

O Contexto das Energias Renováveis no Brasil

*Marco A. E. Galdino**

*Jorge H. G. Lima**

*Cláudio M. Ribeiro**

*Eduardo T. Serra**

Com o provável esgotamento das reservas mundiais de petróleo, a alteração da matriz energética por utilização de fontes renováveis, em grande escala, representa o grande desafio mundial do próximo século.

Responsável pelo desenvolvimento e manutenção da vida na Terra, o Sol pode ser visto, de acordo com a nossa escala de tempo e com os atuais níveis de consumo energético, como uma fonte de energia inesgotável. O aproveitamento da energia gerada por este astro, é, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para a humanidade. Adicionalmente, deve-se lembrar que esta estrela é responsável pela origem da maioria das fontes de energia existentes.

É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação, responsável pelo ciclo das águas, que possibilita o represamento de rios e a conseqüente geração de hidroelétrica, sendo esta a tecnologia responsável por mais de 90% da energia elétrica gerada no Brasil.

A radiação solar também induz à circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos, que podem ser aproveitados através da energia eólica.

Como se sabe, todos os seres vivos necessitam da radiação solar para o seu desenvolvimento, de forma que a energia da biomassa (lenha, carvão vegetal, álcool, óleos vegetais, resíduos, etc) também é dela dependente. Neste caso, a energia solar é, através do processo de fotossíntese, diretamente absorvida e armazenada nas ligações químicas de moléculas orgânicas.

Os combustíveis fósseis, tais como petróleo, carvão e gás natural, foram gerados no interior da crosta terrestre a partir de resíduos de plantas e animais ("biomassa do passado") que, originalmente,

necessitaram da radiação solar para o seu desenvolvimento.

Assim, a maioria das fontes de energia (hidroelétrica, solar, eólica, biomassa e combustíveis fósseis) pode ser considerada como um aproveitamento direto ou indireto da energia solar, com exceção da energia nuclear, da energia geotérmica e da energia das marés.

Dentre todas estas fontes, a energia nuclear e a dos combustíveis fósseis são consideradas não renováveis, pois os processos de sua utilização são irreversíveis e geram resíduos prejudiciais ao meio ambiente. As demais são consideradas renováveis e limpas, pois não consomem combustíveis e não produzem resíduos prejudiciais, e, quando bem planejadas, não geram conseqüências para o meio ambiente.

Todas as tecnologias energéticas estão hoje unidas nos países desenvolvidos para enfrentar os problemas de esgotabilidade do energético mais utilizado - o petróleo - e da preocupação global com o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera terrestre. Além disso, deve-se ainda considerar o caráter estratégico da utilização de fontes alternativas de energia, em razão de que grande parcela das reservas mundiais de petróleo está localizada em regiões de conflitos políticos e étnicos de difícil solução a curto prazo.

O primeiro problema - esgotamento do petróleo - não parece, ao menos por enquanto, assustar os responsáveis pelo planejamento estratégico das principais nações do mundo. Contudo, um indício de mudança pode ser o fato de que grandes

companhias internacionais do setor petrolífero já têm atuação na área das energias renováveis, como, por exemplo, a Shell Solar e a BP Solar. A longo prazo, a escassez do petróleo poderá vir a ser o grande impulsionador da utilização das energias renováveis em larga escala.

