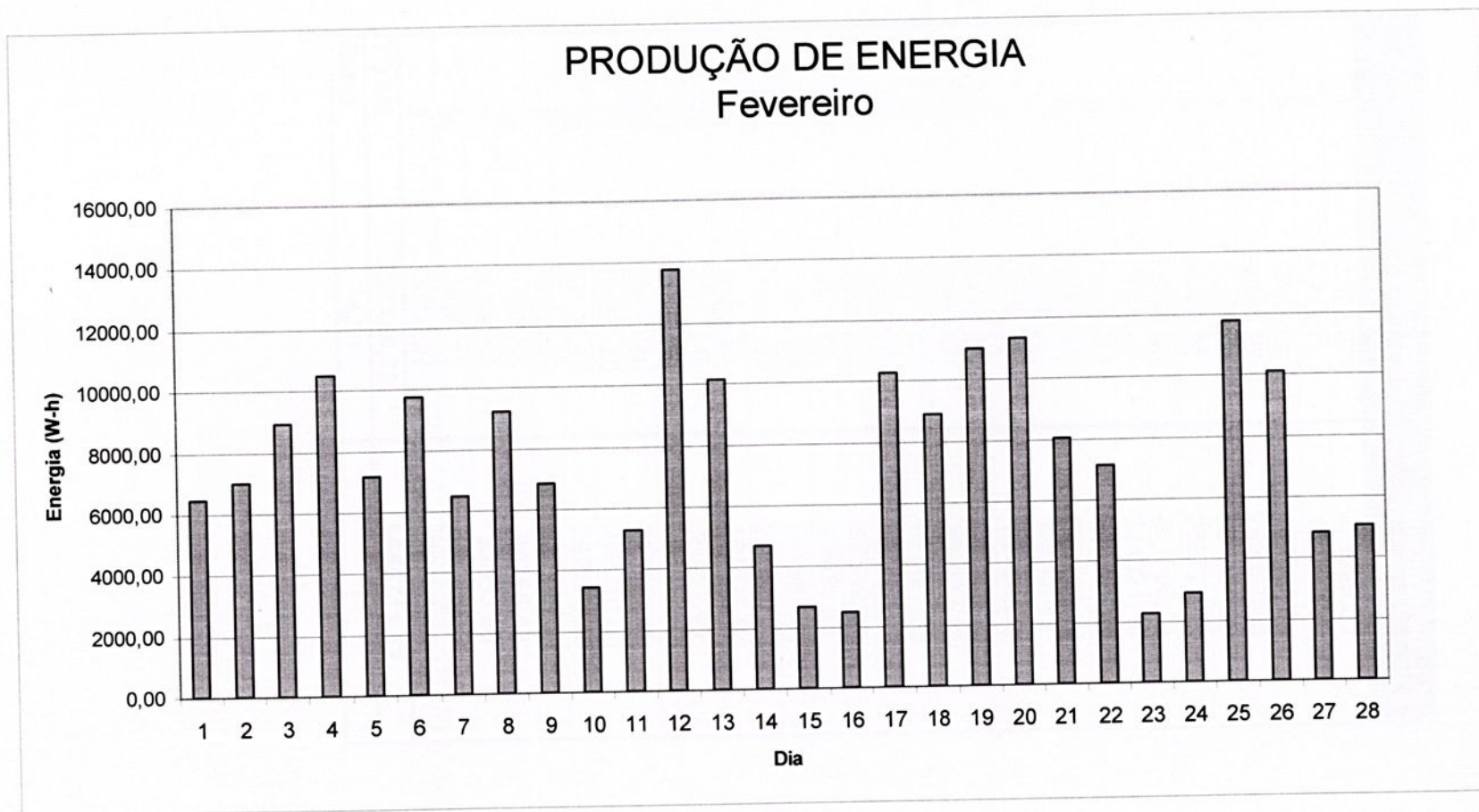


FIGURA A.2.- Energia produzida durante o mês de fevereiro

TABELA A.3.- Energia diária produzida durante o mês de março

dia	Energia Prod. W-h	Energia Irrad. W-h
1	13022,07	275699,20
2	4575,93	98774,08
3	9243,33	196607,04
4	12469,27	265697,76
5	12379,67	261304,96
6	12409,33	262771,04
7	12244,67	261506,24
8	10448,47	224321,12
9	11338,73	244751,04
10	9616,87	205417,12
11	4279,40	93750,24
12	2800,20	62804,80
13	5941,00	125068,32
14	9863,47	209633,12
15	8877,47	191251,36
16	8263,00	178557,12
17	2890,53	67619,20
18	1071,13	27531,84
19	11819,53	251863,84
20	12991,47	281949,76
21	8536,60	187535,84
22	2617,00	61047,68
23	9886,27	214044,96
24	10670,80	227062,88
25	12851,20	282210,88
26	13196,60	292223,20
27	10404,13	225235,04
28	1971,53	46196,48
29	4209,13	92055,68
30	2880,13	64325,28
31	3380,27	76894,40
TOTAL	257149,20	5555711,52
Rend.	4,63	

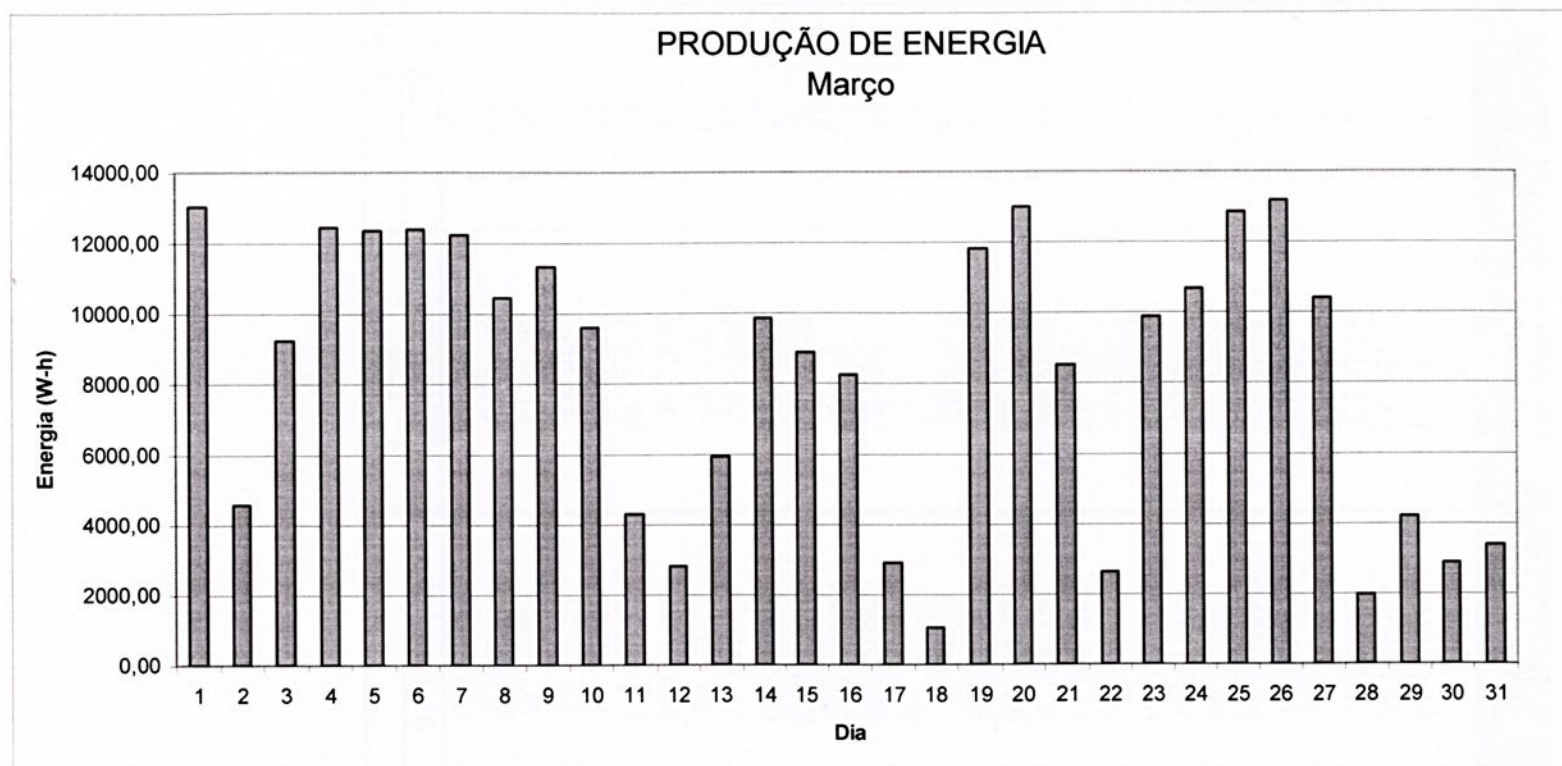


FIGURA A.3.- Energia produzida durante o mês de março

TABELA.4.- Energia diária produzida durante o mês de abril

dia	Energia Prod. W-h	Energia Irrad. W-h
1	2948,53	66346,24
2	12825,93	284180,16
3	11154,33	245488,16
4	8721,53	190865,12
5	4480,67	98692,48
6	4506,47	98458,56
7	6673,47	145008,64
8	8561,33	189725,44
9	8052,20	177129,12
10	10171,73	222074,40
11	7862,93	167519,36
12	11481,47	246489,12
13	6601,93	141869,76
14	10371,93	225335,68
15	6625,20	144426,56
16	3713,20	82595,52
17	7312,67	157390,08
18	11933,87	263102,88
19	11819,67	264560,80
20	10814,00	240010,08
21	9970,60	219585,60
22	8823,87	194142,72
23	965,47	27632,48
24	8302,40	182139,36
25	11352,20	250683,36
26	3825,53	83188,48
27	320,93	13755,04
28	3714,13	82995,36
29	5118,53	113391,36
30	11517,53	255059,84
TOTAL	230544,27	5073841,76
Rend.	4,54	

