

# **ENERGIA SOLAR FV – Geração de energia limpa**

## **Rafael Ramon FERREIRA (1); Paulo C. da SILVA Filho (2,3)**

(1) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Av. Sen. Salgado Filho, 1559, Tirol, Natal-RN, e-mail: [rafaelramon92@hotmail.com](mailto:rafaelramon92@hotmail.com)

(2) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, e-mail: [paulo.cavalcante@ifrn.edu.br](mailto:paulo.cavalcante@ifrn.edu.br)

(3) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Física Teórica e Experimental.

## **1. INTRODUÇÃO**

Uma das principais características de nossa sociedade, ao menos sob um ponto de vista prático e material, é o aumento intenso da demanda por abastecimento energético. Esta é a condição para a existência de nossa indústria, nossos meios de transporte e até mesmo a agricultura e a vida urbana. Enfim, é a condição para a existência de nossa sociedade como a conhecemos.

Por milhares de anos a humanidade sobreviveu com base no trabalho braçal e animal. As primeiras fontes de energia inanimadas, como rodas hidráulicas e moinhos de vento, significaram um importante incremento quantitativo do regime de trabalho – ou potência – mas o salto qualitativo só se produziu a partir dos séculos XVII e XVIII (FERNANDES; GUARONGHE, 2009).

Até muito pouco tempo se dava por descartada a esgotabilidade da energia. Um homem comum simplesmente desconhecia a intrincada rede formada pela produção de combustível e a indústria que serve à sua comodidade. A divisão do trabalho, levada ao limite, foi à responsável por essa posição de puro descaso – do pensamento: "não importa de onde venha, se eu o obtenho" – que prevalecia em nossa sociedade de consumo. Não fazíamos conta do valor inerente ao que possuímos. Esta é uma das causas da alienação, da divisão entre a vida particular e a sociedade como um todo e os processos naturais dos quais dependemos (FERNANDES; GUARONGHE, 2009).

## **2. SOL, FONTE DE VIDA!**

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio. E quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia do Sol (CRESESB, 1999).

### **2.1. Introdução ao estudo dos sistemas de energia solar.**

Em nosso estudo sobre o uso da energia solar iremos fazer abordagem dentro da energia solar fotovoltaica (FV), devido à maior facilidade de trabalhar com esse tipo de energia em face da maior disponibilidade de células fotovoltaicas, equipamentos primordiais para o uso dessa tecnologia.

## **2.2. Sol, inesgotável em escala terrestre de tempo.**

A energia solar é abundante e permanente, renovável a cada dia, não polui e nem prejudica o ecossistema. A energia solar é a solução ideal para áreas afastadas e ainda não eletrificadas, especialmente num país como o Brasil onde se encontram bons índices de insolação em qualquer parte do território.

O Sol irradia anualmente o equivalente a 10.000 vezes a energia consumida pela população mundial neste mesmo período. Para medir a potência é usada uma unidade chamada quilowatt. O Sol produz continuamente 390 sextilhões ( $3,9 \times 10^{23}$ ) de quilowatts de potência. Como o Sol emite energia em todas as direções, um pouco desta energia é desprendida, mas mesmo assim, a Terra recebe mais de 1.500 quatrilhões ( $1,5 \times 10^{18}$ ) de quilowatts-hora de potência por ano. Para cada metro quadrado de coletor solar instalado evita-se a inundação de 56 metros quadrados de terras férteis, na construção de novas usinas hidrelétricas (AMBIENTE BRASIL, 2009).

Em nosso estudo sobre o uso da energia solar, abordamos a energia solar fotovoltaica (ESF), devido à maior facilidade para trabalhar com esse tipo de energia. Outro fato é a disponibilidade de módulos fotovoltaicos de propriedade do Campus Natal – Central do IFRN. Os módulos fotovoltaicos, equipamentos primordiais para o uso dessa tecnologia, são de silício monocristalino e silício policristalino. O módulo de silício monocristalino é utilizado para cálculo de eficiência, já o de silício policristalino, para montagem do sistema de energia solar fotovoltaica.

## **3. ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Entende-se por: “Energias renováveis são todas aquelas formas de energia cuja taxa de utilização é inferior à sua taxa de renovação. As suas fontes podem ter origem terrestre (energia geotérmica) gravitacional (energia das marés) e solar (energia armazenada na biomassa, energia de radiação solar, energia hidráulica, energia térmica oceânica e energia cinética do vento e das ondas). Também são consideradas fontes de energia renovável os resíduos agrícolas, urbanos e industriais.”

## **4. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (FV)**

A Energia Solar Fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico). O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção de luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão (CRESESB, 1999).

Em 1876 foi concebido o primeiro aparato fotovoltaico advindo dos estudos das estruturas de estado sólido, e apenas em 1956 iniciou-se a produção industrial, seguindo da micro-eletrônica (CRESESB, 1999).

### **4.1. Efeito fotovoltaico em semicondutores**

O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão. Em 1876 foi montado o primeiro aparato fotovoltaico resultado

de estudos das estruturas no estado sólido, e apenas em 1956 iniciou-se a produção industrial seguindo o desenvolvimento da microeletrônica (CRESESB, 1999).

O efeito fotovoltaico dá-se em materiais da natureza denominados semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra onde totalmente "vazia" (banda de condução).

O semicondutor mais usado é o silício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará "sobrando", fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto faz com que, com pouca energia térmica, este elétron se livre, indo para a banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se *dopante n* ou *impureza n*.

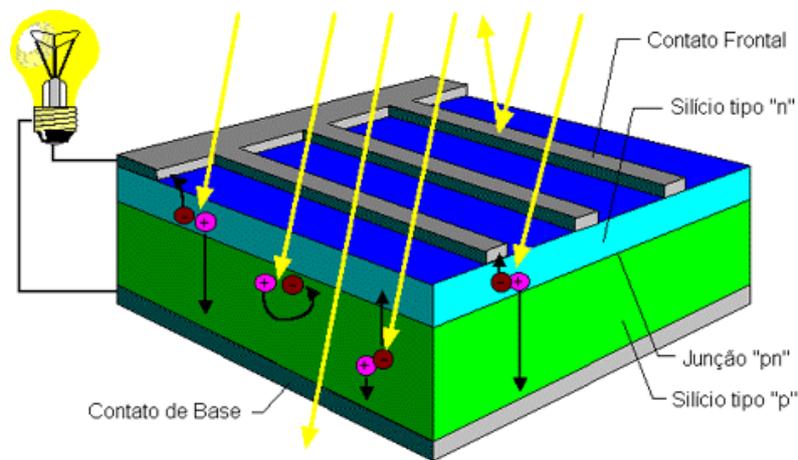


Figura 1 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica

Se, por outro lado, introduzem-se átomos com apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro, haverá uma falta de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede. Esta falta de elétron é denominada *buraco* ou *lacuna* e ocorre que, com pouca energia térmica, um elétron de um sítio vizinho pode passar a esta posição, fazendo com que o buraco se desloque. Diz-se, portanto, que o boro é um *aceitador de elétrons* ou um *dopante p*.