Já o segundo problema, - concentração de CO₂ - parece que estará mudando, a médio prazo, os rumos do planejamento energético mundial, principalmente nos países desenvolvidos, que têm a geração de eletricidade baseada em usinas termoeletricas. Tendo como consequência o aquecimento global e todos os efeitos associados (derretimento de geleiras, mudanças climáticas, etc), está se transformando num foco de atenções da humanidade, que começa a perceber que são necessárias mudanças para garantir o desenvolvimento de forma sustentável. Nas duas últimas décadas cresceram as discussões, em nível mundial, dos efeitos da utilização das reservas fósseis, grandes acumuladores de carbono, como combustível. Está provado que o nível de carbono na atmosfera do planeta foi aumentado pela atividade humana na utilização dessas reservas e, apesar dos muitos estudos em relação aos impactos possíveis a partir do aumento no nível de carbono na biosfera, existe ainda um elevado grau de incertezas com relação a esses efeitos. Hoje já são discutidas medidas mitigadoras, tais como a taxação de emissões de carbono e a utilização de recursos energéticos renováveis em grande escala. O Protocolo de Kyoto, documento do qual o Brasil é signatário, com o objetivo de definir um mecanismo de desenvolvimento limpo, já é fruto dessas preocupações.

Neste cenário, a energia solar, a eólica, a biomassa e pequenas centrais hidroelétricas começam a disputar entre si e com as tecnologias já utilizadas em larga escala uma atenção maior, no sentido de aumentar-se a escala de produção, auferindo preços mais competitivos para a energia gerada. Outras tecnologias, como as Pilhas Combustíveis (Células Combustíveis - *Fuel Cells*), ainda estão em desenvolvimento e poderão se juntar a esse elenco no futuro.

O Cepel (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica), empresa do Sistema Eletrobrás, vem desenvolvendo, através de sua Área de Eletrônica (ACEL), trabalhos nas áreas de energia solar fotovoltaica e energia eólica desde 1992. A Área de

Materiais e Mecânica (ACME), por sua vez, vem desenvolvendo trabalhos nas áreas de pilhas combustíveis, biomassa e energia solar térmica.

ENERGIA SOLAR

A energia solar incidente sobre a superfície da terra é superior a cerca de 10.000 vezes a demanda bruta de energia atual da humanidade. Entretanto, sua baixa densidade (energia/área) e sua variação geográfica e temporal representam grandes desafios técnicos para o seu aproveitamento direto em larga escala. Na busca do aproveitamento direto da energia solar, diversas tecnologias vêm sendo estudadas, com especial destaque para a conversão fotovoltaica, a conversão térmica e a arquitetura bioclimática.

A conversão fotovoltaica constitui-se na conversão direta de energia luminosa em eletricidade, através do efeito fotovoltaico, objeto principal do presente artigo.

A conversão térmica constitui-se no aproveitamento direto da energia térmica do sol, seja para utilização imediata (aquecimento de água, processos industriais, etc), ou para a geração de eletricidade por meio de um processo termodinâmico (geração de vapor, etc).

A arquitetura bioclimática consiste em utilizar materiais e soluções construtivas e arquitetônicas nas edificações de forma a reduzir o consumo de energia elétrica para a iluminação e para o conforto térmico (ar condicionado ou aquecimento), também pode ser vista como uma forma de uso da energia solar.

Nações desenvolvidas, incluindo EUA, países da Europa e Japão, já implementam programas para utilização direta da energia solar. No caso da fotovoltaica, principalmente, sob forma de sistemas conectados à rede elétrica existente.

Nos países em desenvolvimento, a energia solar tem tido como agente impulsionador a sua aplicação para suprir pequenas demandas em áreas isoladas. Com uma parcela significativa da população vivendo na zona rural e ainda sem acesso à energia elétrica e a serviços sociais básicos, o Brasil e diversos outros países encontraram nesta tecnologia uma possível solução. O Prodeem (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios), do Ministério das Minas e Energia, é um

exemplo desta utilização.

No caso do Brasil, um outro agente motivador, certamente, será a preocupação estratégica com a região Amazônica, na qual existe campo para aplicação de sistemas híbridos fotovoltaico/diesel.

O Brasil tem uma vantagem significativa sobre os países desenvolvidos no que tange à utilização de energia solar, pois localiza-se numa faixa de latitude na qual a incidência de radiação solar é muito superior à verificada naqueles países.