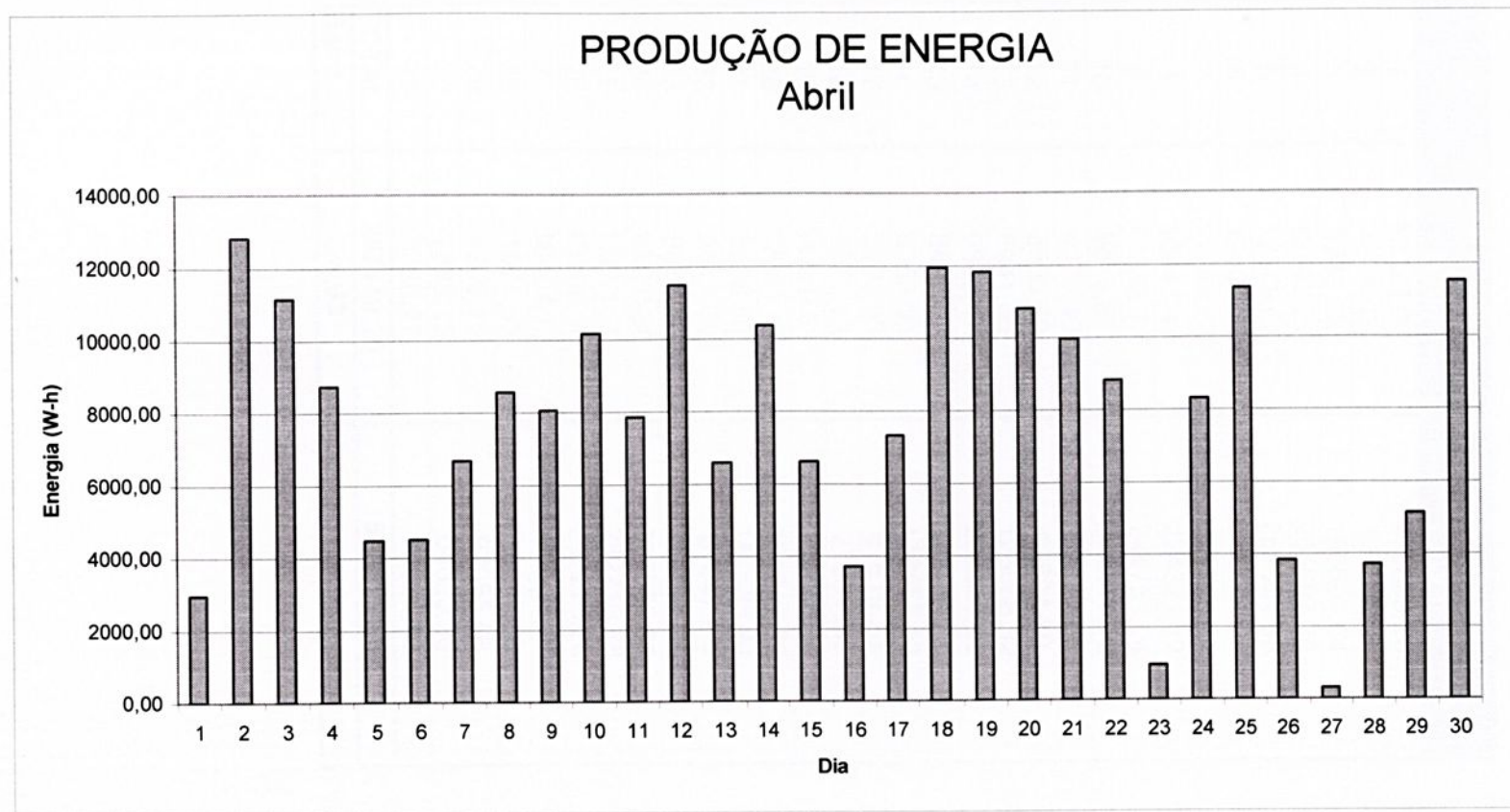


FIGURA A.4.- Energia produzida durante o mês de abril



TABELA 6.5.- Energia diária produzida durante o mês de maio

dia	Energia Prod. W-h	Energia Irrad. W-h
1	13022,07	275699,20
2	4575,93	98774,08
3	9243,33	196607,04
4	12469,27	265697,76
5	12379,67	261304,96
6	12409,33	262771,04
7	12244,67	261506,24
8	10448,47	224321,12
9	11338,73	244751,04
10	9616,87	205417,12
11	4279,40	93750,24
12	2800,20	62804,80
13	5941,00	125068,32
14	9863,47	209633,12
15	8877,47	191251,36
16	8263,00	178557,12
17	2890,53	67619,20
18	1071,13	27531,84
19	11819,53	251863,84
20	12991,47	281949,76
21	8536,60	187535,84
22	2617,00	61047,68
23	9886,27	214044,96
24	10670,80	227062,88
25	12851,20	282210,88
26	13196,60	292223,20
27	10404,13	225235,04
28	1971,53	46196,48
29	4209,13	92055,68
30	2880,13	64325,28
31	3380,27	76894,40
TOTAL	257149,20	5555711,52
Rend.	4,63	