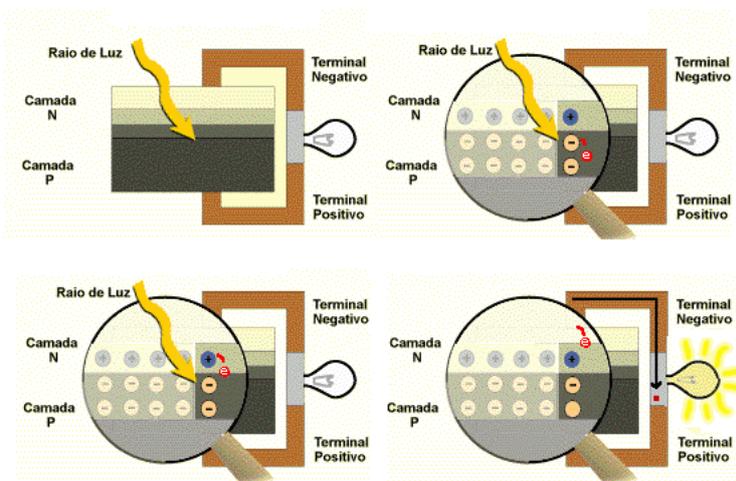


Figura 2 - Efeito fotovoltaico na junção pn

Se, partindo de um silício puro, forem introduzidos átomos de boro em uma metade e de fósforo na outra, será formado o que se chama *junção pn*. O que ocorre nesta junção é que elétrons livres do lado n passam ao lado p onde encontram os buracos que os capturam; isto faz com que haja um acúmulo de elétrons no lado p, tornando-o negativamente carregado e uma redução de elétrons do lado n, que o torna eletricamente positivo. Estas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons do lado n para o lado p; este processo alcança um equilíbrio quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar os elétrons livres remanescentes no lado n.

E uma junção pn for exposta a fótons com energia maior que o *gap*, ocorrerá à geração de pares elétrons - lacuna; se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de Efeito Fotovoltaico. Se as duas extremidades do "pedaço" de silício forem conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons. Esta é à base do funcionamento das células fotovoltaicas.

#### **4.2. Células FV**

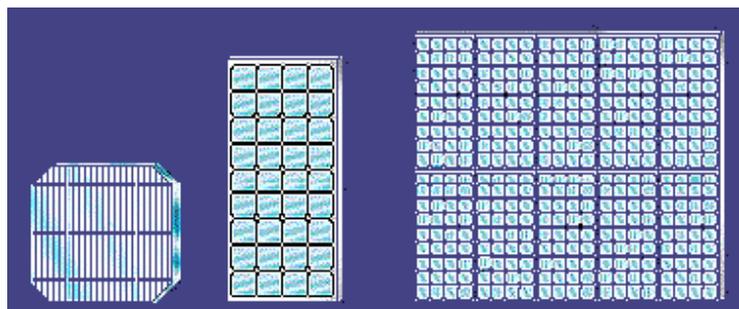
Células fotoelétricas ou fotovoltaicas são dispositivos capazes de transformar a energia luminosa, proveniente do Sol ou de outra fonte de luz, em energia elétrica. Uma célula fotoelétrica pode funcionar como geradora de energia elétrica a partir da luz, ou como um sensor capaz de medir a intensidade luminosa.

A função de uma célula solar consiste em converter diretamente a energia solar em eletricidade. A forma mais comum das células solares o fazerem é através do efeito fotovoltaico.

Para compreender melhor o funcionamento da célula fotovoltaica, devemos entender o conceito de eficiência, conversão-quociente entre a irradiação solar que incide na área da célula e a energia elétrica que é produzida. Melhorando a eficiência da célula fotovoltaica, corresponde a afirmar que os sistemas fotovoltaicos podem tornar-se cada vez mais competitivos relativamente à produção de energia elétrica com combustíveis fósseis. As células fotovoltaicas convertem a irradiação solar em eletricidade a partir de processos que se desenvolvem ao nível atômico nos materiais de que são constituídas

O nível mais externo é chamado de nível de valência assim como os elétrons que ocupem este nível são chamados de elétrons de valência. Basicamente é esta a camada responsável pelas características químicas e elétricas de um átomo, como por exemplo sua capacidade de doar ou receber elétrons.

Durante a segunda metade do séc. XX assistiu-se à sucessiva ultrapassagem dos principais problemas de fabricação, de um aumento de eficiência, de tal forma que o custo deste tipo de sistema de produção alternativa de energia reduziu significativamente.



**Figura 3 - Célula, módulo e instalação fotovoltaica**

A célula fotovoltaica é a menor unidade de conversão de energia luminosa proveniente do Sol para energia elétrica. Sendo assim em média tem a forma de um quadrado com cerca de 10 cm de lado e sua massa é de aproximadamente 10 gramas (COSTA, 2010).

#### **4.2.1. Tipos de células (caracterização quanto ao material semiconductor)**

As células fotovoltaicas são fabricadas, na sua grande maioria, usando o silício (Si) e podendo ser constituída de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo (CRESESB, 1999).

##### **4.2.1.1. Silício Monocristalino**

As células mono-cristalinas representam a primeira geração. O seu rendimento elétrico é relativamente elevado (aproximadamente 16%, podendo subir até cerca de 20% em laboratório), mas as técnicas utilizadas na sua produção são complexas e caras. Por outro lado, é necessária uma grande quantidade de energia na sua fabricação, devido à exigência de utilizar materiais em estado muito puro e com uma estrutura de cristal perfeita.

As células de silício monocristalino são historicamente as mais usadas e comercializadas como conversor direto de energia solar em eletricidade e a tecnologia para sua fabricação é um processo básico muito bem constituído. A fabricação da célula de silício começa com a extração do cristal de dióxido de silício. Este material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. Este processo atinge um grau de pureza em 98 e 99% o que é razoavelmente eficiente sob o ponto de vista energético e custo.