ENERGIA EÓLICA

A energia eólica, que não é o objeto principal deste artigo, dispõe de uma tecnologia comercial e amadurecida, que vem sendo empregada em larga escala nas nações desenvolvidas desde o início dos anos 90, normalmente com subsídios governamentais. Na costa oeste dos EUA (principalmente nas montanhas do Estado da Califórnia), e na Europa, em particular no norte da Alemanha e na Dinamarca (costa do Mar do Norte), a energia eólica já é complementar à geração elétrica convencional.

Atualmente, as pesquisas concentram-se em novos materiais que permitam o desenvolvimento de turbinas eólicas de maior porte. Hoje, a indústria fabrica turbinas eólicas com potência da ordem de até 2MW.

Existe, atualmente, forte intenção de aplicação desta tecnologia, principalmente no litoral da Região Nordeste do Brasil, onde os regimes de ventos são considerados bons. No litoral do Estado do Ceará, por exemplo, já se encontram instalados mais de 15MW de geração eólica, sendo a maioria de iniciativa privada. Já existem também instalações nos Estados do Paraná e Minas Gerais.

No Brasil encontram-se ainda outros locais promissores, onde estão sendo efetuadas campanhas de medição dos ventos, como, por exemplo, o litoral norte do Estado do Rio de Janeiro.

BIOMASSA

A utilização de biomassa, para fins energéticos, é tão antiga quanto a própria civilização. Até o século XVIII, a principal fonte de energia da humanidade era a lenha. Apenas nos séculos XIX e



Fazenda Eólica de Taíba, CE, com potência de 5 MW (10 turbinas eólicas de 500kW)

XX com a progressiva inserção dos combustíveis fósseis, a biomassa foi relegada a um plano secundário na matriz energética global, caindo no rol das fontes de geração ditas alternativas.

A utilização de biomassa como combustível, para geração de média e de larga escala, vem sendo objeto de estudo em diversos países, inclusive no Brasil.

Para a geração de média e de larga escala, tem sido difícil obter condições de igual competitividade com os combustíveis fósseis, na ausência de um imposto ambiental ou de uma redução da oferta desses. Além disso, persistem ainda diversos fatores a serem equacionados no que se refere aos processos de manejo e conversão. Porém, para as pequenas populações dispersas, seja no meio rural ou mesmo em localidades isoladas, as condições para extensão da rede elétrica tradicional e a logística de transporte de combustível são difíceis e constituem, muitas das vezes, soluções mais dispendiosas do que o aproveitamento de um recurso local.

A biomassa é um recurso renovável substancial, passível de ser usado como combustível para produção de eletricidade e outros produtos energéticos. A implantação de cultivos energéticos pode ser uma alternativa lucrativa para proprietários rurais, que poderão usá-los, em complemento aos cultivos tradicionais, para gerar energia para

consumo próprio e prover uma fonte adicional de renda para o setor de agroindústria e moveleiro.

O Brasil tem 851 milhões de hectares de terra e utiliza somente cerca de 60 milhões destes (7,5%) para cultivos agrícolas. Condições para instalar projetos de geração descentralizados, baseados em biomassa, para atendimento a populações dispersas não faltam. Os recursos necessários para isso - terra e mão de obra - são abundantes e subutilizados. No entanto, é reduzido o número de casos de sucesso no seu emprego para a produção de eletricidade, se comparado com as potencialidades do país.

PILHAS COMBUSTÍVEIS

As pilhas combustíveis se assemelham às baterias, nas quais a energia química de um combustível é diretamente convertida em eletricidade na forma de corrente contínua. Contrariamente às baterias, entretanto, não se descarregam ou necessitam de recarregamento periódico; mantêm a produção de eletricidade enquanto for conservado o suprimento de um combustível rico em hidrogênio e de um oxidante. Essencialmente, trabalham no processo inverso ao da hidrólise da água, e, portanto, os seus produtos são energia elétrica, calor e água.