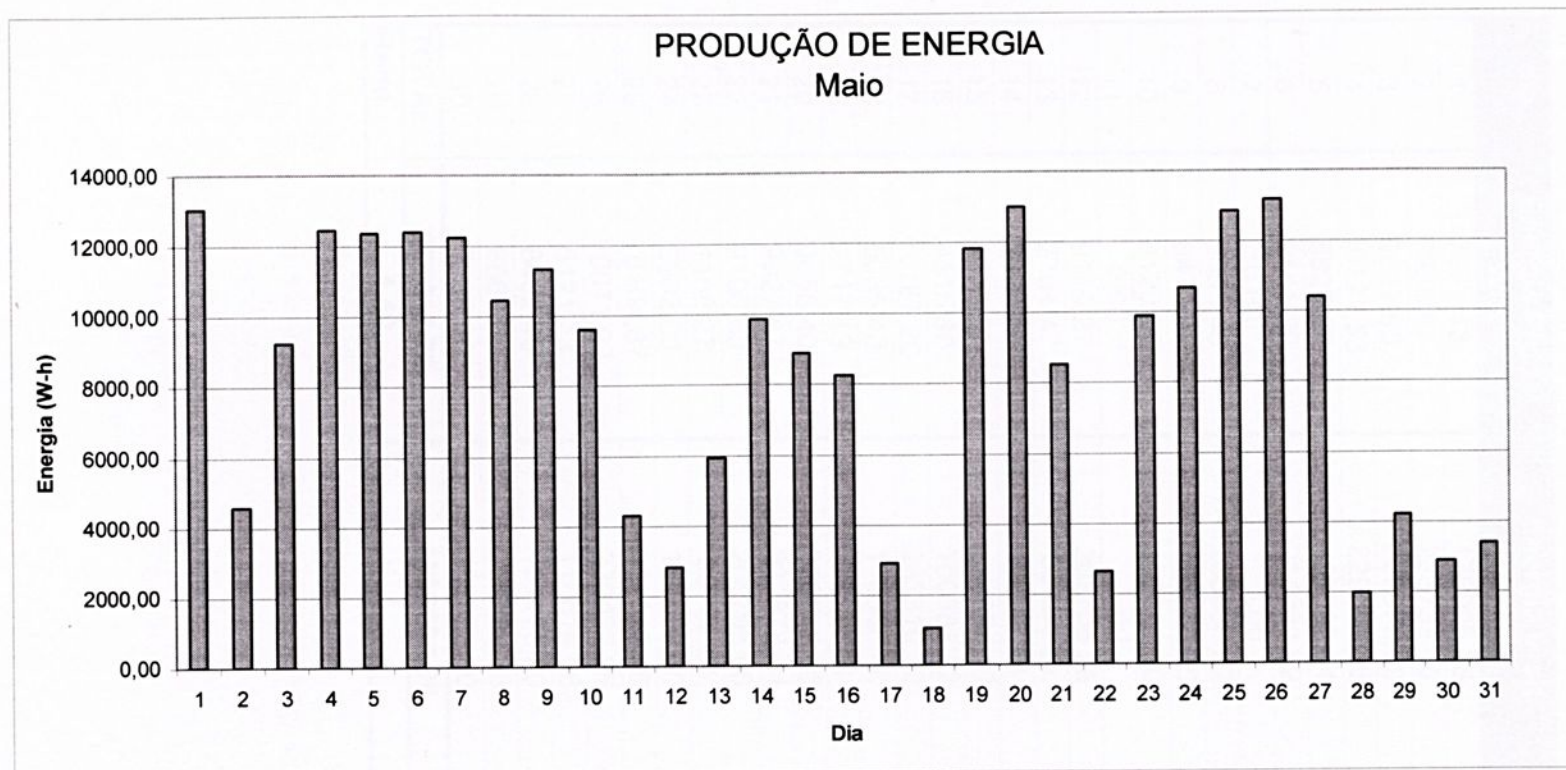


FIGURA A.5.- Energia produzida durante o mês de maio

TABELA 6.6.- Energia diária produzida durante o mês de Junho

dia	Energia Prod. W-h	Energia Irrad. W-h
1	7971,13	178905,28
2	9839,67	223733,60
3	9821,60	222876,80
4	10121,53	229646,88
5	6827,27	156092,64
6	9541,20	214039,52
7	0,00	0,00
8	9085,40	206600,32
9	8470,27	192488,96
10	6120,53	139141,60
11	0,00	0,00
12	9119,27	202705,28
13	2794,47	65494,88
14	2904,73	66142,24
15	6171,87	134664,48
16	4515,80	100683,52
17	10187,20	233310,72
18	5035,40	118986,40
19	2717,13	64564,64
20	9658,40	220847,68
21	9927,87	227873,44
22	9196,60	208798,08
23	1188,27	30782,24
24	5992,00	134177,60
25	10104,87	231112,96
26	10071,93	230432,96
27	5121,73	116614,56
28	8462,40	191175,20
29	8860,60	201889,28
30	7188,60	163023,20
TOTAL	207017,73	4706804,96
Rend.	4,40	



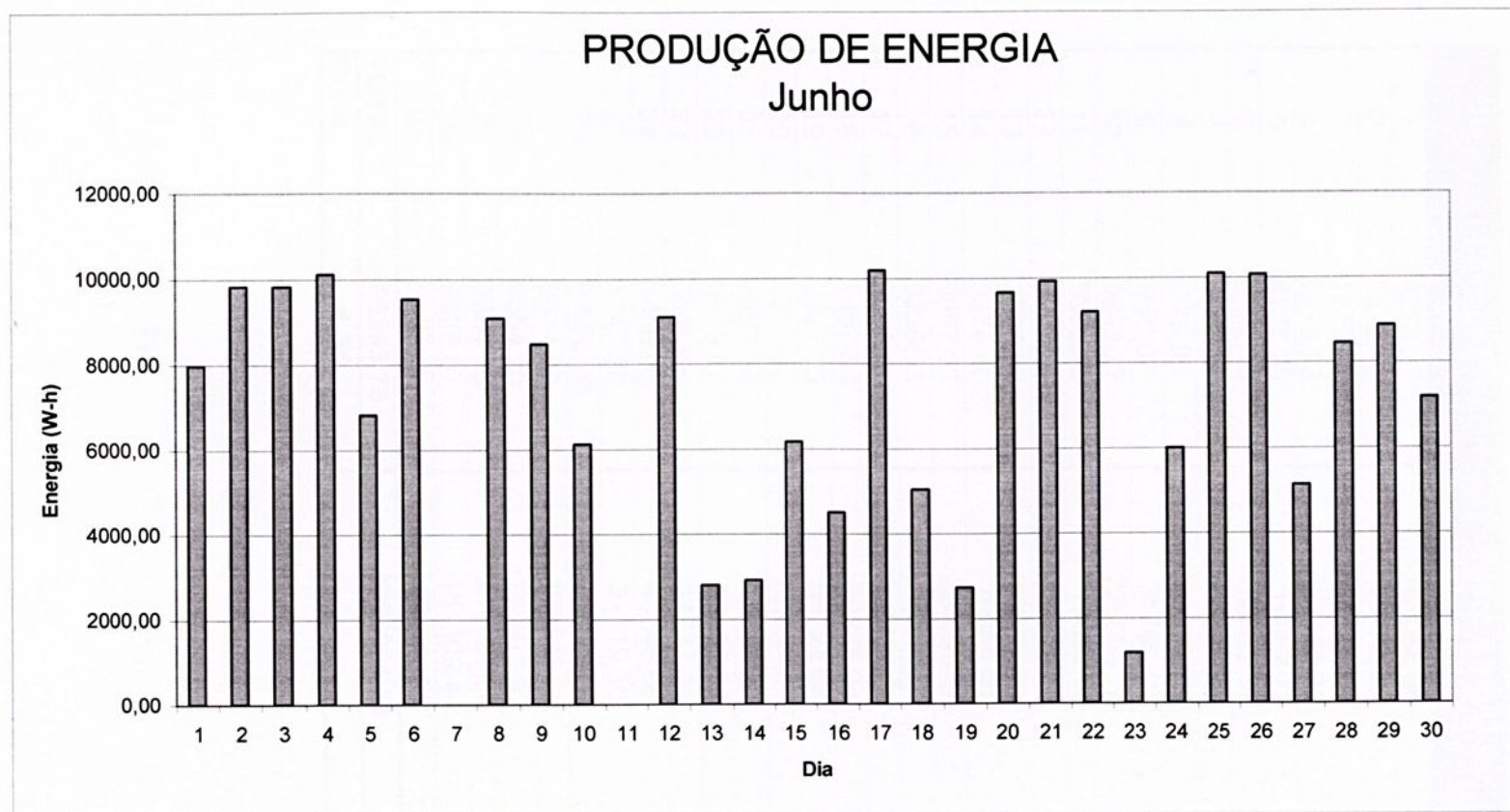


FIGURA A.6.- Energia produzida durante o mês de junho

TABELA A.7.- Energia diária produzida durante o mês de Julho

dia	Energia Prod. W-h	Energia Irrad. W-h
1	4374,27	104088,96
2	2812,13	65872,96
3	1972,20	47591,84
4	8273,73	187138,72
5	9727,20	219982,72
6	8392,40	188852,32
7	4977,53	113089,44
8	776,93	23073,76
9	716,07	21746,40
10	9843,27	225033,76
11	5066,93	114699,68
12	9968,47	227332,16
13	3626,53	83327,20
14	3274,40	76665,92
15	9897,27	224098,08
16	9236,33	211292,32
17	9506,20	217406,88
18	2457,80	60335,04
19	2327,33	55724,64
20	5818,40	132254,56
21	5293,93	120025,44
22	3979,87	92156,32
23	296,93	11837,44
24	1806,40	44346,88
25	1147,20	31519,36
26	10595,00	241620,32
27	6914,93	158695,68
28	6354,20	143917,92
29	9364,13	213359,52
30	6526,87	151509,44
31	3968,87	89496,16
TOTAL	169293,73	3898091,84
Rend.	4,34	