**Figura 4 - Célula de Silício monocristalino**

Dentre as células fotovoltaicas que utilizam o silício como material base, as monocristalinas são, em geral, as que apresentam as maiores eficiências. As fotocélulas comerciais obtida com o processo descrito atingem uma eficiência de até 15% podendo chegar em 18% em células feitas em laboratórios (CRESESB, 1999).

#### 4.2.1.2. Silício Policristalino

As células poli-cristalinas têm um custo de produção inferior por necessitarem de menos energia na sua fabricação, mas apresentam um rendimento elétrico inferior (entre 11% e 13%, obtendo-se até 18% em laboratório). Esta redução de rendimento é causada pela imperfeição do cristal, devido ao sistema de fabricação.

As células de silício policristalino são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso. A eficiência, no entanto, cai um pouco em comparação as células de silício monocristalino.

O processo de pureza do silício utilizada na produção das células de silício policristalino é similar ao processo do Si monocristalino, o que permite obtenção de níveis de eficiência compatíveis. Basicamente, as técnicas de fabricação de células policristalinas são as mesmas na fabricação das células monocristalinas, porém com menores rigores de controle. Podem ser preparadas pelo corte de um lingote, de fitas ou depositando um filme num substrato, tanto por transporte de vapor como por imersão. Nestes dois últimos casos só o silício policristalino pode ser obtido. Cada técnica produz cristais com características específicas, incluindo tamanho, morfologia e concentração de impurezas. Ao longo dos anos, o processo de fabricação tem alcançado eficiência máxima de 12,5% em escalas industriais (CRESESB, 1999).

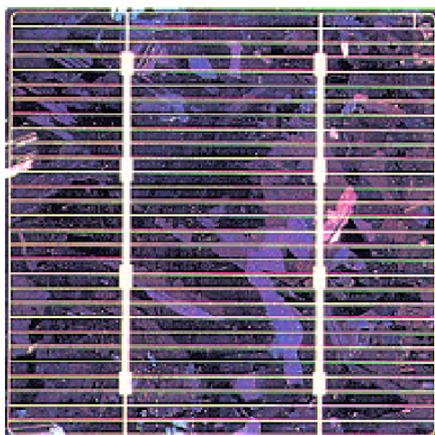


Figura 5 - Célula de Silício Policristalino

#### 4.2.1.3. Silício Amorfo

As células de silício amorfo são as que apresentam o custo mais reduzido, mas em contrapartida o seu rendimento elétrico é também o mais reduzido (aproximadamente 8% a 10%, ou 13% em laboratório). As células de silício amorfo são películas muito finas, o que permite serem utilizadas como material de construção, tirando ainda o proveito energético.

Uma célula de silício amorfo difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no

processo de fabricação. Por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa do visível e podendo ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos, o silício amorfo vem se mostrando uma forte tecnologia para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. Mesmo apresentando um custo reduzido na produção, o uso de silício amorfo apresenta duas desvantagens: a primeira é a baixa eficiência de conversão comparada às células mono e policristalinas de silício; em segundo, as células são afetadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo assim a eficiência ao longo da vida útil. Por outro lado, o silício amorfo apresenta vantagens que compensam as deficiências acima citados, são elas:

- Processo de fabricação relativamente simples e barato;
- Possibilidade de fabricação de células com grandes áreas;
- Baixo consumo de energia na produção (CRESESB, 1999).



Figura 6 - Célula de Silício Amorfo

#### 4.2.1.4. Eficiência dos módulos fotovoltaicos

A tabela abaixo designa os rendimentos médios das conversões por célula, no entanto nesse caso há uma margem de erro considerando que os testes dependem da incidência da radiação solar, que não é uniforme ao longo da superfície do nosso planeta.

	<b>Rendimento típico</b>	<b>Máximo registrado em aplicações</b>	<b>Rendimento máximo (laboratório)</b>
<b>Mono-cristalino</b>	12 - 15%	22,7 %	24%
<b>Poli-cristalino</b>	11 – 14%	15,3%	18,6%
<b>Silício Amorfo</b>	6 – 7%	10,2%	12,7%

### 4.3. MÓDULOS FV

O agrupamento de várias células FV constitui um módulo FV, assim os valores de tensão e corrente produzidos pelo módulo são mais úteis para a instalação do que o uso de células FV isoladas.

### 4.3.1. Características elétricas dos módulos FV

Pela baixa tensão e corrente de saída em uma célula fotovoltaica, agrupam-se várias células formando um módulo. O arranjo das células nos módulos pode ser feito conectando-as em série ou em paralelo.

### 4.3.2. Comportamento quanto às ligações dos módulos

Ao conectar as células em paralelo, somam-se as correntes de cada módulo e a tensão do módulo é exatamente a tensão da célula. A corrente produzida pelo efeito fotovoltaico é contínua. Pelas características típicas das células (corrente máxima por volta de 3A e tensão muito baixa, em torno de 0,7V) este arranjo não é utilizado salvo em condições muito especiais (CRESESB, 1999).

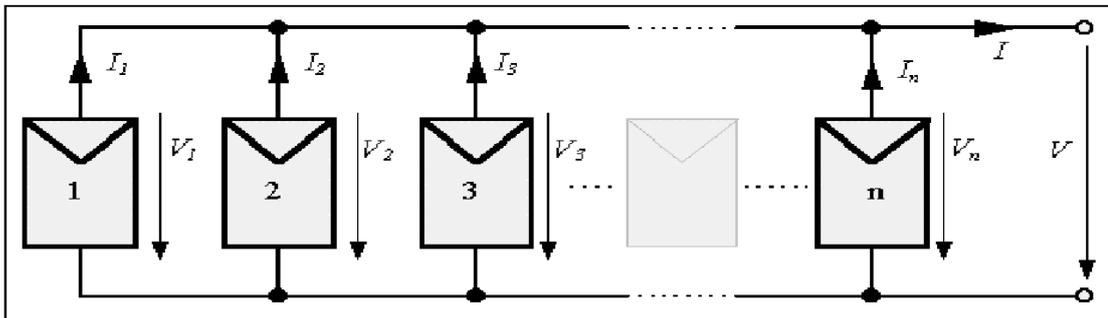


Figura 7 - Módulos FV ligados em série

A conexão mais comum de células fotovoltaicas em módulos é o arranjo em série. Este consiste em agrupar o maior número de células em série onde se soma a tensão de cada célula chegando a um valor final de 12V o que possibilita a carga de acumuladores (baterias) que também funcionam na faixa dos 12V.