As pilhas combustíveis, apesar de terem sua concepção teórica conhecida desde meados do século 19, não apresentaram desenvolvimento comercial devido aos problemas de materiais e ao desconhecimento da cinética das reações eletroquímicas. O uso intensivo dos combustíveis fósseis também contribuiu para que esta forma de geração elétrica perdesse competitividade.

A retomada do desenvolvimento das pilhas combustíveis deu-se com o advento da exploração espacial na década de 50, em função da necessidade de dispositivos compactos de geração de energia elétrica. Diversos projetos de P&D foram conduzidos com o objetivo de torná-las atrativas comercialmente, sendo a maioria deles suportado por instituições governamentais dos EUA, Europa e Japão.

Basicamente, os projetos procuraram o desenvolvimento de materiais adequados e processos que permitissem a utilização do hidrogênio e do gás

natural como combustíveis. Um diagrama esquemático de pilhas combustíveis é apresentado abaixo.

Os principais atrativos proporcionados pelas pilhas combustíveis são:

- alta eficiência, tanto em plena carga como em carga parcial, em unidades de pequeno porte;
- nível muito baixo de emissões (NO_x, SO_x, compostos orgânicos);
- unidades compactas com baixo nível de ruído audível;
- unidades modulares, pré-montadas em fábrica e com baixo tempo de construção;
- flexibilidade operacional;
- possibilidade de complementar a capacidade existente de operação, reduzindo demanda de pico e perdas.

CÉLULAS/MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A energia solar fotovoltaica é a obtida através da conversão direta da luz em eletricidade. Este efeito, denominado fotovoltaico, descoberto por Edmond Becquerel, em 1839, define-se como o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de determinado material, produzida pela absorção da luz (fótons). A célula fotovoltaica é a unidade fundamental deste processo de conversão.

Apesar da data de descoberta deste princípio de funcionamento, as células fotovoltaicas foram originalmente desenvolvidas nas décadas de 50 e 60 para aplicações espaciais, sendo que a partir de fins da década de 70 passaram a ser utilizadas também em aplicações terrestres. Desde então, a utilização das células fotovoltaicas na Terra

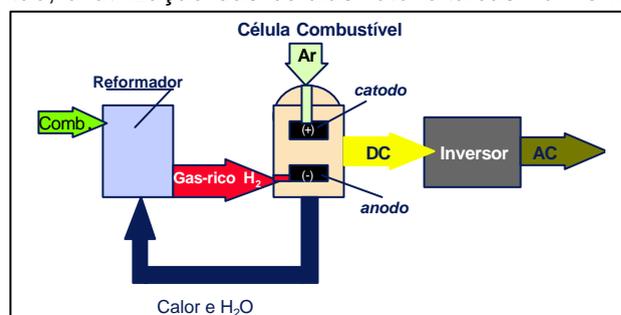


Diagrama esquemático de pilha combustível

tem aumentado em razão da progressiva queda de preço verificada.

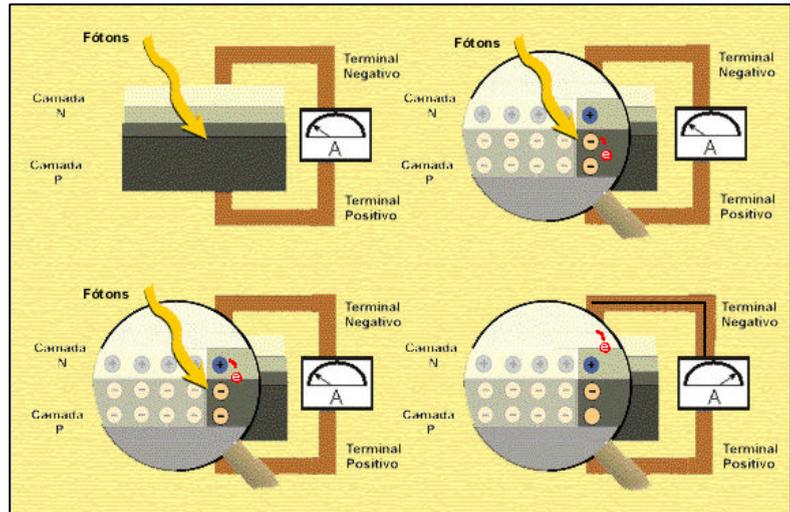
Nas células fotovoltaicas, o efeito fotovoltaico processa-se em junções *pn* de materiais semicondutores, em que os elétrons excitados por fótons são arrastados pelo campo elétrico inerente à junção *pn*, de forma a produzir uma corrente elétrica através desta junção.