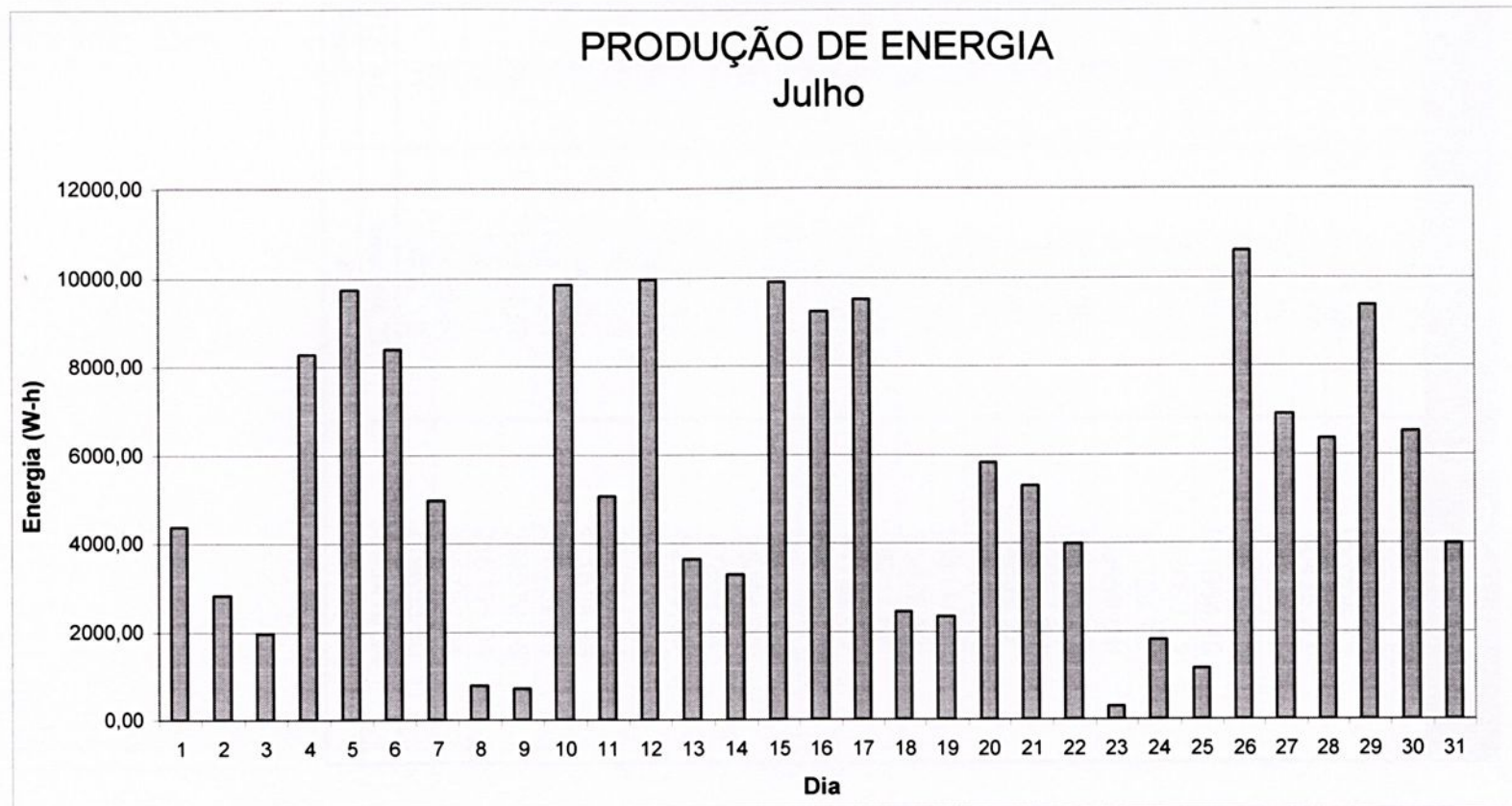


FIGURA A.7.- Energia produzida durante o mês de julho

TABELA A.8.- Energia diária produzida durante o mês de agosto

dia	Energia Prod. W-h	Energia Irrad. W-h
1	2762,33	65255,52
2	4643,53	105038,24
3	8806,33	199705,12
4	2044,60	50415,20
5	914,13	27083,04
6	8150,33	186107,84
7	7918,93	181954,40
8	7097,60	163053,12
9	2179,13	51750,72
10	2555,07	59559,84
11	8931,60	196617,92
12	755,93	22997,60
13	438,40	14609,12
14	5225,40	117275,52
15	7369,27	168144,96
16	3597,27	83476,80
17	3279,00	76211,68
18	1585,60	41792,80
19	7755,73	173525,12
20	4653,47	105342,88
21	921,60	25404,80
22	2027,20	47809,44
23	2147,47	52506,88
24	8390,27	197382,24
25	4439,33	107051,04
26	4645,27	111038,56
27	10119,47	235152,16
28	11394,33	264976,96
29	9396,13	216735,04
30	11396,40	265782,08
31	9403,13	219653,60
TOTAL	164944,27	3833410,24
Rend.	4,30	

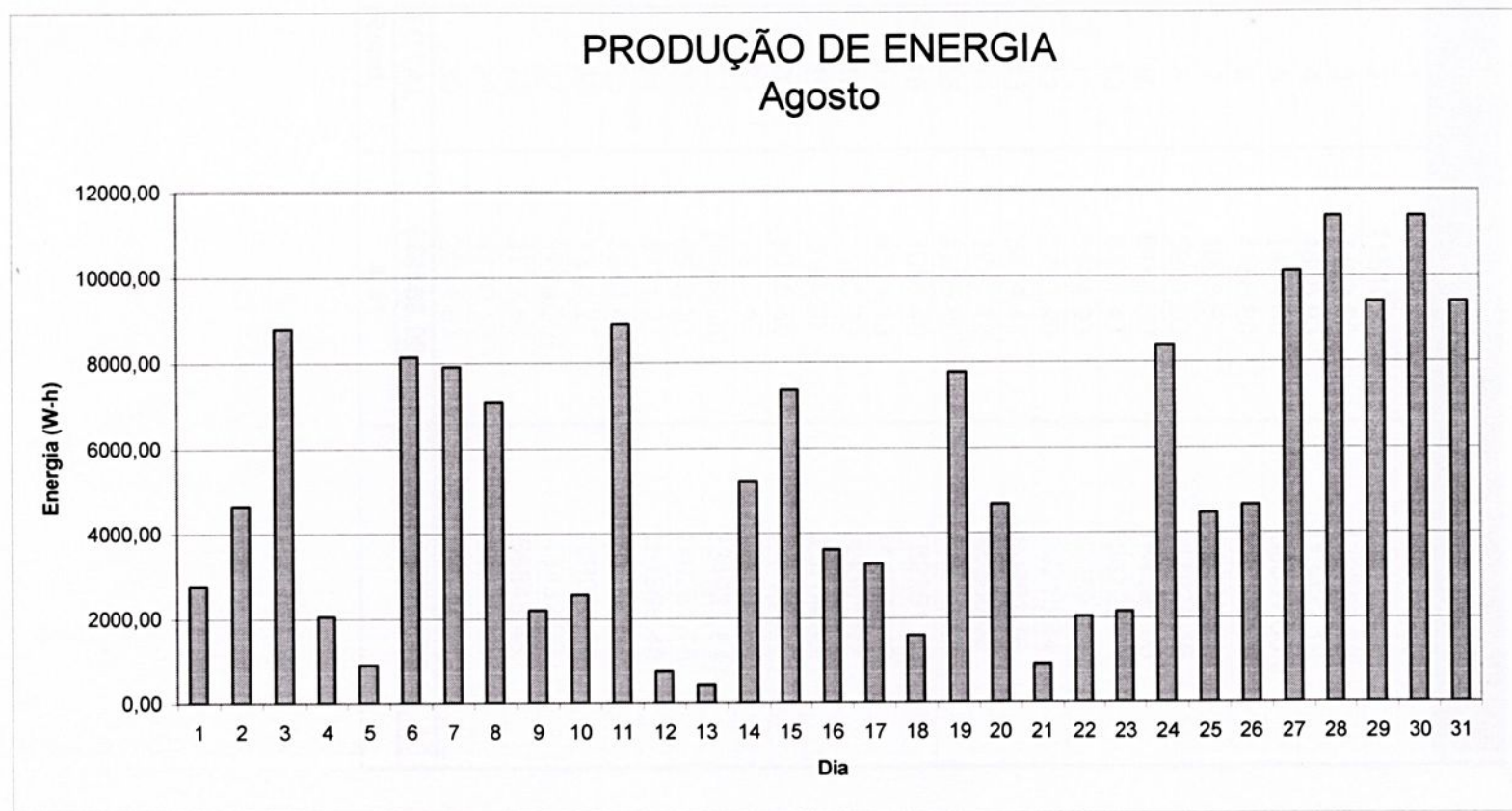


FIGURA A.8.- Energia produzida durante o mês de agosto



TABELA A.9.- Energia diária produzida durante o mês de setembro

día	Energia Prod. W-h	Energia Irrad. W-h
1	6330,13	143300,48
2	11510,47	263263,36
3	7469,60	173750,88
4	4895,93	113432,16
5	1444,60	38501,60
6	4756,60	108729,28
7	1063,67	28336,96
8	5041,93	113976,16
9	8144,53	184396,96
10	8421,47	194722,08
11	7974,93	179394,88
12	2792,40	69215,84
13	3474,47	80751,36
14	1797,13	46960,80
15	2205,80	55689,28
16	7086,40	162261,60
17	6094,13	141562,40
18	1150,93	33091,52
19	789,20	23704,80
20	3015,80	70426,24
21	7313,47	164361,44
22	10428,20	234931,84
23	6578,33	149281,76
24	6721,27	151898,40
25	3218,47	76576,16
26	7314,27	169028,96
27	1739,20	43432,96
28	2727,60	65848,48
29	4120,13	94996,00
30	2944,93	69982,88
TOTAL	148566,00	3445807,52
Rend.	4,31	

