



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

VÁGNER FONSÊCA NÓBREGA

**DOCUMENTAÇÃO DA BANCADA DE TESTES DO SISTEMA
FOTOVOLTAICO**

Campina Grande, Paraíba
Julho de 2010

VÁGNER FONSÊCA NÓBREGA

DOCUMENTAÇÃO DA BANCADA DE TESTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido
à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Maurício Beltrão de Rossiter Corrêa, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Março de 2011

VÁGNER FONSÊCA NÓBREGA

DOCUMENTAÇÃO DA BANCADA DE TESTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Maurício Beltrão de Rossiter Corrêa, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha mãe pela dedicação e amor a qual me criou e formou meu caráter.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela minha vida e pelo dom da perseverança, que me permitiu concluir este trabalho.

Agradeço à minha mãe, Mara, por ter se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, por ter me alimentado com saúde, força e coragem, as quais que foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada.

Agradeço a toda minha família, que com todo carinho e apoio, não mediu esforços para eu chegar a esta etapa da minha vida.

Agradeço aos companheiros de laboratório pela ajuda e companheirismo durante o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço a Meu orientador Professor Maurício pela dedicação e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

“O fundamental é afirmar-se de alargar o pensamento e o coração.”

D. Helder Câmara.

RESUMO

Neste relatório foi desenvolvido um documento para auxiliar as pessoas que desejarem trabalhar, ou conhecer a bancada de teste do sistema fotovoltaico, o mesmo apresenta todos os equipamentos que compõem o sistema (painéis fotovoltaicos, baterias, controladores de carga, DSP, sensores e um carga programável), bem como a máxima potência que pode ser fornecida pelo sistema, além de um esquema de como podem ser feitas conexões entre os painéis. Por fim é apresentada uma descrição de seu funcionamento levando em consideração seus limites.

ABSTRACT

Within this report an auxiliar document for those who intend to work with or study the photovoltaic panel test system installed in the lab was developed. It contains all equipment that constitute the system (panels, batteries, DSP, sensors, load controllers, variable load), information on the maximum amount of power that it may provide and a scheme describing the connection possibilities among the panels. Finally its operation is described accounting its limits.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Esquema de um Sistema Fotovoltaico	15
Figura 2. Modelo Ideal de uma célula Fotovoltaica	16
Figura 3. Modelo Real de uma Célula Fotovoltaica.....	16
Figura 4. Curvas Características de um painel Fotovoltaico	19
Figura 5. Curvas de descarga de uma Bateria	21
Figura 6. Esquema do Sistema Fotovoltaico do Laboratório	28
Figura 7. Disposição dos painéis na Laje do LEIAM.....	29
Figura 8. Caixa de Distribuição.....	30
Figura 9. Interior da Caixa QA-03.....	31
Figura 10. Caixa de distribuição Geral.....	32
Figura 11. Exemplo de conexão Serie	33
Figura 12. Sensor de Radiação Solar.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Perfil da Carga	22
Tabela 2. Radiação local.....	23
Tabela 3. Parâmetros do Sistema Fotovoltaico	24
Tabela 4. Modelos de painéis	29
Tabela 5. Organização dos painéis	30
Tabela 6. Lista de baterias do Laboratório	34
Tabela 7. Lista de Modelos de Controladores de carga.....	34

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract.....	viii
Lista de Ilustrações	ix
Lista de Tabelas	x
Sumário.....	xi
1 Introdução	13
2 Embasamento Teórico	15
2.1 Sistemas Fotovoltaicos	15
2.2 Painel Fotovoltaico	16
2.2.1 Modelo Elétrico Equivalente.....	16
2.2.2 Características principais dos Painéis Fotovoltaicos.....	18
2.2.3 Curvas Características	19
2.3 Controlador de carga.....	19
2.4 Baterias	20
2.5 Sensores	21
2.6 Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico	21
2.6.1 Perfil do Consumo do Apartamento.....	22
2.6.2 Irradiação Solar Local	23
2.6.3 Dimensionamento do Arranjo Fotovoltaico.....	23
2.6.4 Dimensionamento do Banco de Baterias	25
2.6.5 Dimensionamento do Controlador de Carga.....	26
2.6.6 Escolha do conversor CC-CA	27

3	Atividades Desenvolvidas.....	27
3.1	Atividade 1: Levantamento e descrição dos equipamentos	27
3.1.1	Painéis Fotovoltaicos.....	28
3.1.2	Baterias.....	34
3.1.3	Controladores de Carga.....	34
3.1.4	Sensores.....	35
3.1.5	DSP.....	35
3.2	Descrição do Funcionamento do Sistema 24hs	36
4	Resultados	37
5	Conclusões	37
	Referências Bibliográficas.....	38

1 INTRODUÇÃO

A emissão de gases nocivos a atmosfera vem causando graves mudanças climáticas em todo o planeta, estas que se refletem em catástrofes naturais. Em virtude disto em fevereiro de 2005 vários países de todo o mundo assinaram um acordo que objetivava a redução dos níveis de emissão de CO₂ (gás carbônico), Tratado de Kyoto.

Reduzir os níveis de CO₂ implica diretamente na redução da queima de combustíveis fósseis, o que afeta diretamente o balanço de energia dos países que assinaram o tratado, este fato somado ao grande aumento da demanda de energia mundial vem impulsionando o uso das chamadas energias limpas (Solar, eólica entre outras). É verdade que a eficiência e o potencial de produção das energias limpas não podem ser comparados aos atualmente utilizados, mas as mesmas se adéquam a nova situação mundial (Tratado de Kyoto).

Tendo em vista a demanda de energia crescente em todo o mundo, a energia fotovoltaica vem se desenvolvendo cada vez mais, sendo alvo de varias estudos.

Na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, mais exatamente no Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Maquinas – LEAIM vem se desenvolvendo um sistema fotovoltaico, o mesmo é conhecido como Sistema 24 horas. Este sistema teve alguns problemas em seu desenvolvimento devido principalmente a saída de muitos alunos que faziam parte do mesmo, dificultando sua conclusão de fato.

O maior problema quando saiam os alunos envolvidos era a pouca ou quase nenhuma documentação que ficava, ou seja, não se tinha quase nada de documentos que descrevessem o sistema. Este problema de certa forma influenciava na entrada de novos alunos que entravam e tinham bastante dificuldade em entender o sistema e suas partes de forma individual.

Diante desta problemática foi sugerido o desenvolvimento de um documento que contenha todas as informações necessárias para introduzir um novo aluno no laboratório, ou mesmo para apresentar o laboratório para visitantes.

Sendo assim este relatório esta dividido da seguinte maneira:

Capítulo 1: Introdução

Capítulo 2: Embasamento Teórico

Capitulo 3: Atividades Desenvolvidas

Capitulo 4: Resultados

Capitulo 5: Conclusões

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Um sistema fotovoltaico autônomo é composto basicamente por uma configuração de painéis, um controlador de carga, conjunto de baterias e um inversor, em geral esta é a configuração padrão de um sistema.