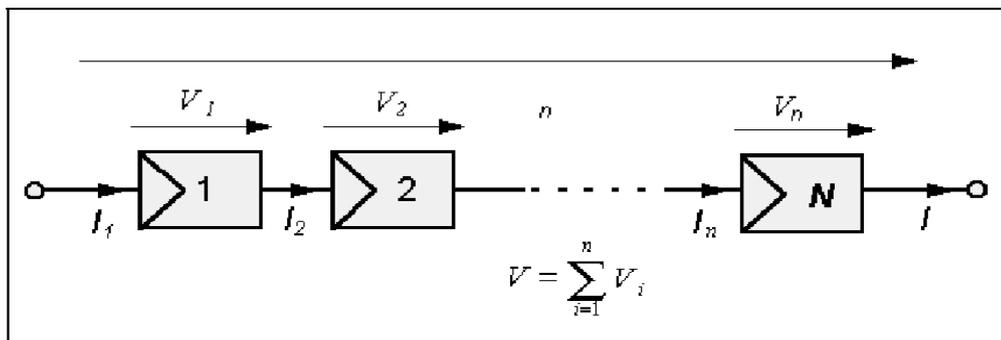


Figura 8 - Módulos FV ligados em paralelo

Quando uma célula fotovoltaica dentro de um módulo, por algum motivo, estiver encoberta a potência de saída do módulo cairá drasticamente que, por estar ligada em série, comprometerá todo o funcionamento das demais células no módulo. Para que toda a corrente de um módulo não seja limitada por uma célula de pior desempenho (o caso de estar encoberta), usa-se um diodo de passo ou de "by-pass". Este diodo serve como um caminho alternativo para a corrente e limita a dissipação de calor na célula defeituosa. Geralmente o uso do diodo by-pass é feito em grupamentos de células o que, torna muito mais barato comparado ao custo de se conectar um diodo em cada célula.

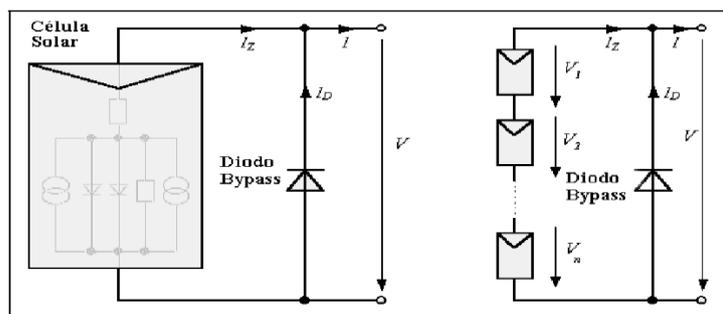


Figura 9 - Possível ligação para um diodo by-pass entre células

Outro problema que pode acontecer é quando surge um corrente negativa fluindo pelas células ou seja, ao invés de gerar corrente, o módulo passa a receber muito mais do que produz. Esta corrente pode causar queda na eficiência das células e, em caso mais drástico, a célula pode ser desconecta do arranjo causando assim a perda total do fluxo de energia do módulo. Para evitar esses problemas, usa-se um diodo de bloqueio impedindo assim correntes reversas que podem ocorrer caso liguem o módulo diretamente em um acumulador ou bateria (CRESESB, 1999).

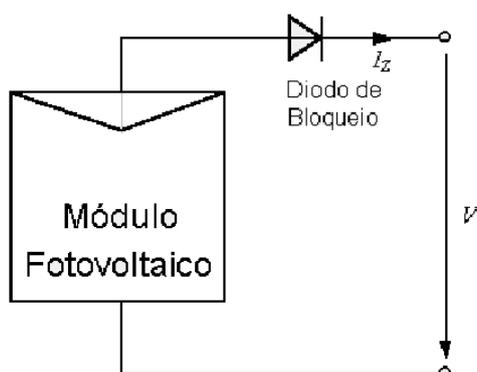


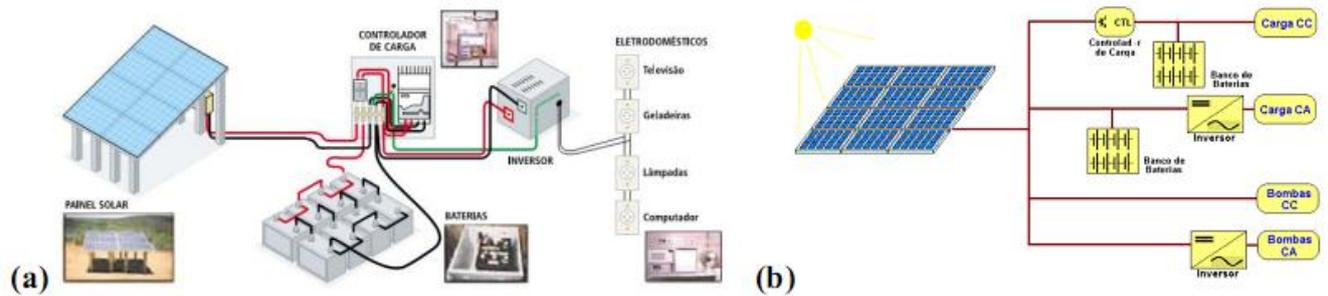
Figura 10 – Módulo FV com Diodo de bloqueio

#### 4.3.3. Comportamento em resposta aos fatores externos (Clima, ambiente, localização)

Os principais fatores que influenciam nas características elétricas de um painel são a *Intensidade Luminosa* e a *Temperatura das Células*. A corrente gerada nos módulos aumenta linearmente com o aumento da Intensidade luminosa. Por outro lado, o aumento da temperatura na célula faz com que a eficiência do módulo caia abaixando assim os pontos de operação para potência máxima gerada (CRESESB, 1999).

#### 4.4. SISTEMAS FV

Para CRESESB (2010), um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias distintas: sistemas isolados, híbridos (Conectados a rede ou não). Os sistemas obedecem a uma configuração básica onde o sistema deverá ter uma unidade de controle de potência e também uma unidade de armazenamento.



**Figura 11 - Sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica; (b) Diagrama de sistemas fotovoltaicos ligados às cargas c.a.**

Nos sistemas fotovoltaicos onde há armazenamento de energia em baterias, usa-se um dispositivo para controlar a carga e a descarga na bateria. O “controlador de carga” tem como principal função não deixar que haja danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda. O controlador de carga é usado em sistemas pequenos onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua (C.C.). Para alimentação de equipamentos de corrente alternada (CA) é necessário um inversor. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor de ponto de máxima potência (MPPT) necessário para otimização da potência final produzida. Este sistema é usado quando se deseja mais conforto na utilização de eletrodomésticos convencionais.