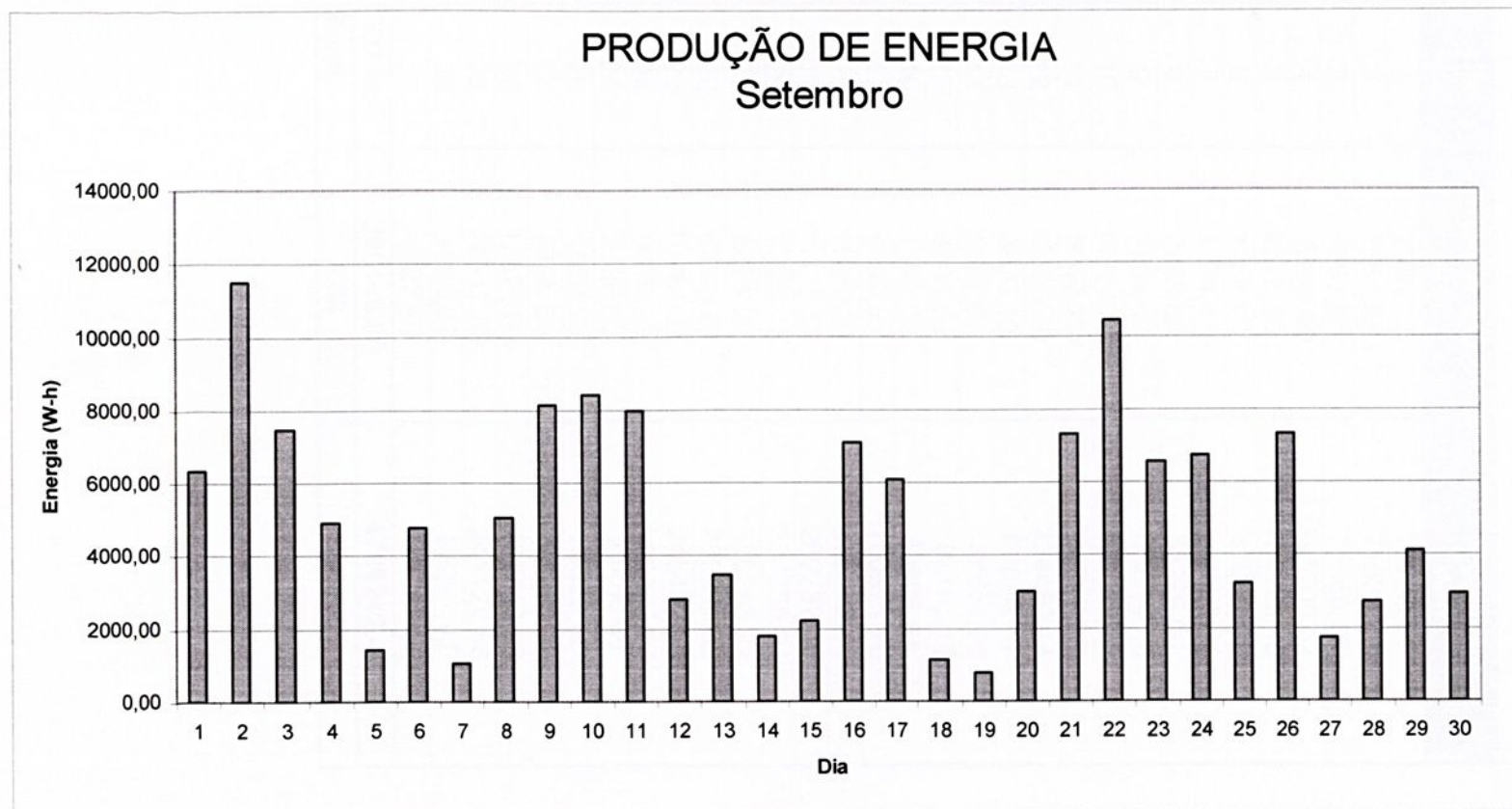


FIGURA A.9.- Energia produzida durante o mês de setembro

TABELA A.10.- Energia diária produzida durante o mês de outubro

dia	Energia Prod. W-h	Energia Irrad. W-h
1	3336,07	78708,64
2	2958,53	71835,20
3	3063,47	71669,28
4	10888,60	245700,32
5	8575,60	194126,40
6	1038,47	31095,04
7	6174,47	140022,88
8	2268,60	55229,60
9	7594,67	175314,88
10	10904,33	253819,52
11	3840,20	90747,36
12	10265,60	234469,44
13	3833,13	90924,16
14	5988,67	138652,00
15	8344,80	186105,12
16	1392,00	39608,64
17	4449,53	100871,20
18	11358,27	262349,44
19	11178,53	259237,76
20	10233,73	234238,24
21	6874,00	156293,92
22	10048,67	230691,36
23	10761,27	245452,80
24	5670,33	129083,04
25	2335,60	58509,92
26	1530,93	39823,52
27	9795,60	226271,36
28	12526,33	287743,36
29	10517,33	241122,56
30	4066,07	95297,92
31	4327,40	101227,52
TOTAL	206140,80	4766242,40
Rend.	4,33	