A Figura 1 mostra um diagrama de blocos dos elementos que compõem este sistema.

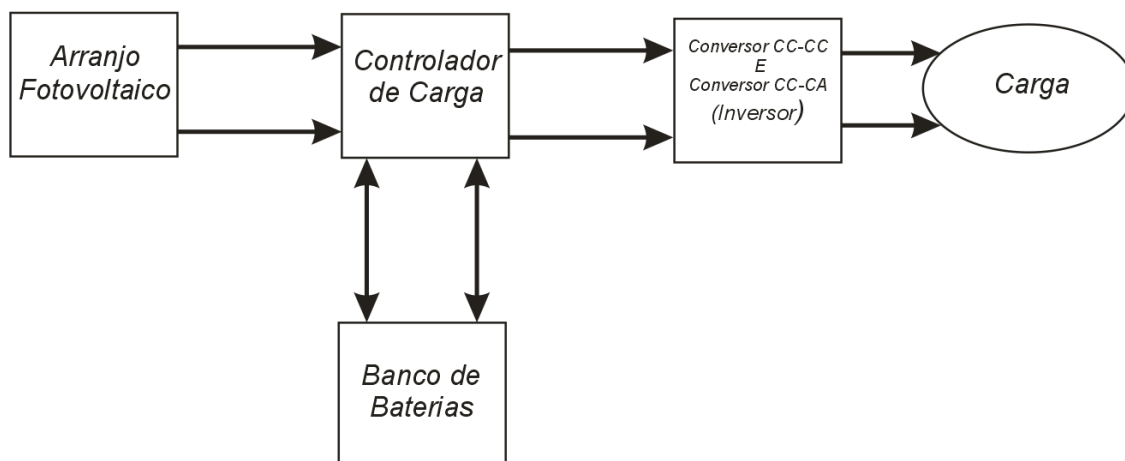


Figura 1. Esquema de um Sistema Fotovoltaico

Nestes sistemas a energia absorvida é armazenada em baterias e, posteriormente, utilizada para consumo próprio.

Estes sistemas são utilizados, sobretudo em instalações com necessidade de energia elétrica e que estejam longe das infra-estruturas de abastecimento.

Os painéis fotovoltaicos são agrupados em série e/ou paralelo gerando corrente contínua em função da potência e da tensão pretendida (12, 24 ou 48 volts).

Esta energia pode ser utilizada por equipamentos que utilizem diretamente corrente contínua, pode ser armazenada em baterias para consumo posterior em corrente contínua ou pode ainda ser utilizada em corrente alternada se for utilizado um inversor. Neste trabalho será utilizado o inversor para utilização da corrente alternada.

2.2 PAINEL FOTOVOLTAICO

O painel fotovoltaico tem seu princípio de funcionamento baseado no da célula eletrolítica que quando na incidência de luz, origina uma tensão e uma corrente elétrica, este que é denominado efeito fotovoltaico e foi evidenciado pela primeira vez por Edmond Becquerel no ano de 1839.

2.2.1 MODELO ELÉTRICO EQUIVALENTE

Para entender o comportamento elétrico de uma célula fotovoltaica é interessante criar um modelo elétrico equivalente, a fim de melhor compreender a dinâmica da tensão e da corrente na mesma.

O circuito mais simples de uma célula fotovoltaica é representar a mesma por uma fonte de corrente em paralelo com um diodo de acordo com a Figura 2, porém este modelo é ideal, para tanto considera-se uma resistência em serie (R_s) que representa as perdas ôhmicas dos materiais presentes nos painéis fotovoltaicos e uma resistência em paralelo que representa perturbações que surgem na célula, este que é um modelo mais real da célula e esta esquematizado na Figura 3

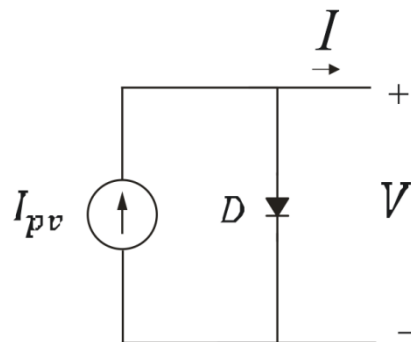


Figura 2. Modelo Ideal de uma célula Fotovoltaica

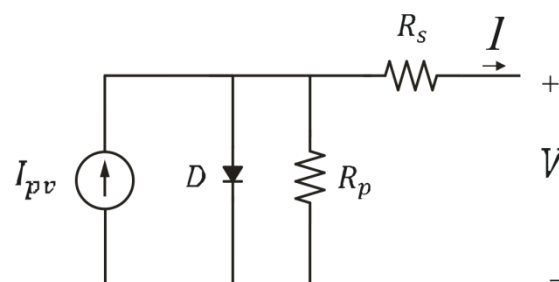


Figura 3. Modelo Real de uma Célula Fotovoltaica

Nas Figuras 2 e 3 a fonte de corrente representa a corrente gerada a uma determinada insolação, o diodo a junção P-N, a corrente I representa a corrente fornecida pela célula e apenas na Figura 3 tem-se as resistências R_p e R_s , paralelo e serie, respectivamente.

De posse do modelo elétrico equivalente pode-se determinar as equações que descrevem o comportamento da célula fotovoltaica, abaixo apresenta-se a equação da corrente de saída da célula.

$$I = I_{pv} - I_r \left[e^{\frac{q(V+IR_s)}{nKT}} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (1)$$

Onde: q é a carga do elétron, k é a constante de Boltzmann, T é a temperatura da célula, n é o fator de idealidade da junção e I_r é a corrente de saturação reversa da célula.

A corrente de saturação reversa tem uma relação direta com a temperatura e é dada por:

$$I_r = I_{rr} \left(\frac{T}{T_r} \right)^3 e^{\left[\frac{qE_g}{nk} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right]} \quad (2)$$

Na qual I_{rr} é a corrente de saturação reversa para temperatura T_r de referência e E_g é a energia de bang-gap do material da célula.

Por sua vez a corrente I_{pv} esta relacionado com a insolação presente na célula e com a temperatura de acordo com a seguinte relação.

$$I_{pv} = [I_{sc} + \alpha_T(T - T_r)] \frac{S}{1000} \quad (3)$$

Onde I_{sc} é a corrente de curto-circuito da célula nas temperatura e radiação padrões, α_T é o coeficiente de temperatura da corrente de curto-circuito da célula e S é a radiação incidente na célula dada em W/m^2 .

Com estas equações e o modelo elétrico equivalente é possível simular o funcionamento de um painel, este que por sua vez é composto por varias células como as descritas anteriormente, sendo assim considerando um número maior de células temos que a equação do painel fica da seguinte maneira:

$$I = n_p \left[I_{pv} - I_r \left[e^{\frac{q(V + IR_s)}{nKT}} - 1 \right] - \frac{V}{n_s} + \frac{IR_s}{n_p} \right] \quad (4)$$

Onde: n_p é o número de células conectadas em paralelo e n_s é o número de células conectadas em serie.