O semicondutor mais usado atualmente para células fotovoltaicas é o Silício (*Si*), cabendo aqui ressaltar que o Brasil é o maior produtor mundial de Silício bruto (matéria-prima), além de deter as maiores reservas mundiais de minério deste elemento.

As células fotovoltaicas podem ser construídas de Silício monocristalino (mono-*Si*), Silício policristalino (poly-*Si*) ou Silício amorfo (*a-Si*), sendo as duas primeiras tecnologias as mais empregadas atualmente. Existem também outros materiais e tecnologias utilizados na construção de células fotovoltaicas (*CuInSe₂* - Disseleneto de Cobre-Índio, *CdTe* - Telureto de Cádmio, *GaAs* - Arsenieto de Gálio, Células fotoeletroquímicas *TiO₂* - Dióxido de Titânio, etc), mas estes são, até o presente momento, utilizados em escala reduzida ou experimental.

A eficiência na conversão de energia luminosa em energia elétrica atinge 15% para o mono-*Si*, 12.5% para o poly-*Si* e 8% para *a-Si*, levando-se em conta os produtos comerciais disponíveis no mercado. Para termos de comparação, sabe-se que a eficiência do processo da fotossíntese é calculada em cerca de 5%.

O módulo fotovoltaico é a unidade básica comercialmente disponível, proporcionando proteção mecânica e ambiental às células e permitindo a sua utilização exposta às intempéries. O módulo é composto de células encapsuladas e conectadas eletricamente em série e/ou em paralelo, produzindo níveis de tensão e corrente adequados à utilização. Os módulos fotovoltaicos podem, por sua vez, ser também conectados arbitrariamente em série e paralelo, de forma a compor painéis fotovoltaicos capazes de fornecer os níveis de tensão e corrente (potência) necessários a determinada aplicação.



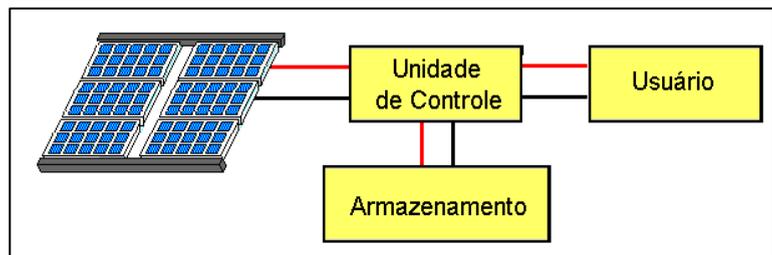
Efeito fotovoltaico na junção *pn*

Os módulos fotovoltaicos são dispositivos bastante confiáveis e de grande durabilidade, com vida útil superior a 20 anos.

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS

Os sistemas isolados atendem a uma determinada carga utilizando exclusivamente a energia solar fotovoltaica. A ordem de grandeza da potência fotovoltaica instalada deste tipo de sistema varia tipicamente de centenas de Wp a unidades de kWp (a unidade de potência dos módulos fotovoltaicos é Wp - Watt-pico). Sua configuração básica pode ser vista na ilustração abaixo, e compreende:

- *painel fotovoltaico* - conjunto de módulos fotovoltaicos associados em série/paralelo a fim de fornecer os níveis de tensão e corrente adequados à aplicação;



Configuração básica de um sistema fotovoltaico

- *armazenamento* - banco de baterias de descarga profunda, associadas em série/paralelo;
- *unidade de controle* - inclui controladores de carga das baterias, inversores (conversores cc/ca) e/ou outros dispositivos eletrônicos.