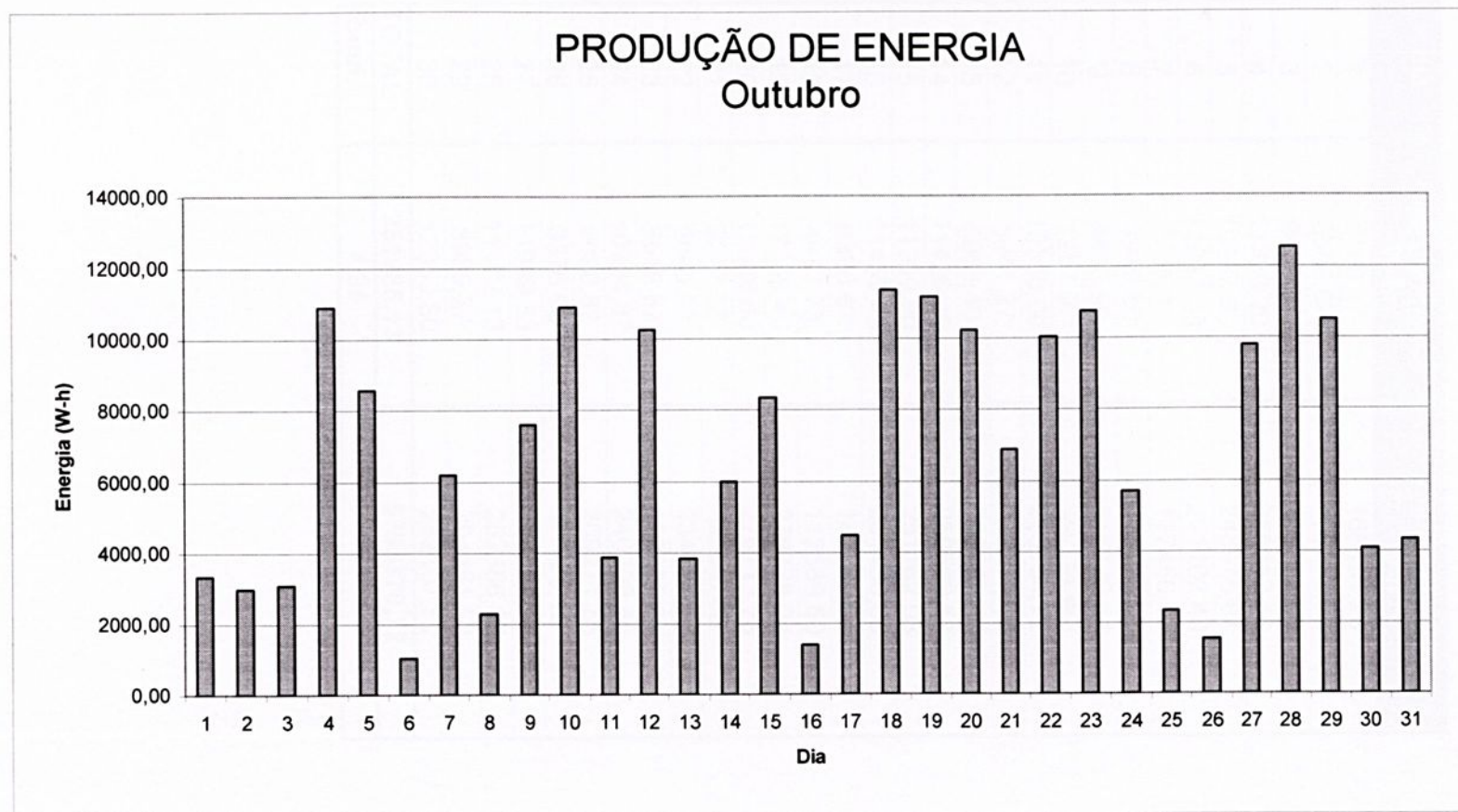


FIGURA A.10.- Energia produzida durante o mês de outubro

TABELA A.11.- Energia diária produzida durante o mês de novembro

dia	Energia Prod. W-h	Energia Irrad. W-h
1	7180,47	166151,20
2	6909,87	159362,08
3	6478,53	151882,08
4	11320,20	258612,16
5	10587,80	243975,84
6	11897,33	271102,40
7	7738,07	177450,08
8	8945,80	206010,08
9	4938,60	116720,64
10	1267,07	37114,40
11	10300,00	232154,72
12	5941,27	137670,08
13	5968,40	136462,40
14	11426,40	259599,52
15	11200,80	251162,08
16	11455,40	261430,08
17	6380,67	147239,04
18	4937,73	112689,60
19	12099,40	278778,24
20	12088,60	276713,76
21	2277,33	58586,08
22	5649,33	134784,16
23	8518,87	195627,84
24	10394,87	240298,40
25	9090,87	209271,36
26	3376,93	81725,12
27	11099,33	253852,16
28	11172,13	252386,08
29	8989,27	204451,52
30	12353,80	282107,52
TOTAL	251985,13	5795370,72
Rend.	4,35	

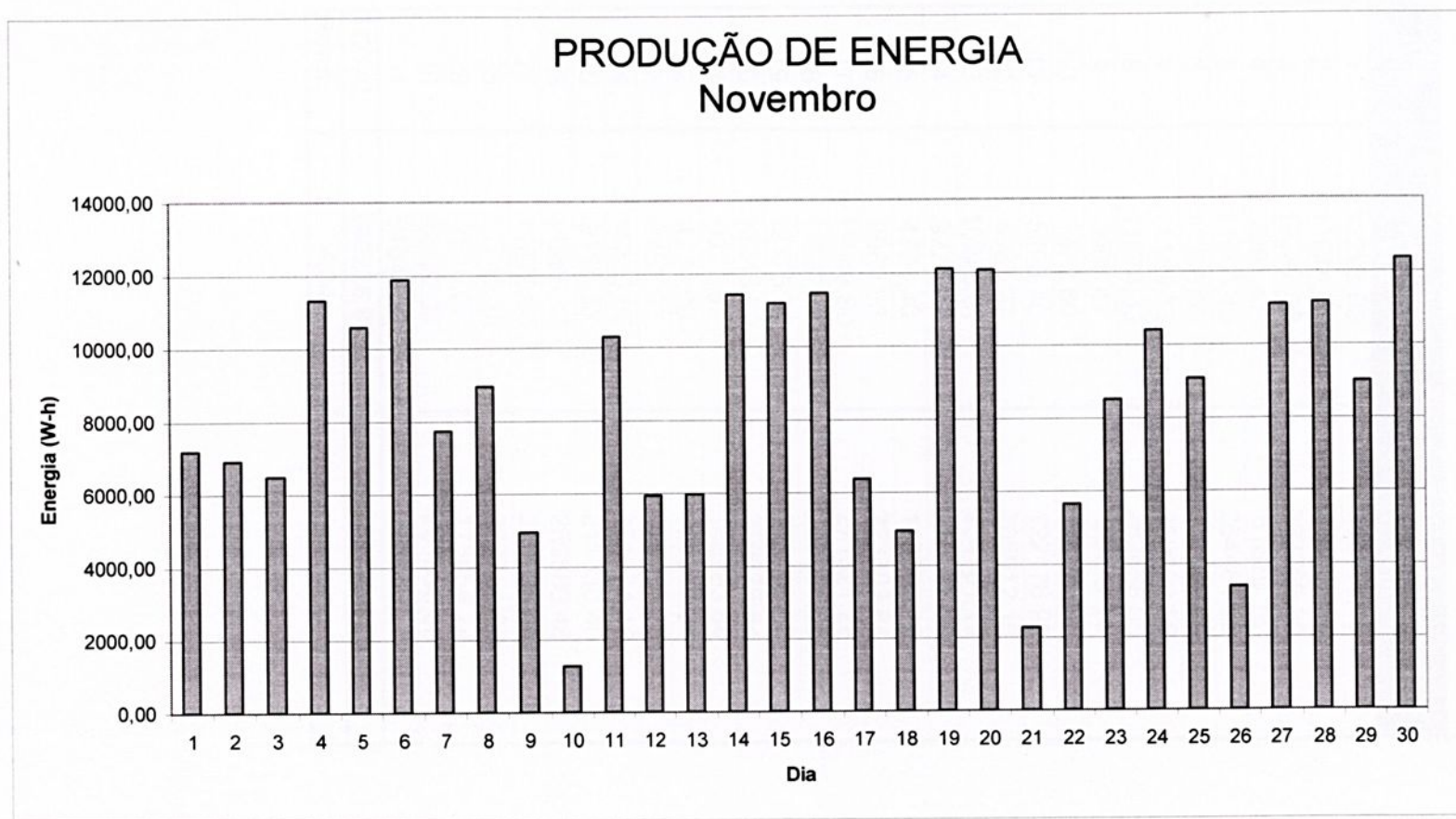


FIGURA A.11.- Energia produzida durante o mês de novembro

TABELA A.12.- Energia diária produzida durante o mês de dezembro

dia	Energia Prod. W-h	Energia Irrad. W-h
1	12283,60	283138,40
2	11974,67	273523,20
3	10247,60	237768,80
4	2395,47	61820,16
5	11503,40	264481,92
6	11308,60	261049,28
7	11189,73	258802,56
8	11674,33	262858,08
9	3906,47	93423,84
10	1972,60	50766,08
11	5293,40	122176,96
12	8937,27	205912,16
13	10245,67	234181,12
14	9226,27	210215,20
15	4794,40	113005,12
16	9982,93	223303,84
17	11946,80	271521,28
18	11557,47	269051,52
19	12175,60	283100,32
20	12243,60	279675,84
21	6372,67	145783,84
22	4374,00	102943,84
23	8452,93	193215,20
24	11385,67	261174,40
25	9198,33	211330,40
26	11265,47	259580,48
27	11878,60	270033,44
28	11745,13	267754,08
29	7515,07	173854,24
30	12132,27	281898,08
31	11046,87	254483,20
TOTAL	290226,87	6681826,88
Rend.	4,34	

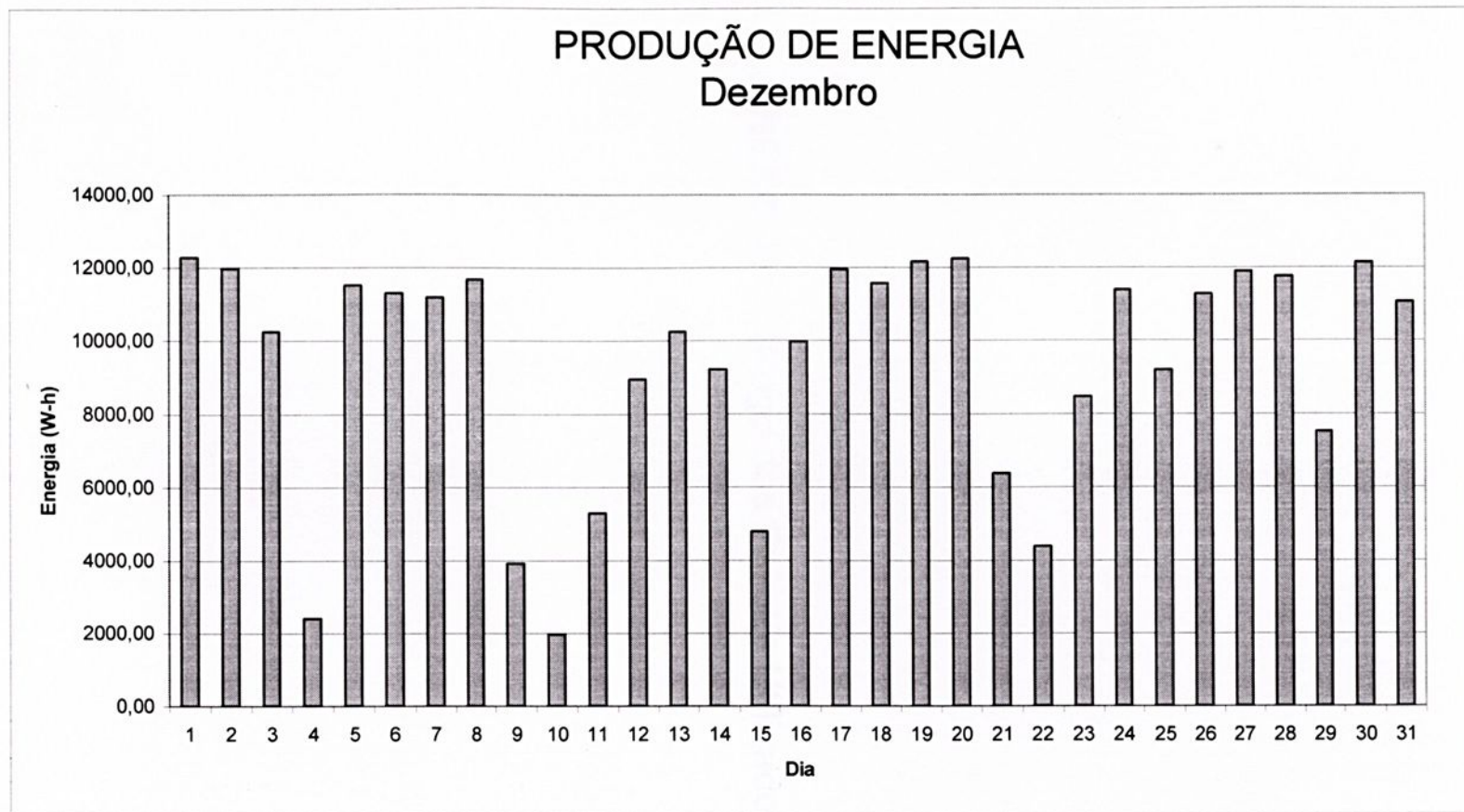
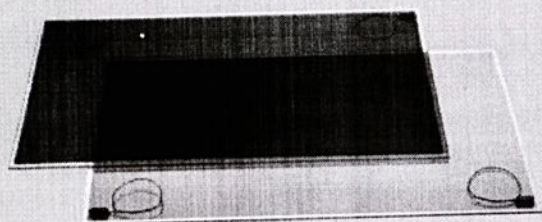