2.2.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Ao analisar um painel fotovoltaico algumas características são bastante relevantes no que diz respeito a sua capacidade de fornecimento, em termos de tensão e corrente, abaixo apresenta-se as principais características dos painéis fotovoltaicos, estas que são fornecidas pelos fabricantes dos mesmos, considerando as condições padrão de teste definida pela norma IEC 61215: 1000 W/m^2 de potência luminosa incidente total e uma distribuição espectral de massa conhecida como massa de ar de 1.5 e a temperatura das células de 25°C.

Corrente de curto-circuito(I_{sc}): O valor Máximo de corrente que pode circular pelos terminas do painel.

Tensão de circuito aberto(V_{oc}): O máximo valor de tensão quando nenhuma carga estiver conectada aos terminais do painel.

Ponto de Máxima Potência(MPP): Todo painel apresenta um ponto em que seu produto tensão versus corrente é máximo, este ponto varia de acordo com as condições climáticas. Para um dada condição climática só existe um MPP.

Corrente de máxima potência(I_{max}): Corrente do painel quando ele está na máxima potência.

Tensão de máxima potência(V_{max}): Tensão do painel quando ele esta na máxima potência.

Temperatura normal de operação(NOCT): Tendo em vista que o painel trabalha exposto ao sol o fabricante fornece a temperatura de operação normal da célula(normal operating cell temperature) a qual é medida com uma insolação 800 W/m^2 , 20°C de temperatura ambiente e um vento de 1m/s.

Fator de forma(FF): Diz respeito ao quanto a curva corrente versus tensão se aproxima de um retângulo, valores usuais estão entre 70 e 80%.

2.2.3 CURVAS CARACTERÍSTICAS

Em geral as curvas características dos painéis fotovoltaicos podem ser reduzidas a duas principais que são, I-V (Corrente versus Tensão) e P-V (Potência versus Tensão), de posse destas curvas é possível saber boa parte das informações anteriormente citadas a seguir temos um exemplo destas curvas.

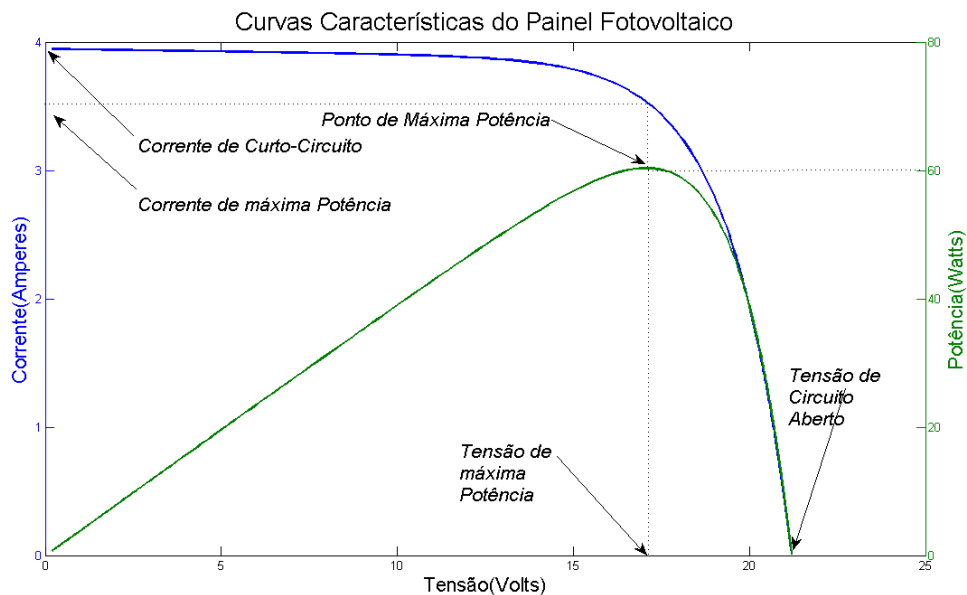


Figura 4. Curvas Características de um painel Fotovoltaico

2.3 CONTROLADOR DE CARGA

Quando um equipamento é ligado à bateria, a quantidade de energia elétrica armazenada nela vai diminuindo à medida que o tempo vai se passando. Para evitar que a bateria se descarregue por completo nos períodos longos sem insolação e de grande consumo, ou seja, tenha uma descarga profunda, é conveniente instalar um controlador de carga. Este acessório monitora a carga da bateria e impede que a mesma se descarregue completamente, aumentando a sua vida útil.

Já em períodos de grande insolação e pequeno consumo de energia, a bateria tende a se carregar em excesso, aumentando a sua tensão e reduzindo a sua vida útil. O controlador de carga evita este excesso desconectando o módulo.

2.4 BATERIAS

As baterias são parte importante em um sistema fotovoltaico, elas garantem o funcionamento do sistema em períodos de pouca ou nenhuma insolação (noite), as mesmas convertem diretamente energia elétrica em energia potencial química e vice-versa o que é de fundamental importância para o sistema, fato este que caracteriza as baterias utilizadas em sistemas fotovoltaicos como acumuladores secundários, pois podem ser recarregados.

Existem vários tipos de baterias secundárias. Neste trabalho serão destacados dois as de chumbo - ácido e as de níquel-cádmio. Quando comparadas, as baterias de níquel-cádmio têm uma durabilidade maior, são menos afetadas por sobrecarga, quando totalmente descarregadas, não sofrem risco de sulfatação e quando carregadas não sofrem influência da temperatura. Porém mesmo com todas estas vantagens por parte das baterias de níquel -cádmio as baterias de chumbo-ácido são muito mais utilizadas devido ao seu custo ser bem menor.

Para dimensionar o número de baterias é interessante saber como funciona a capacidade das baterias. A capacidade de uma bateria é a quantidade de carga elétrica expressa em Amperes-Hora(Ah). Pode-se dizer então que a capacidade de uma bateria é a quantidade de amperes que se pode retirar da mesma em um determinado tempo. As especificações de uma bateria são dadas da seguinte forma 165Ah C20 $V_{\text{corte}}=10.5V$, entende-se que esta bateria fornece $165Ah/20h = 8.25A$ durante 20h quando devesse atingir sua tensão de corte(10.5V).

A seguir é mostrada uma curva típica fornecida por fabricantes (curva de descarga).