#### 4.4.1. Tipos de sistemas FV

Abaixo seguem os três tipos de sistemas FV já acima citados.

##### 4.4.1.1. Sistemas Isolados (off-grid)

Sistemas isolados, em geral, utilizam-se alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito através de baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos ou armazenam-se na forma de energia gravitacional quando se bombeia água para tanques em sistemas de abastecimento. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, o que é o caso da irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida ou estocadas em reservatórios.

##### 4.4.1.2. Sistemas Híbridos

Sistemas híbridos são aqueles que, desconectado da rede convencional, apresenta várias fontes de geração de energia como, por exemplo: turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos entre outras. A utilização de várias formas de geração de energia elétrica torna-se complexo na necessidade de otimização do uso das energias. É necessário um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia para o usuário.

##### 4.4.1.3. Sistemas conectados à rede (on-grid)

Estes sistemas utilizam grandes números de painéis fotovoltaicos, e não utilizam armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente na rede. Este sistema representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual esta conectada. Todos os arranjos são conectados em inversores e logo em seguida guiados diretamente na rede. Estes inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada.

## **5. SISTEMAS FV NO BRASIL**

O Brasil possui um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo, com cerca de 8,5 milhões de quilômetros quadrados e, mais de 7 mil quilômetros de litoral, suas condições para aproveitamento energético são extremamente favoráveis. Se, por um lado, as reservas de combustíveis fósseis estão gradativamente sendo reduzidas, por outro, os potenciais hidráulicos, da irradiação solar, da biomassa e da força dos ventos são suficientemente abundantes para garantir a auto-suficiência energética do país.

No Brasil a geração de energia elétrica por conversão fotovoltaica teve um impulso notável, através de projetos privados e governamentais, atraindo interesse de fabricantes pelo mercado brasileiro. A quantidade de radiação incidente no Brasil é outro fator muito significativo para o aproveitamento da energia solar (AMBIENTE BRASIL, 2009).

Existem hoje vários projetos em nível governamental e privado. Esses projetos englobam diversos aspectos da utilização da energia solar como na eletrificação rural, no bombeamento d'água e também em sistemas híbridos.

### **5.1.1. Panorama energético brasileiro**

Com cerca de 8,5 milhões de quilômetros quadrados e, mais de 7 mil quilômetros de litoral e condições para aproveitamento energético extremamente favoráveis, o Brasil possui um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo. Onde os potenciais hidráulicos, da irradiação solar, da biomassa e da força dos ventos são suficientemente abundantes para garantir a auto-suficiência energética do país. Entretanto, para ANNEL (2002) o crescimento da demanda, escassez de oferta e restrições financeiras, socioeconômicas e ambientais à expansão do sistema indica que o suprimento futuro de energia elétrica exigirá maior aproveitamento de fontes alternativas.

## **6. A PESQUISA COM SISTEMAS FV NO IFRN**

### **6.1. Aspecto histórico**

Iniciada em maio de 2009 esta pesquisa trata-se de um estudo descritivo exploratório de abordagem científica, com ênfase em medidas experimentais, voltada para o estudo da viabilidade da utilização da energia solar e divulgação científica entre a comunidade do IFRN. Durante os eventos científicos realizados no IFRN, realizamos mini-cursos na EXPOTEC 2009, na VII Mostra de Física e no VI Congresso de Iniciação Científica do IFRN – 2009 (CONGIC). Também apresentamos nossa pesquisa no XXVII Encontro de Físicos do Norte e Nordeste - 2009 (EFNNE), realizado na cidade de Belém-PA.

### **6.2. Objetivos**

Segue abaixo discriminados os objetivos da nossa pesquisa.

#### **6.2.1. Objetivos gerais**

Promover em nível de ensino médio um estudo dentro das linhas de pesquisas: energia solar, módulos fotovoltaicos, abastecimento energético de ambientes pequenos, como uma sala de aula.

### **6.2.2. Objetivos específicos**

Podemos apresentar os objetivos específicos deste projeto nos seguintes itens:

- a) Desenvolver um estudo do uso da energia solar para abastecimento energético em nível de ensino médio.
- b) Identificar a viabilidade do uso dessa fonte de energia para abastecimento energético de ambientes pequenos, como uma sala de aula.
- c) Divulgar nossa pesquisa em energia solar para a comunidade do IFRN, tanto para alunos, professores e administrativos. Tendo em vista os graves problemas climáticos relacionados ao aquecimento global e a política energética brasileira.
- d) Fazer uso dos painéis fotovoltaicos existentes de propriedade do IFRN, tendo em vista o não uso atual desses painéis para a pesquisa científica.

### **6.3. Metodologia**

Trata-se de um estudo descritivo exploratório de abordagem científica voltada para a viabilização da utilização da energia solar e divulgação científica entre a comunidade do IFRN, que tentará responder os seguintes questionamentos:

- a) Qual é a incidência de radiação solar onde está situado o campus central do IFRN?
- b) Qual é a viabilidade do uso da energia solar para abastecimento de salas de aula do IFRN?
- c) Qual a relação existente entre a energia solar convertida em energia elétrica e os fatores regionais de Natal-RN, tais como: o clima, a urbanização, a poluição?
- d) Qual a eficiência de conversão dos módulos fotovoltaicos já existentes no IFRN?
- e) Como a divulgação da energia solar para comunidade do IFRN pode ajudar a situação energética futura?

Nessa pesquisa, foi estudado como podemos utilizar a energia solar convertida em energia elétrica através de módulos fotovoltaicos de propriedade do IFRN, para uso da energia em ambientes pequenos como salas de aula. Não só servindo como fonte de energia alternativa e limpa para uso interno, mas também servindo de modelo para uso em outras instituições de ensino públicas e privadas.