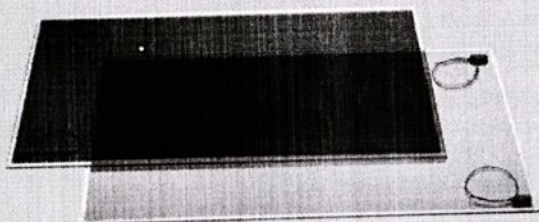
FIGURA A.12.- Energia produzida durante o mês de dezembro

ANEXO A: Catálogo dos Painéis Utilizados no Sistema

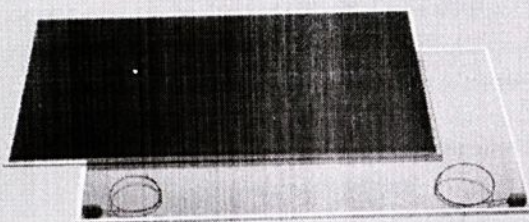
ASI® thin-film, opaque/semi-transparent solar modules



ASE-30-DG-UT semitransparent 68 V_{DC}



ASE-30-DG-UT semitransparent 36 V_{DC}



ASE-30-DG-UT opaque 68 V_{DC}



ASE-30-DG-UT opaque 36 V_{DC}

Versions

ASI®-solar modules of the type ASE-30-DG-UT are amorphous silicon thin-film modules that consist of ASI®-stacked cells on a glass substrate. Highly developed coating technology ensures a stable, high efficiency. A special feature of these modules is the low temperature dependence which guarantees almost constant nominal power conversion. ASI®-solar modules do not contain heavy metals and thus are environmentally harmless. These glass modules are frameless, encapsulated by lamination with EVA foil to rear glass plates.

Applications

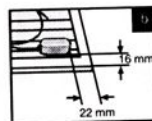
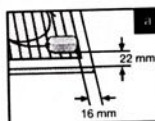
ASI® solar modules with a voltage of 36 V_{DC} at nominal power are optimised for use in 24 V systems. The modules with 68 V_{DC} are primarily designed for grid-connected photovoltaic systems.

For special architectural requirements there are the ASI® thin-film modules from ASE in the versions:

- Opaque
- Semitransparent ASITHRU®

The ASI® solar modules are suitable for mounting in commercially available facade and sectional roof-frame systems. Since they have the same nominal voltage, opaque and semi-transparent ASI® modules can be used in any combination within a given circuitry.

A reliable crimping technique is available for connecting the module leads.



Lateral mounting distance at the module connection buttons:

a = 68 V_{DC} b = 36 V_{DC}

Designation:

DG = double glass

U = unframed

T = cells embedded in thermoplastic

ASE-30-DG-UT



Electrical data

The electrical data applies to standard test conditions (STC) for the stabilised state (higher values on delivery):
Irradiance at the module level of 1000 W/m² with spectrum AM 1.5 and a cell temperature of 25° C.

		36 V _{DC} opaque	68 V _{DC} opaque	36 V _{DC} semitransparent	68 V _{DC} semitransparent
Power (max.)	P _{mpp}	32 Wp	32 Wp	27 Wp	27 Wp
Voltage at maximum-power point	U _{mpp}	36 V	68 V	36 V	68 V
Current at maximum-power point	I _{mpp}	0.89 A	0.47 A	0.75 A	0.4 A
Short-circuit current	I _{sc}	1.13 A	0.60 A	1.02 A	0.54 A
Open-circuit voltage	U _{oc}	49 V	93 V	49 V	93 V

Tolerances ± 10%. The quoted technical data refers to the usual series cell configuration in the standard module.



Dimensions and weights

Dimensions	1000 x 600 mm ²
Module glass thickness / module thickness with connection button	9 mm / 21 mm
Surrounding glass margin for minimum clamping depth	16 mm
Weight	12 kg



Characteristic data

Type of solar cells	Amorphous silicon thin-film as ASI* stacked cell, uniform dark brown glass surface, transparent margin. • opaque • semitransparent – approx. 10 % light transmission, ASITHRU* in a plain colour Electrical connection via extremely rugged and UV-resistant cable (RAYCHEM, Spec. 44) with double-sheath insulation, wire cross-section 1.94 mm ² per pole, external cable diam. 2.26 mm.
---------------------	--



Cell temperature coefficients

Referred to nominal power	T _K (P _n)	- 0.2 %/K
Referred to open-circuit voltage	T _K (U _{oc})	- 0.33 %/K
Referred to short-circuit current	T _K (I _{sc})	+ 0.08 %/K
The temperature dependence of the nominal power for ASI* modules is especially low.		



Limits

Max. system voltage	600 V _{DC}
Permissible module temperature	- 40 ... + 85° C
Max. surface loading	1 440 N (2 400 N/m ²) with proper all-round clamping to DIN 1055.

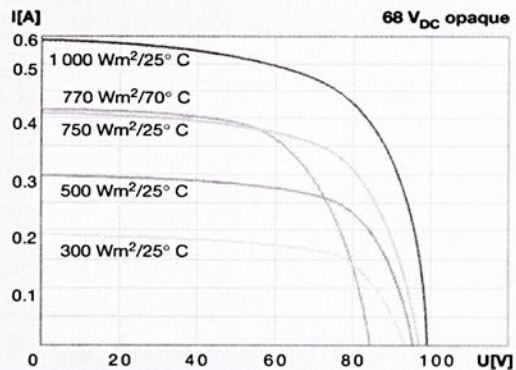
Specifications subject to change without notice.



Qualifications

The ASE-30-DG-UT modules comply with the requirements of CEC 701 (conforms to IEC 61215), Electrical Protection Class II and the EU guidelines, e.g. EMC according to DIN EN.

Current/voltage characteristics with dependence on solar irradiance and the module temperature.