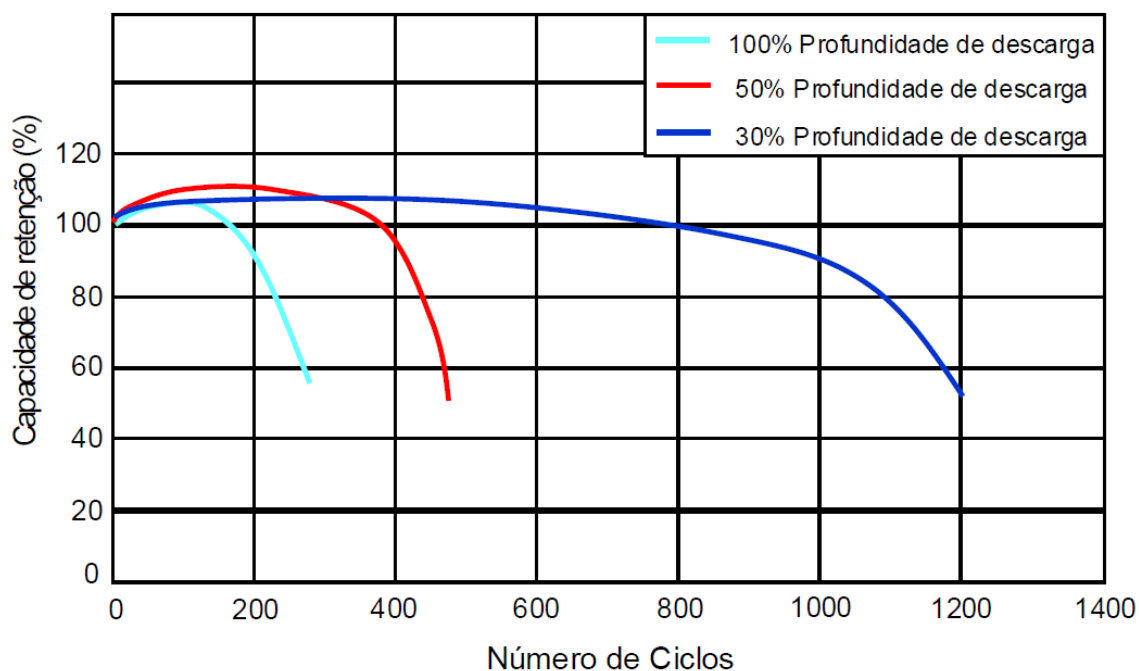


Figura 5. Curvas de descarga de uma Bateria

Analisando o gráfico acima pode-se perceber que quanto maior for a profundidade de descarga de uma bateria menor será sua vida útil, logo no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos é importante determinar qual profundidade de descarga o sistema trabalhara a fim de prolongar a vida útil da bateria e reduzir os custos do sistema.

2.5 SENSORES

É de fundamental importância em um sistema fotovoltaico, a presença de sensores para monitorar o funcionamento dos painéis fotovoltaicos, pois de posse dessas variáveis, pode-se controlar o ponto de operação do mesmo e fazer com que ele sempre trabalhe em seu ponto de máxima potência. Além, do monitoramento das tensões na bateria e na carga para eventual proteção do sistema.

2.6 DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para um dimensionamento correto de um sistema fotovoltaico é necessário um conhecimento sobre as condições meteorológicas do local onde se deseja instalar o

sistema (índices de irradiação diário), bem como o consumo da carga que se vai alimentar, sem essas duas informações, não é possível fazer o dimensionamento de forma satisfatória.

Os dados referentes a irradiação diária serão retirados do Centro de Referência de Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito – CRESESB [1], referentes a cidade de Campina Grande-PB, local de realização deste estágio.

Com relação ao consumo médio diário será considerado um sistema fotovoltaico autônomo e de baixa potência para alimentar as lâmpadas de um pequeno apartamento, sendo assim serão dimensionados todos os componentes necessários para a implementação deste sistema.

O esquema da Figura 1 foi utilizado como base para o dimensionamento do sistema proposto.

2.6.1 PERFIL DO CONSUMO DO APARTAMENTO

A seguir temos uma tabela a qual informa sobre as potências das lâmpadas utilizadas em cada cômodo do apartamento, bem como seu perfil de utilização, totalizando em 240W de potência instalada e um consumo de energia diário de aproximadamente 516Wh/dia.

Tabela 1. Perfil da Carga

CÔMODO	QUANTIDADE	POTÊNCIA(W)	PERFIL DA CARGA(h/dia)	POTÊNCIA(Wh/dia)
Lâmpada sala	1	40	1,5	60
Lâmpada quarto 1	1	40	5	200
Lâmpada cozinha	1	40	1	40
Lâmpada banheiro	1	40	0,3	12
Lâmpada dispensa	1	40	0,1	4
Lâmpada quarto 2	1	40	5	200
POTÊNCIA TOTAL INSTALADA		240	PERFIL DE CARGA TOTAL	516

2.6.2 IRRADIAÇÃO SOLAR LOCAL

O banco de dados da CRESESB fornece a radiação diária média mensal para o município de Campina Grande – PB, essa radiação é fornecida em $kWh/m^2 dia$.

Tabela 2. Radiação local

RADIÇÃO DIÁRIA MÉDIA MENSAL(kWh/m^2*dia)	
Janeiro	5,35
Fevereiro	5,33
Março	5,31
Abril	4,9
Mai	4,55
Junho	3,99
Julho	3,94
Agosto	5,19
Setembro	5,25
Outubro	5,84
Novembro	5,95
Dezembro	5,55

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico é necessário considerar um dos meses acima, para tal, considera-se o mês de menor média (3,94), pois assim o dimensionamento fica suficiente para os demais meses.

2.6.3 DIMENSIONAMENTO DO ARRANJO FOTOVOLTAICO

Para um correto dimensionamento do arranjo fotovoltaico a ser utilizado, além das informações sobre o perfil da carga a ser alimentada e da radiação solar local, é de fundamental importância o conhecimento da tensão de operação do sistema, neste caso em particular estaremos trabalhando com uma tensão de 24V, por dois motivos, o primeiro deles para reduzir a bitola dos condutores do sistema e o segundo devido ao grande número de inversores comerciais que trabalham com esta tensão de entrada.

Para um dimensionamento mais adequado foi considerada um conjunto de perdas padrão vistas em [2], de posse destes valores podemos montar uma tabela com todos os parâmetros necessários para o dimensionamento do arranjo.

Tabela 3. Parâmetros do Sistema Fotovoltaico

Carga Instalada	240W
Consumo diário de energia	516 Wh/dia
Radiação diária média mensal	3,94 kWh/m ² dia
Tensão de operação do sistema CC	24 V
Tensão de saída CA	220 V
Eficiência da fiação	98%
Eficiência do Inversor	85%
Eficiência do banco de baterias	95%

Para o cálculo da capacidade mínima de geração considera-se a energia armazenada durante o dia, no local da instalação do sistema. Com intuito de melhor representar esta energia costuma-se utilizar um parâmetro conhecido como horas de pleno sol. Esta grandeza reflete o número de horas em que a radiação consegue permanecer constante e igual a 1 kWh/m² de forma que a energia resultante seja equivalente a energia acumulada durante um dia.