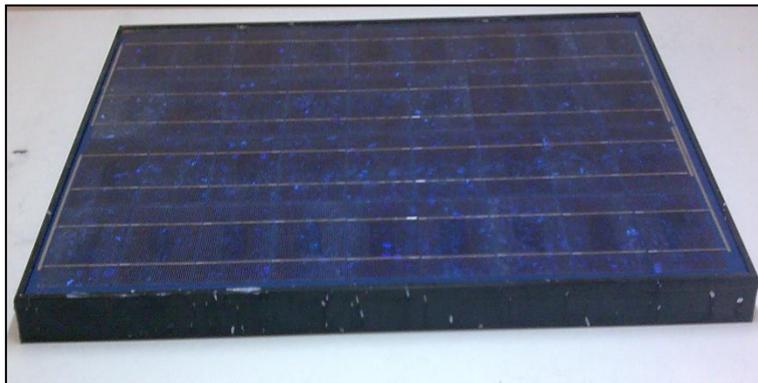
### **6.4. Materiais utilizados**

Durante nosso estudo, fizemos o levantamento técnico de monitoramento dos módulos de energia solar FV: monocristalino e policristalino, através de instrumentos de medidas elétricas. As variáveis físicas envolvidas (tensão, corrente e potência) foram estudadas qualitativamente e quantitativamente para analisar a viabilidade de implantação do projeto de sistemas FV em ambientes pequenos. Como carga, utilizamos um banco de resistores (ver figura 14), sendo 10 resistores de  $33\Omega$  de resistência elétrica

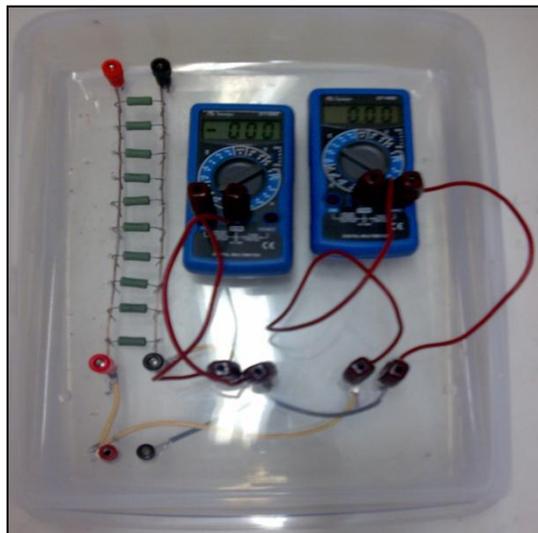
cada, dispostos em ligação paralela para que a corrente elétrica possa ser dividida com cada resistor, o banco foi montado numa base de acrílico. Todos abaixo mostrados.



**Figura 12 - Módulo de Silício Monocristalino**



**Figura 13 - Módulo de Silício Policristalino**



**Figura 14 - Placa de carga e medição: Resistores, Amperímetro e Voltímetro.**

## 6.5. Análise e interpretação dos resultados

Neste momento, apresentaremos a análise dos resultados obtidos com o módulo de silício monocristalino.

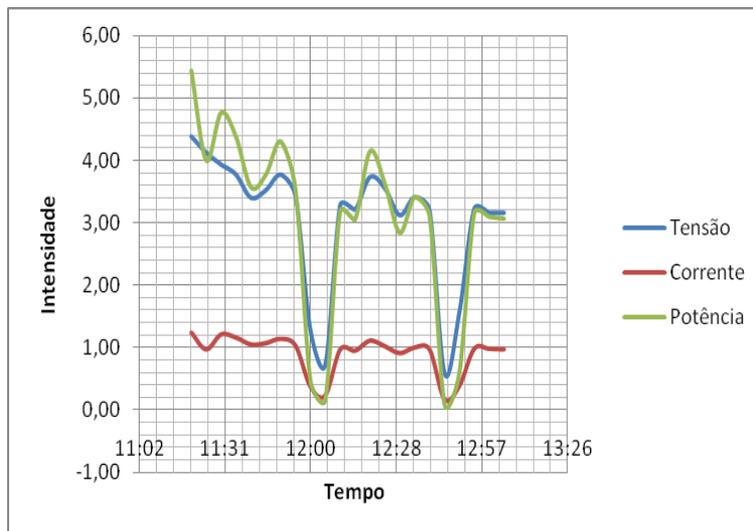


Figura 15 - Módulo FV de silício monocristalino. Medidas entre 11h e 13h no período do inverno.

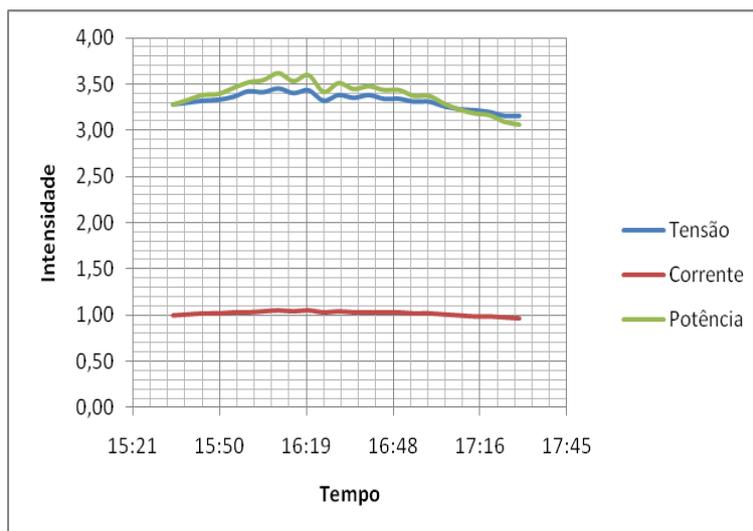


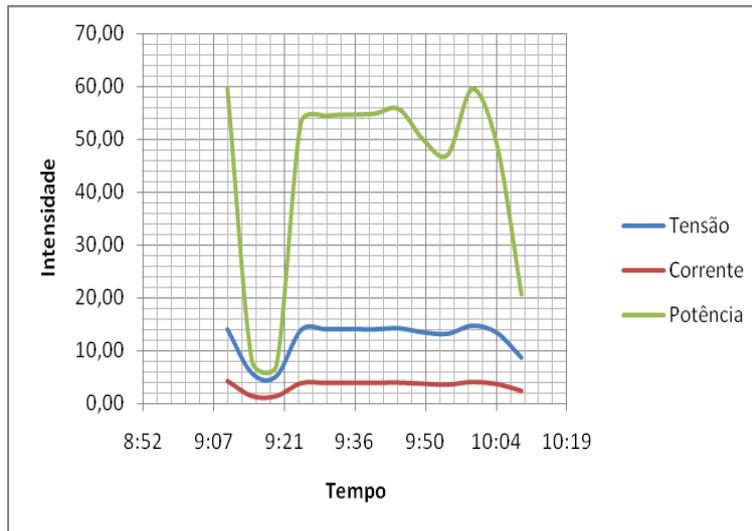
Figura 16 - Módulo FV de silício monocristalino. Medidas entre 15h e 17h no período da primavera.

Nas figuras acima (figuras 15 e 16), ilustramos os gráficos de nossas medidas feitas a partir de instrumentos de medidas elétricas: amperímetros e voltímetro, ambos digitais. As análises, aqui dispostas, são comuns para as duas curvas das grandezas elétricas, exceto o período do ano em que foram feitas as medidas: inverno e primavera. As variações observadas nas curvas acima são causadas pela influência da atmosfera, tais como: reflexão por nuvens e aerossóis; reflexão pela superfície; absorção ( $O_3$  da estratosfera e vapor d'água da troposfera) e absorção pela superfície.