Angewandte Solarenergie - ASE GmbH

Division Phototronics
Hermann-Oberth-Strasse 11
D-85640 Putzbrunn, Germany
e-mail:

phototronics-sales@ase.tessag.com
Internet: <http://www.ase-international.com>

MANAGEMENTSYSTEM



Certified by DQS according to
DIN EN ISO 9001 Reg.-No. 2184
DIN EN ISO 14001 Reg.-No. 2184

Photovoltaics from your specialist dealer:

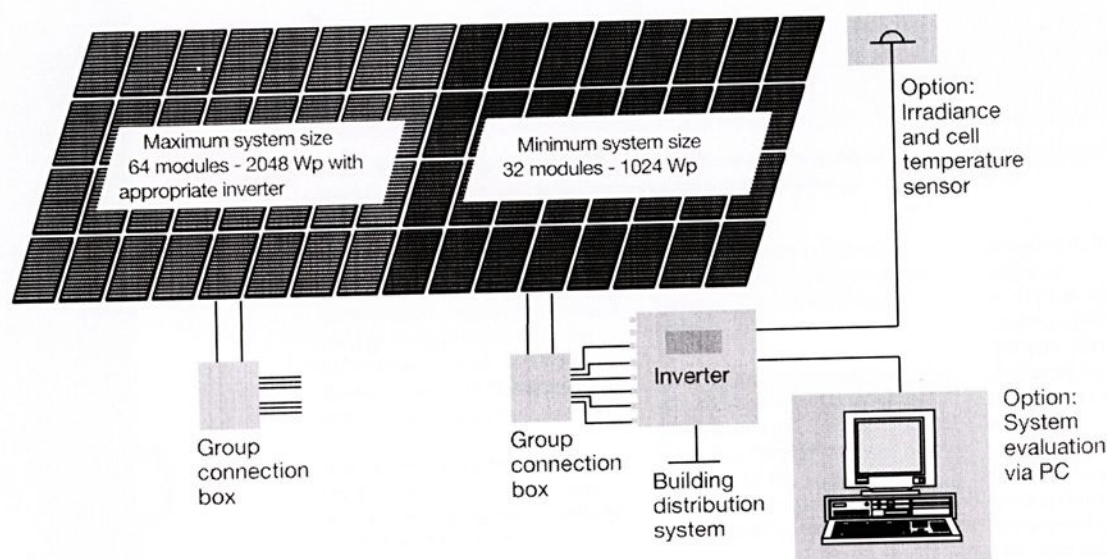
© 2004 Angewandte Solarenergie ASE GmbH
Printed in the Federal Republic of Germany
TM 1000103 DW 01/04 03



ANEXO B: Catálogo do Sistema Integrado



Integral-Kit: 1-2 kWp ASI® modules for building integration



This grid-connected solar power system with ASI® thin-film modules can be set up according to individual requirements. There is a wide choice of the number of modules (min. 32, max. 64) and their arrangement. With the brown module colour, a roof

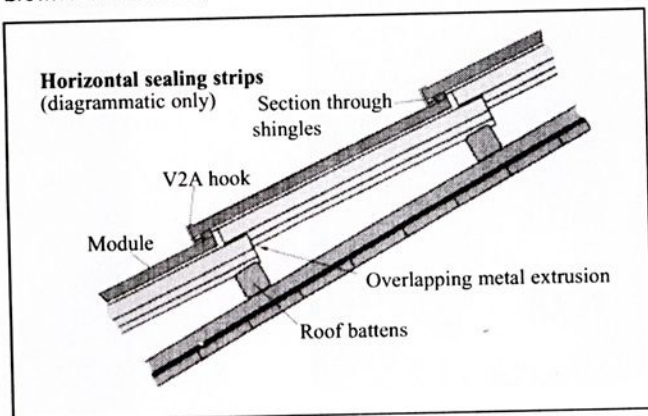
clad in the modules retains its aesthetic qualities.

For this system and with the same installed power rating according to STC, an approximately 10% higher annual energy yield can be expected compared to other

solar power systems. Under optimum conditions over 1,800 kWh can be obtained annually with just a 32 m² ASI® roof area. The material properties of the ASI® thin-film modules, in particular the low temperature sensitivity, make them ideal for roof integration.

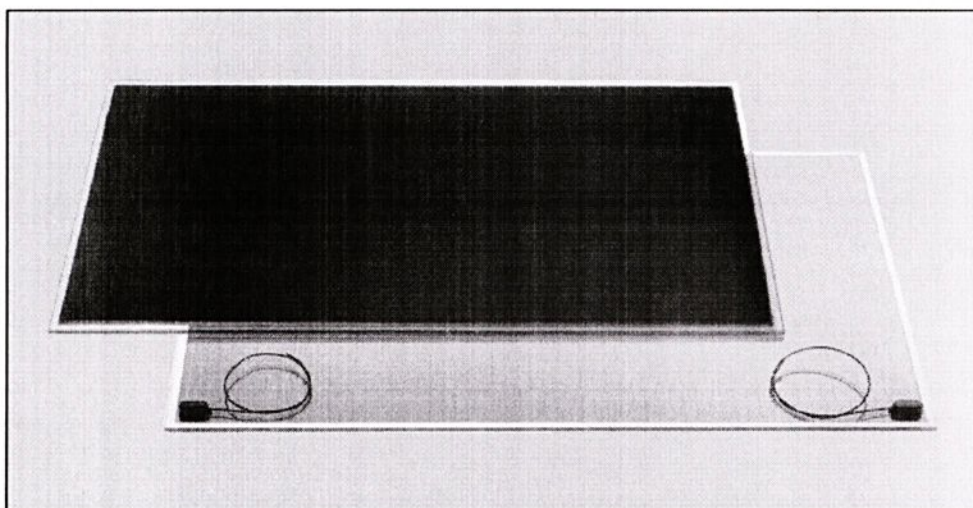
Components in the roof integration system

- 32 (up to 64) ASI® thin-film ASE-30-DG-UT modules.
- Group connection box for up to 32 modules.
- Inverter.
- Cable with crimp connections suitable for outdoors.



ASE-Integral-Kit

ASE-Integral-Kit



ASI® technology has proven itself over a number of years in a number of applications, but especially in building integration.

The ASI® shingle roof is built onto the familiar roof framing construction. Due to the module shingle arrangement and the dark brown colour, the solar system blends in harmoniously with the roof design.

ASI® technology has proven itself over a number of years in building integration, mainly in roof applications.

ASI® solar power modules are thin-film modules based on amorphous silicon and produced using the latest technology. The active photovoltaic layer is embedded between two glass panels. Stable efficiencies, low energy requirements during

production and a minimum consumption of resources are features indicative of future trends.

The 10 year guarantee on the electrical performance of the module and on the roof sealing using the RegEn® system is a measure of the reliability, hail resistance and longevity of the solar power system.

Shade sensitivity

Due to the parallel configuration, shading by chimneys or trees only affects individual modules located in the shade – a significant advantage in performance compared to other solar module systems.

Electrical building-block system

A modular system with all components approved by the German Technical Control Board is offered for the electrical connection of the solar modules.

Quick crimp connections

enable much time to be saved in connecting up the wiring. The high reliability connections have been approved for outdoor applications.



Angewandte Solarenergie - ASE GmbH

D-63754 Alzenau, Germany

Phone: +49 (0)6023 91-17 12

Fax: +49 (0)6023 91-17 00

e-mail: ase_sales@ase.tessag.com

Internet:

<http://www.ase-international.com>



Photovoltaics from your specialist dealer:

TESSAG
ASE Solar

© 2000 Angewandte Solarenergie - ASE GmbH
Photovoltaics from your specialist dealer
DNE 0340127

ANEXO C: Lista de fabricantes de Painéis Fotovoltaicos

N	Fabricante	Pais de procedencia	Internet
1	Alwitra	Alemania	
2	ASE	Alemania	www.ase-international.com
3	Astropower	USA	www.astropower.com
4	Atersa	España	www.atersa.com
5	Bp Solarex	India	www.bpsolarex.com
		USA	www.bpsolarex.com
		España	www.bpsolarex.com
6	Creaton	Alemania	www.creaton.de
7	Dunasolar	Ungria	www.dunasolar.com
8	Eurosolare	Italia	www.eurosolare.it
9	Fortum	Finlandia	www.fortum.com
10	GPV	Suecia	www.eat.de
11	Helios	Italia	www.heliotechnology.com
12	IBC	USA	www.ibc-solar.de
13	Isofoton	España	www.isofoton.es
14	Kyocera	Japón	www.kyocera.de
15	Pfleiderer	Alemania	www.pfleiderer-dach.de
16	Phönix	España	www.sonenstromag.de
17	Photowatt	Francia	www.photowatt.com
18	Pilkington	Alemania	www.pilkington.com
19	Rathscheck	Alemania	www.rathscheck.com
20	Schüco	Alemania	www.schueco.de
21	Shell Solar	Holanda	
22	Siemens	USA	www.siemenssolar.com
	Solar	USA/Brasil	www.siemenssolar.com
23	Solar Fabrik	Alemania	www.solar-fabrik.de
24	Solar World	Suecia	www.solarworld.de
25	Solarnova	Alemania	www.solarnova.de
26	Solarwatt	Alemania	www.solarwatt.de
27	Solarwerk	Alemania	www.solarwerk.de
28	Solon	Alemania	www.solonag.com
29	SunWare	Alemania	www.sunware.de
30	Thyssen	Alemania	www.thyssen-solartec.de
31	Heisterholz	Alemania	www.heisterholz.de
32	United Solar	USA	www.ovonic.com/unisolar.html
33	Webasto	Alemania	www.mastervolt.com
34	Würth Solar	Alemania	www.wuerth-elektronik.de