Para o cálculo deste parâmetro utilizaremos o índice de insolação considerado padrão 3,94 kWh/m² dia sendo assim teremos:

$$H_{sp} = \frac{3940}{1000} \rightarrow H_{sp} = 3,94 \text{ h} \quad (5)$$

Onde H_{sp} são as horas de pleno sol

Sendo assim podemos calcular a potência mínima necessária para o gerador como sendo:

$$P_{min} = \frac{516 \text{ Wh}}{3,94 \text{ h}} \rightarrow P_{min} = 130,96 \text{ W} \quad (6)$$

Considerando as perdas no sistema temos que:

$$P_{\min_corr} = \frac{130,96 \text{ W}}{0,98 \cdot 0,85 \cdot 0,95} \rightarrow P_{\min_corr} = 148,07 \text{ W} \quad (7)$$

Deve-se lembrar que são poucas as horas de sol útil em um dia normal e que caso, seja um dia chuvoso ou nublado essa quantidade será ainda menor, sendo necessário considerar que sistema possa suportar uma grande escassez de sol. Segundo a resolução normativa nº 83 de 20 de setembro de 2004 da ANEEL deve-se considerar uma autonomia de 2 dias em sistemas de baixa potência, neste caso foi considerado também que em caso de máxima descarga das baterias as mesmas levaram 3 dias de pleno sol para se recarregar, sendo assim temos como potência total:

$$P_{\text{Total}} = 148,07 \left(1 + \frac{2}{3}\right) \rightarrow P_{\text{Total}} = 246,79 \text{ W} \quad (8)$$

Esta é a potência necessária para uma autonomia de 2 dias e um carregamento total das baterias, após descarga profunda, em 3 dias de pleno sol.

De posse dos cálculos desta potência podemos escolher que painéis utilizar, tendo em vista que a tensão de entrada deve ser da ordem de 24 V escolhe-se dois painéis da marca Kyocera modelo KC130TM de potência de pico de 130 W, totalizando uma potência de 260 W, o que satisfaz a potência anteriormente calculada.

2.6.4 DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

Sendo a energia solar muito variável com as condições meteorológicas, se faz necessário um sistema de armazenamento de energia para períodos noturnos ou pouca insolação. Em sistemas fotovoltaicos, os painéis juntamente com as baterias representam maior parte do custo do sistema, além do que as baterias ainda têm uma vida útil menor que os módulos fotovoltaicos, o que torna ainda maior a despesa com reposição deste componente.

Assim é de muita importância a escolha de métodos de carga e descarga que preservem a vida útil da bateria. No caso das baterias dois parâmetros são essenciais no dimensionamento do sistema, o número de dias de autonomia e a profundidade de descarga aceita para as baterias.

A autonomia do sistema reflete a confiabilidade do mesmo, dizendo quantos dias as baterias conseguem suportar sem serem recarregadas. E como já foi visto na Figura 5, quanto maior a profundidade de descarga, menor será a vida útil da bateria.

Para o correto dimensionamento do banco de baterias é necessário o cálculo do consumo diário de corrente por parte da carga.

$$I_{dia} = \frac{516 Wh}{24 V} \rightarrow I_{dia} = 21.5 Ah \quad (9)$$

Considerando as perdas teremos o seguinte consumo corrigido

$$I_{dia_corr} = \frac{21,5 Ah}{0,98 \cdot 0,85 \cdot 0,95} \rightarrow I_{dia_corr} = 27,16 Ah \quad (10)$$

Por fim temos que a corrente total do banco de baterias fica:

$$I_T = \frac{Consumo(Ah) \cdot Autonomia(dias)}{Prof.de\ descarga} \rightarrow I_T = \frac{2 \cdot 27,16}{0,3} \rightarrow I_T = 181.12 Ah \quad (11)$$

De posse desta corrente iremos necessitar de um total de quatro baterias MOURA modelo 12MF105 que tem uma capacidade de 94 Ah/C10, esta baterias serão dispostas da seguinte maneira: duas a duas em paralelo, para se atingir a capacidade necessária (188 Ah) e os pares de duas serão colocados em serie de modo a se obter a tensão de operação de 24 V tendo em vista que as baterias citadas têm como tensão nominal 12 V.

2.6.5 DIMENSIONAMENTO DO CONTROLADOR DE CARGA

Para o correto dimensionamento do controlador de carga é necessário que o mesmo suporte a corrente de curto-circuito do arranjo bem como a corrente que é solicitada pela carga.

A corrente de curto-circuito do arranjo será a corrente de curto-circuito de um painel individualmente, tendo em vista que eles estão conectados em série logo $I_{cc} = 8,02 A$, considerando uma radiação de $1000 W/m^2$.

Considerando que todas as lâmpadas fossem ligas ao mesmo tempo a corrente máxima que a carga solicitaria seria dada por:

$$I_{\text{carga}} = \frac{240 \text{ W}}{24 \text{ V}} \rightarrow I_{\text{carga}} = 10 \text{ A} \quad (12)$$

Com esse dois dados e sabendo que a tensão de operação de 24 V escolheu-se o modelo CX10 da empresa PHOCOS, o qual suporta uma corrente de 10 A no módulo e uma corrente de 10 A na carga e trabalha com tensão de 12/24 V.

2.6.6 ESCOLHA DO CONVERSOR CC-CA

O conversor CC-CA a ser escolhido deve ter as seguintes especificações tensão de entrada de 24 V, tensão esta que foi estabelecida para o sistema, tensão de saída de 220 V, para se adequar a rede elétrica local e assim possibilitar a conexão dos equipamentos que tem esta tensão como tensão nominal e ter uma potência igual ou maior que 240 W que é a máxima potência atingida pela carga.

Para estas especificações escolhemos o modelo ISP 24-300B, da empresa POWERBRAS.

3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Durante o estágio no laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Maquinas-LEIAM, mais exatamente na sala de sistemas fotovoltaicos foram desenvolvidas as seguintes atividades:

Atividade 1: Levantamento dos equipamentos disponíveis para a montagem de um sistema fotovoltaico presentes no laboratório de sistemas fotovoltaicos.

Atividade 2: Descrição do funcionamento do Sistema 24hs

3.1 ATIVIDADE 1: LEVANTAMENTO E DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Ao começar o estágio no laboratório de sistemas fotovoltaicos foi realizada uma pesquisa sobre quais e quantos equipamentos se teria disponível para a implementação

de um sistema fotovoltaico, visando assim o conhecimento das possibilidades e necessidades do laboratório.

Atualmente no laboratório tem-se um sistema fotovoltaico implementado, porém o mesmo ainda está inativo, necessitando de alguns ajustes no ponto de vista de programação, o que não será alvo deste estágio. A seguir é apresentado um esquema de como o sistema está organizado.