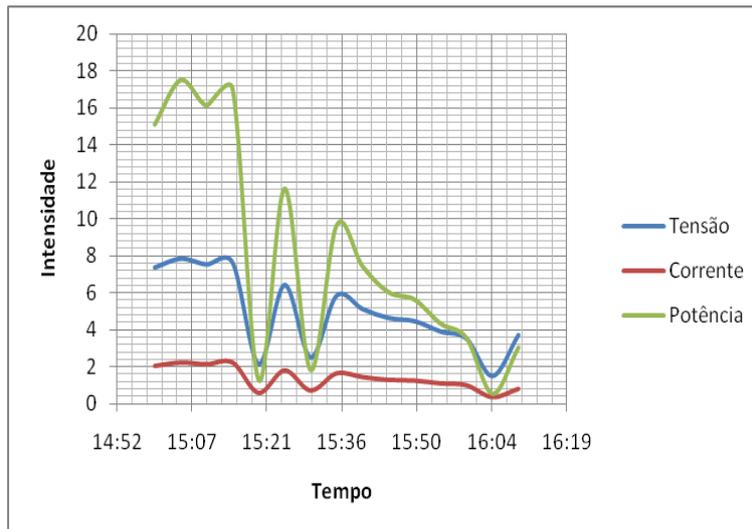
Quanto aos resultados dos gráficos obtidos acima, podemos observar a constância nos valores da corrente elétrica percorrida pelos terminais da carga. Esse fenômeno ocorre devido ao tipo de carga, sendo carga resistiva. O fato dos valores da corrente elétrica estarem oscilando próximos de 1 A, significa que o módulo FV consegue manter esta

corrente elétrica para sua carga. Fato muito importante para o abastecimento do banco de baterias.

Agora, apresentamos a análise dos resultados obtidos com o módulo de silício policristalino.

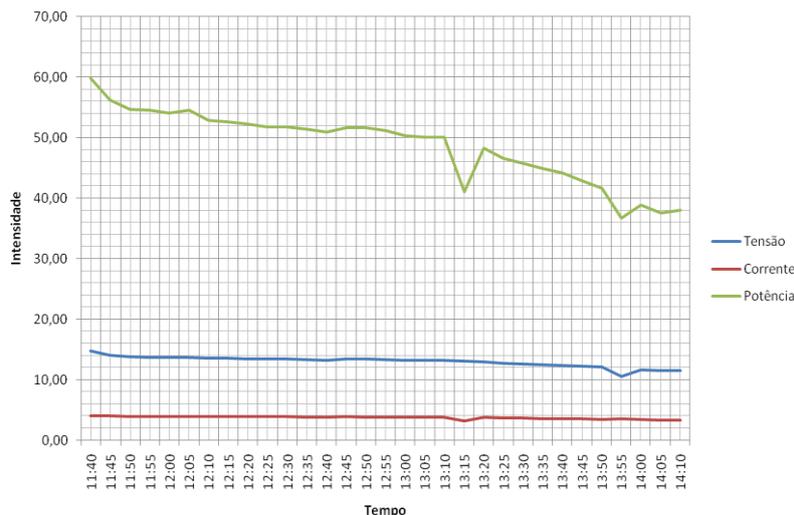


**Figura 17 - Módulo FV de silício policristalino entre 9h e 10h no período da primavera.**



**Figura 18 - Módulo FV de silício policristalino entre 15h e 16h no período da primavera.**

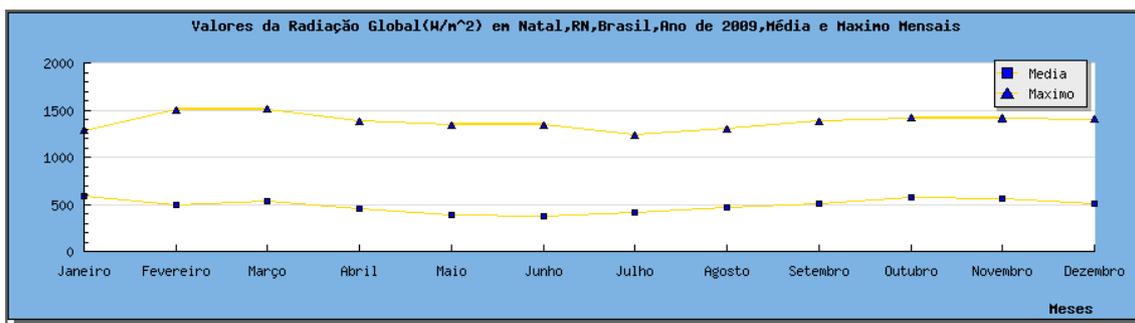
Nas figuras acima (figuras 7 e 8), apresentamos os gráfico das variáveis elétricas obtidas com os mesmos instrumentos de medidas elétricas da análise anterior. Estas medições foram realizadas em uma mesma estação do ano, a primavera. As variações observadas nas curvas acima são causadas por fatores atmosféricos, conforme a análise dos módulos monocristalinos citados anteriormente.



**Figura 19 - Módulo FV de silício Policristalino. Janela contínua de medição.**

No que diz respeito aos resultados dos gráficos obtidos acima (em especial a figura 8), observamos novamente a constância nos valores da corrente elétrica percorrida pelos terminais da carga, que continua a ser o mesmo banco de carga resistiva. Seus valores da corrente elétrica oscilam próximos de 2 A. Percebemos que o módulo FV de silício policristalino também consegue manter esta corrente elétrica para sua carga.

É muito importante ressaltar que as estações do ano influenciam na incidência da radiação proveniente do Sol. Na figura 9, mostramos os níveis de radiação global, que é a radiação total incidente do Sol na atmosfera terrestre. Nesta figura, temos os valores médios e máximos mensais da radiação global ( $W/m^2$ ) na cidade de Natal-RN, no ano de 2009. Existe uma variação dos níveis radiológicos dos meses de inverno (Junho, Julho e Agosto), que são menores em relação aos da Primavera (Setembro, Outubro e Novembro).