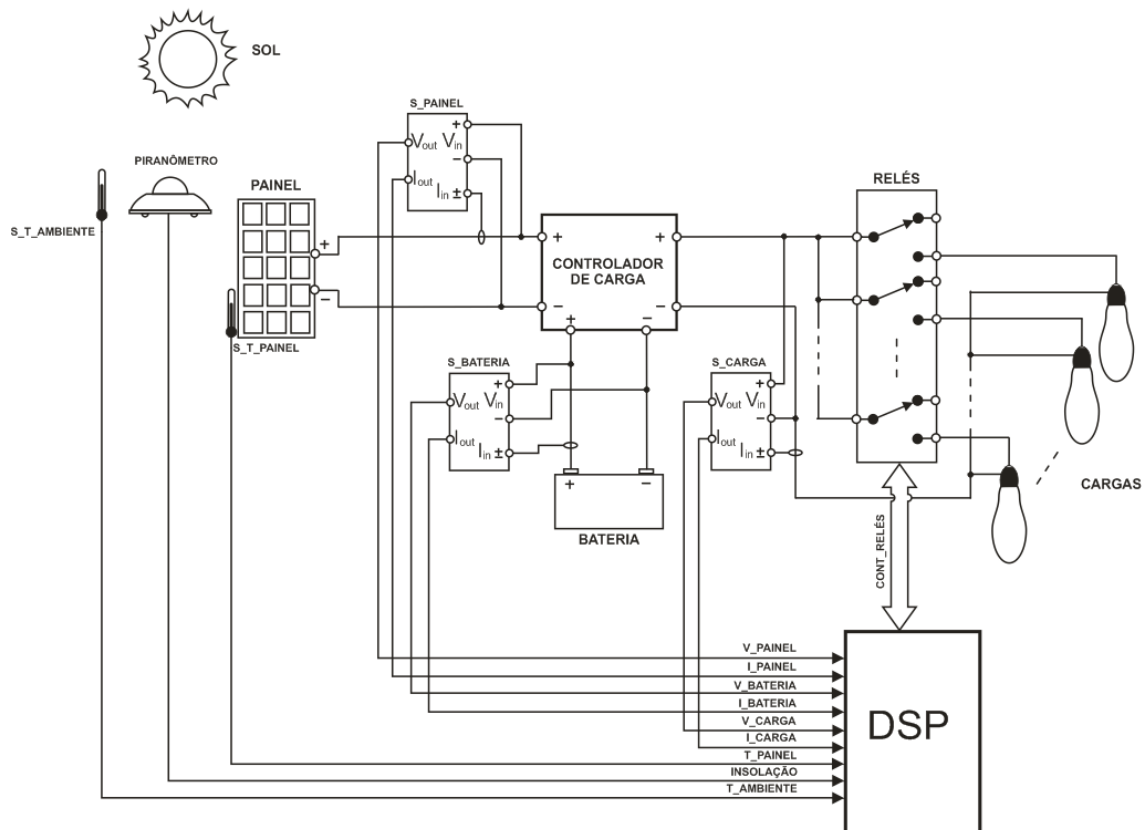


Figura 6. Esquema do Sistema Fotovoltaico do Laboratório

3.1.1 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Com relação aos painéis são um conjunto de 36 painéis organizados de acordo com a Figura 5, localizados na cobertura do bloco CH (LEIAM).

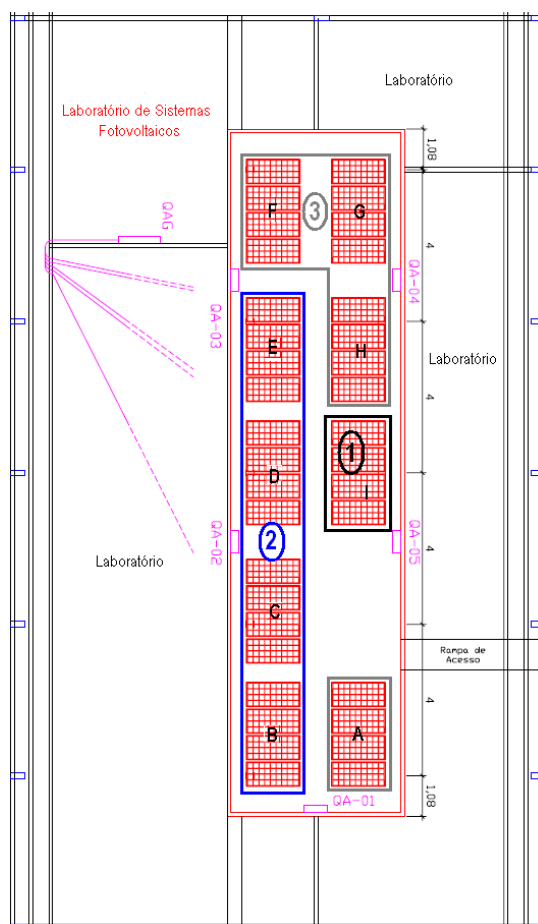


Figura 7. Disposição dos painéis na Laje do LEIAM

Entre os painéis temos três modelos diferentes estão divididos de acordo com a Tabela 3, os mesmos estão dispostos de acordo com a cor e numeração da Figura 7.

Tabela 4. Modelos de painéis

Empresa - Modelo	Quantidade	Potência de Pico (W)
1-BP SOLAR – BP SX-80[3]	4	80
2-KYOCERA – KC120-1[4]	16	120
3-KYOCERA – KC130TM[5]	16	130

Os painéis estão organizados em grupos de 4 como vemos na Figura 7, cada grupo deste pertence a uma das 5 caixas de distribuição (QA -01 a QA-05) localizadas de acordo com a Figura 7. Os grupos de painéis são identificados por letras, logo a organização dos painéis nas caixas de distribuição é dada da seguinte forma.

Tabela 5. Organização dos painéis

Caixa de Distribuição	Conjunto de Painéis
QA-01	A e B
QA-02	C e D
QA-03	E e F
QA-04	G e H
QA-05	I



Figura 8. Caixa de Distribuição

Analisando a Figura 9 vemos o interior da caixa de distribuição QA-03 o qual tem 16 terminais, 8 positivos e 8 negativos que estão separados 4 positivos e 4 negativos para o conjunto “E” de painéis e os outro ao conjunto “F”.



Figura 9. Interior da Caixa QA-03

Os 4 terminais positivos que fazem referência aos quatro painéis do conjunto “E” se juntam no terminal “E+”, a mesma coisa acontece para o terminal negativo (E-), esta regra também é aplicada ao conjunto “F”. Sendo assim temos que os quatro painéis estão paralelos entre si, ou seja, os painéis do arranjo “E” estão todos em paralelo, assim como do arranjo “F”.

Estas caixas de distribuição estão próximas aos arranjos, as mesmas se juntam em uma caixa maior dentro do laboratório de sistemas fotovoltaicos como vemos na Figura 10.