**Figura 20 - Índices de Radiação Global em Natal-RN no ano de 2009**

Para maximizar o aproveitamento da radiação solar, podemos ajustar a posição do módulo FV de acordo com a latitude local no hemisfério Sul. Em nossa localização, Natal-RN, um sistema de captação solar fixo deve ser orientado para o Norte, com ângulo de inclinação similar ao da latitude local. A cidade de Natal devido à sua situação geográfica ( $5^{\circ} 45' 54''$  Sul /  $35^{\circ} 12' 05''$  Oeste), possui elevados níveis de radiação solar durante todo o ano (SILVA et al, 2008).

Diferentemente da energia elétrica proveniente da rede elétrica da concessionária de energia elétrica que é alternada (com frequência de 60 Hz), a tensão e corrente elétricas produzidas pelos módulos FV são de forma contínua (C.C), ou seja, semelhante às

fontes químicas: baterias e pilhas. As cargas com maior viabilidade para serem alimentadas pelos módulos fotovoltaicos são os aparelhos resistivos, tais como: lâmpadas, aquecedores, e outros sistemas resistivos.

## **7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

No que tange nossa pesquisa podemos concluir que chegamos a resultados parciais levando em consideração nossos objetivos. Haja vista que não conseguimos chegar aos valores de eficiência energética dos módulos de FV. Contudo, foi possível relacionar as variáveis climáticas ao uso de energia solar FV, visto que sem sombra de dúvidas os horários de maior demanda energética são também os de maior incidência de radiação solar. Outra informação importante é a de que os meses onde há maiores índices de radiação global, também são os de maior geração de energia.

Neste estudo, fizemos uso dos módulos de silício mono e policristalino. No que diz respeito à análise qualitativa e quantitativa sobre o uso da energia solar para abastecimento energético, o módulo monocristalino possui a eficiência de aproximadamente 15%, e dos policristalinos estão entre 11% e 13%, segundo a literatura (CRESESB, 1999). A diferença encontrada nos valores de corrente elétrica medidas (~1 A e ~2 A, respectivamente), nesta pesquisa, se deve a diferença das áreas de nossos módulos fotovoltaicos: 0,1413 m<sup>2</sup> para monocristalino e 0,594 m<sup>2</sup> para policristalino, além de que os painéis possuem valores diferentes de eficiência. O fato dos valores das correntes elétricas estarem oscilando próximos de 1 A e 2 A, significa que o módulos FV conseguem manter valores próximos a serem constantes, fato muito importante para o abastecimento do banco de baterias.

A partir da posição geográfica da nossa cidade, Natal-RN, é possível obter-se elevados níveis de radiação solar durante todo o ano, fato positivo para uso da tecnologia fotovoltaica. Sendo assim, podemos concluir com parecer favorável a viabilidade do uso de um sistema de energia fotovoltaico híbrido, isto é, parte da energia elétrica é proveniente da concessionária elétrica (COSERN), parte do nosso sistema fotovoltaico.

Durante os eventos científicos realizados no IFRN, realizamos mini-cursos na EXPOTEC 2009, na VII Mostra de Física e no VI Congresso de Iniciação Científica do IFRN – 2009 (CONGIC). Também apresentamos nossa pesquisa no XXVII Encontro de Físicos do Norte e Nordeste - 2009 (EFNNE).

### **7.1. Perspectivas futuras**

O constante desenvolvimento de tecnologias é fundamental para a evolução da ciência e tecnologia das nossas civilizações. Nosso objetivo é o aprofundamento contínuo dos estudos para assim constituirmos uma base de dados mais sólida e extensa, podendo assim desenvolver um processo de maturação dos estudos em energia FV.

#### **7.1.1. PFRH – Petrobrás 02**

O programa PFRH – Petrobrás 02 está dando a oportunidade de aprofundarmos nossa pesquisa com energias renováveis e expandir o número de alunos engajados no projeto de 2 para 6 alunos sob a orientação do Prof.Dr. Paulo Cavalcante da Silva Filho. Também devido aos incentivos desse programa foi criado o NUDER/IFRN – Núcleo de Desenvolvimento em energias renováveis.

## 8. AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro da PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO do IFRN, da ANP (Agência Nacional do Petróleo) e da Petrobrás através do PFRH – Petrobrás 02, além do IFAL.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERNANDES, Carlos Arthur de Oliveira; GUARONGHE, Vinícius Mendes; **Energia Solar**. In: Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP [online]. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/esolar/esolar.html>>. Acesso em 07 de julho de 2010;

CENTRO DE REFERÊNCIAS PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Manual do engenheiro para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: 1999.

AMBIENTE BRASIL. **Energia solar e o meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./energia/index.html&conteudo=./energia/solar.html>> Acesso em 07 de julho de 2009

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2ª. Ed. - Brasília: ANEEL, 2005.[online] Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/EdicaoLivros2005atlas.cfm>> Acesso em 14 de julho de 2009.

SILVA, Francisco Raimundo; OLIVEIRA, Hugo Sérgio Medeiros de; MARINHO, George Santos. **Análise das componentes global e difusa da radiação solar em natal-rn entre 2007 e 2008**. II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES - Florianópolis, 18 a 21 de novembro de 2008.

CASTRO, Rui M.G.; **Energias Renováveis e Produção Descentralizada INTRODUÇÃO À ENERGIA FOTOVOLTAICA**. UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA. Ed. 3. Lisboa: Março de 2009.

INPE (BRASIL). **Gráficos da estação climatológica/solarimétrica**. In: Centro Regional do Nordeste – Laboratório de Variáveis Ambientais Tropicais. Disponível em: <<http://www.crn2.inpe.br/lavat/index.php?id=graficosClimatologica>>

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília : ANEEL, 2002.[online] Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/livro\\_atlas.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/livro_atlas.pdf)> Acesso em 14 de Julho de 2009.

## **10. CURRICULUM VITAE DOS AUTORES**

### **Rafael Ramon Ferreira:**

Atualmente é aluno do 3º ano do curso técnico de eletrotécnica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, onde desenvolve projeto de pesquisa na área de energias renováveis - energia solar fotovoltaica. Também faz estudos de integração das diversas energias renováveis em sistemas sustentáveis com ênfase no estudo de implantação de sistemas híbridos de energia solar e eólica.

### **Paulo Cavalcante da Silva Filho:**

Possui graduação em Física Bacharelado pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (1998), graduação em Licenciatura em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2001), mestrado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2001), doutorado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2005) e ensino-médio (segundo-grau) pela Escola Técnica Federal do Rio Grande do Norte (1992). Atualmente é Pesquisador da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte e Revisor de periódico da Holos (Online). Tem experiência na área de Física, com ênfase em Física da Matéria Condensada. Atuando principalmente nos seguintes temas: Processo de Contato, Séries Temporais, Processo Difusível. E projetos com energias renováveis em especial energia solar.