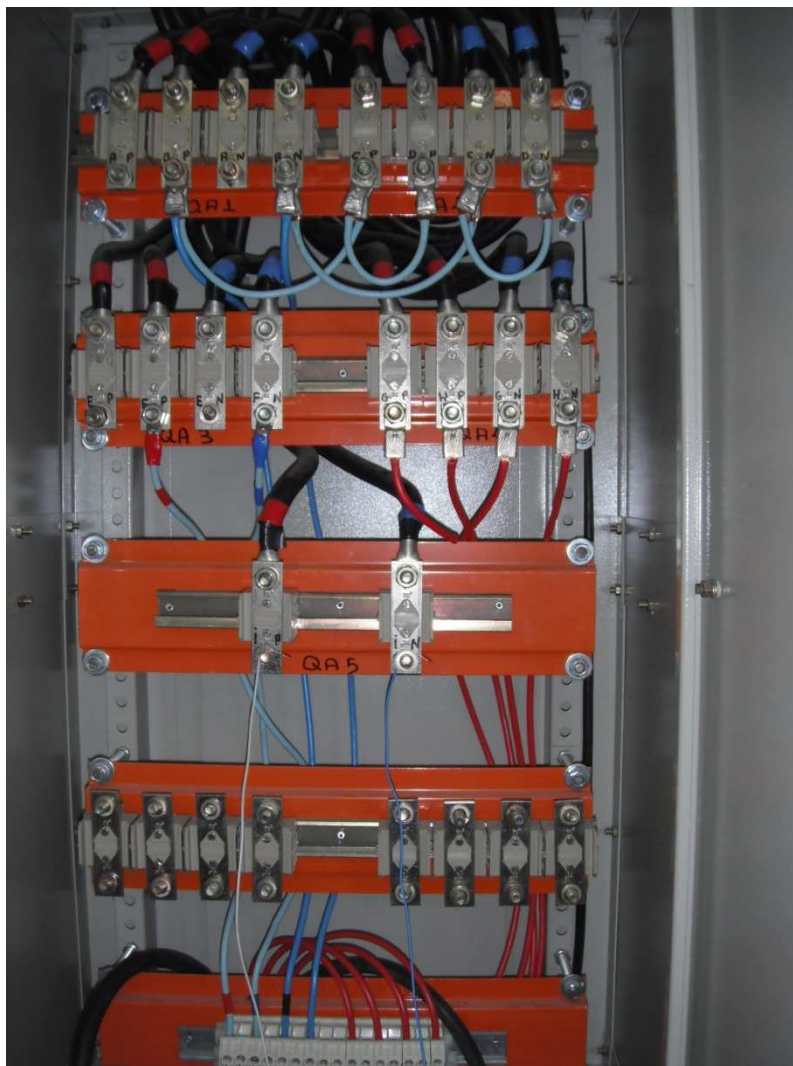


Figura 10. Caixa de distribuição Geral

Analisando a Figura 10 tem-se que todos os quadros de distribuição, localizados na laje se juntam nele, organizados da seguinte maneira; o QA-01 e QA-02 na primeira fileira de cima para baixo; o QA-03 e o QA-04, na segunda de cima para baixo; e o QA-05 na terceira de cima para baixo. É interessante notar que o formato deles é igual aos das caixa de distribuição individuais.

Na caixa de distribuição geral é possível fazer apenas a conexão entre os arranjos de painéis, caso se queira realizar a conexão série dos painéis individualmente (configuração paralelo é a padrão ver Figura 9) terá que se fazer nas caixas de distribuição localizadas na laje do LEIAM. A seguir é apresentado como é possível realizar esta conexão.

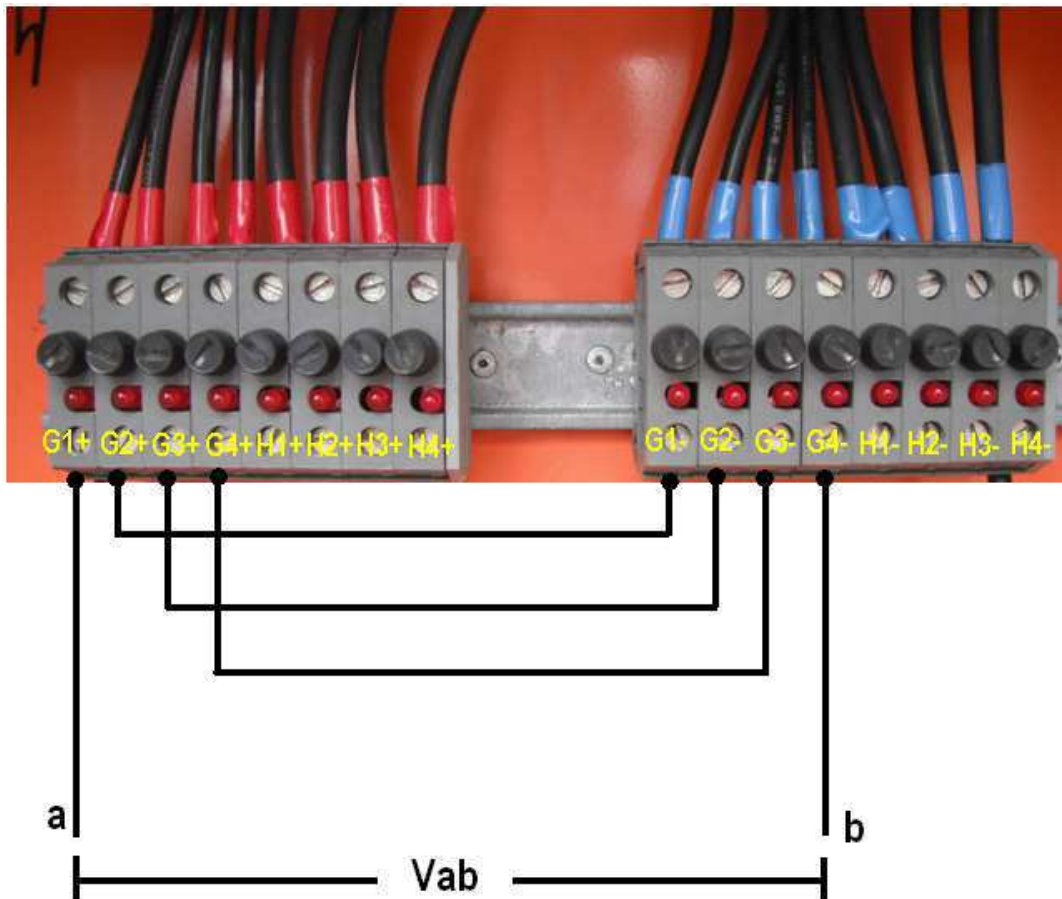


Figura 11. Exemplo de conexão Série

Na Figura 11 é apresentado um exemplo de como conectar painéis em série. Sabendo que, para realizar a conexão série, é necessário conectar o terminal negativo de um painel com o positivo do outro, com este pensamento conectamos G1- com G2+, G2- com G3+ e assim sucessivamente de acordo com a Figura 11. Neste caso foi realizada a conexão de todos os painéis do arranjo “G” em série, sendo assim sabendo que os painéis deste arranjo tem uma potência de 130 W , com a conexão chega-se a uma potência de 520 W e uma tensão de no máximo de $V_{ab} = 87.6\text{ V}$.

É interessante lembrar que não é aconselhável conectar painéis de potência diferentes em série e nem em paralelo, esta conexão certamente fará com que o painel de maior potência tenha sua capacidade limitada pelo de menor.

Por fim é interessante dizer que o laboratório tem um potência instalada de 4320 W em painéis fotovoltaicos, e considerando apenas a associação de painéis de mesma potência em série, pode-se ter uma tensão de no máximo $350,4\text{ V}$.

3.1.2 BATERIAS

No laboratório tem-se um total de 12 baterias para o armazenamento de energia dos painéis, estas baterias estão divididas de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6. Lista de baterias do Laboratório

Empresa - Modelo	Quantidade	Capacidade
MOURA – 12MC150[6]	7	150AhC20
MOURA – 12MC150M[7]	3	150AhC20
TUDOR – 12TE105[8]	2	105AhC20

3.1.3 CONTROLADORES DE CARGA

Atualmente só esta sendo utilizado um controlador de carga dos 4 existentes no laboratório. A seguir, apresenta-se uma listagem dos modelos e suas especificações principais.

Tabela 7. Lista de Modelos de Controladores de carga

Empresa-Modelo	Quantidade	Especificações
CONERGY – SCC Vision 40[9]	1	Corrente Máxima de Carreg.–40 A. Corrente Máxima de Carga – 40 A Tensão de operação – 12/24 V
BP SOLAR – GCR 3000[10]	1	Corrente Máxima de Carreg.–30 A. Corrente Máxima de Carga – 30 A Tensão de operação – 12/24 V
MORNINGSTAR– PROSTAR30[11]	1	Corrente Máxima de Carreg.–30 A. Corrente Máxima de Carga – 30 A Tensão de operação – 12/24 V

3.1.4 SENSORES

O sistema 24 horas, como é conhecido, tem um conjunto de sensores que monitoram as principais variáveis do sistema entre elas pode listar aquelas presentes na Figura 6.

Entre os sensores listados pode-se destacar o sensor de temperatura do painel o qual esta em desenvolvimento, o mesmo consiste em um sistema de monitoramento remoto que utiliza como protocolo de comunicação a rede PLC (Power Line Communications).

É interessante falar sobre os sensores que fazem referencia aos painéis entre eles o sensor de temperatura do painel citado anteriormente, o de temperatura ambiente e o de radiação solar. Estes sensores têm uma importância fundamental no monitoramento do ponto de máxima potência do painel, bem como no acompanhamento do funcionamento do mesmo.

Na Figura 12 encontra-se o sensor de radiação solar localizado em cima do bloco CH (LEIAM).



Figura 12. Sensor de Radiação Solar

3.1.5 DSP

O DSP é uma das partes mais importantes do sistema, ele é responsável por processar todas as medições dos sensores e armazenar em um banco de dados.

Além da função anteriormente citada o mesmo é responsável pelo acionamento dos relés, estes por sua vez constituem uma carga programável, ou seja, pode-se programar a carga de acordo com o desejado, podendo-se assim simular qualquer situação e assim avaliar o sistema. Certamente esta constitui uma dos principais diferenciais do sistema implementado.

3.2 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA 24HS

Após a descrição de todos os equipamentos que fazem parte do Sistema 24hs será realizada uma descrição do seu funcionamento.

A carga programável tem por função permitir emular um perfil de carga típica alimentada por um sistema fotovoltaico ao longo de períodos de 24 hs. Sua construção é baseada na utilização de relés e tem como objetivo variar a carga. Utilizando um conjunto de N relés é possível se ter um número máximo de 2^N possibilidades de cargas diferentes. Através de uma lógica binária, foram especificados valores de resistências de forma a permitir variações de carga com gradação de 5W, em uma faixa que vai de 0 a 315W (sendo $N = 8$, teremos um total de 64 combinações). Assim, uma vez definido o perfil de carga, os relés passam a ser comandados por um DSP dedicado para fins de emular perfis ao longo de 24 horas.

Após a definição do perfil de carga, todos os dados gerados pelos sensores são apresentados em tempo real e armazenados em um banco de dados, a fim de uma análise detalhada. Pode-se levantar o perfil de radiação de campina grande através do sensor de radiação e assim fazer o dimensionamento de um sistema com maior precisão, pois é interessante lembrar que a radiação varia de lugar para lugar, logo o perfil de radiação que foi utilizado para realizar o dimensionamento descrito no tópico 2.6, pode ser diferente o que prejudica o dimensionamento realizado.

Em um futuro próximo a idéia é que o perfil de carga possa ser programado pela internet, respeitando os limites da mesma. Assim um usuário remoto terá uma noção do dimensionamento que deve realizar baseado naquela carga que deseja alimentar.

4 RESULTADOS

Como resultado tem-se este relatório que servirá para as pessoas que desejem conhecer o laboratório, ou mesmo, que venham a trabalhar nele possam ter uma noção geral do que contém no laboratório e suas funcionalidades, facilitando assim a adaptação e o trabalho no laboratório.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste estágio foi de grande valia, tendo em vista que pude conhecer melhor o laboratório e assim desenvolver este relatório, a fim de auxiliar novos integrantes, ou mesmo quem deseje apenas saber um pouco mais sobre ele.

Outro ponto importante diz respeito ao exemplo de dimensionamento de um sistema fotovoltaico o qual é bastante útil na disseminação do estudo deste tipo de energia que vem se desenvolvendo muito nos últimos anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MONTEZANO, B. Sobre o Potencial Energetico Solar. **Site da CRESESB**, 2007. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/principal.php>>. Acesso em: 28 janeiro 2011.
2. SEGUEL, J. I. L. **Projeto de um Sistema Fotovoltaico Autonomo de Suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital**. Belo Horizonte: [s.n.], 2009.
3. DATASHEET do Modelo BP SX-80 (Painel Fotovoltaico). **bp solar**. Disponível em: <www.bpsolar.com>.
4. DATASHEET do Modelo KC 120-1(Painel Fotovoltaico). **KYOCERA**. Disponível em: <www.kyocera.com.br>.
5. DATASHEET do Modelo KC 130TM(Painel Fotovoltaico). **KYOCERA**. Disponível em: <www.kyocera.com.br>.
6. DATASHEET modelo 12MC150 (Bateria). **MOURA**. Disponível em: <www.moura.com.br>.
7. DATASHEET modelo 12MC150M. **MOURA**. Disponível em: <www.moura.com.br>.
8. DATASHEET modelo 12TE105. **TUDOR**. Disponível em: <www.tudor.com.br>.
9. DATASHEET do Modelo SCC Vision 40 (Controlador de carga). **CONERGY**. Disponível em: <www.conergy.com>.
10. DATASHEET do modelo GCR 3000 (Controlador de carga). **bp solar**. Disponível em: <www.bpsolar.com>.
11. DATASHEET modelo prostar-30 (Controlador de carga). **MORNINGSATR**. Disponível em: <www.morningstar.com>.