Esta configuração básica pode sofrer variação, em função dos tipos de carga a serem alimentadas e/ou da necessidade de armazenamento de energia.

Os dois tipos de sistemas fotovoltaicos isolados mais comuns são os de geração de energia elétrica e os de bombeamento d'água.

Os sistemas de geração de energia elétrica destinam-se a alimentar cargas elétricas a partir da energia solar fotovoltaica. Usualmente são empregados na eletrificação rural em locais distantes da rede elétrica convencional. Este tipo de aplicação é o que tem sido contemplado pelo Prodeem.

Outras aplicações típicas de sistemas fotovoltaicos isolados de geração de energia elétrica incluem:

- estações repetidoras de telecomunicações (UHF, VHF, TV);
- sinalização náutica (bóias e faróis de navegação);
- sistemas de telemetria, monitoração ambiental e vigilância (estações meteorológicas, etc);
- sistemas de proteção catódica de estruturas metálicas (oleodutos, torres de linhas de transmissão, etc);
- postes autônomos de iluminação pública;
- sinalização rodoviária (placas, sinais de perigo, etc) e telefones de emergência rodoviários;
- embarcações a vela;
- *camping* e *trailers*;
- produtos eletrônicos portáteis (relógios, calculadoras, brinquedos, agendas eletrônicas, carregadores de baterias *Ni-Cd*, etc);
- aplicações militares (utilização em campanha, etc).

A foto, ao lado, mostra um dos sistemas isolados para geração de energia elétrica, instalado no âmbito do Prodeem.

Os sistemas fotovoltaicos para bombeamento d'água destinam-se ao suprimento de água em locais remotos, distantes da rede elétrica. A água pode ser proveniente de poços ou de corpos d'água (rios, lagos, etc) e a finalidade pode ser o consumo humano, animal ou irrigação.

A configuração dos sistemas de bombeamento d'água normalmente difere do mostrado na figura que o sistema fotovoltaico, pois não são dotados de baterias para o armazenamento de energia, sendo muito mais eficiente o armazenamento direto de água em reservatórios.

Outro problema correlato é o de qualidade da água, pois verifica-se que, em muitos poços da região Nordeste do Brasil, a água apresenta salinidade inadequada ao consumo humano. Nestes casos, a energia solar também poderia resolver este problema, com a utilização de equipamentos dessalinizadores, também alimentados por sistemas fotovoltaicos.

PRODEEM

O Governo Federal Brasileiro estabeleceu, em dezembro de 1994, o Programa para o Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (Prodeem), através de Decreto Presidencial. Coordenado pelo DNDE (Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético, do MME (Ministério de Minas e Energia (MME), tendo no CEPEL o suporte técnico para sua implantação, o Prodeem tem



Casa autosuficiente em energia, dotada de painel fotovoltaico de 2kWp e banco de baterias de 28kWp

como objetivo suprir de energia elétrica as comunidades rurais de baixa renda, distantes da rede convencional de distribuição. Este campo de aplicação é considerado extremamente vasto no Brasil, o qual, segundo estimativas do MME, possui mais de 15 milhões de pessoas na zona rural sem acesso à energia elétrica convencional.

Em função das grandes distâncias envolvidas, o custo de extensão de linhas de distribuição de energia elétrica é extremamente elevado nestes casos, de forma que se torna economicamente inviável, pois o consumo de energia esperado nestas comunidades é muito baixo. Desta forma, o Programa prevê a eletrificação a partir de fontes renováveis disponíveis localmente.

Os milhares de sistemas do Prodeem são destinados a diversas aplicações públicas e comunitárias (energização de escolas, postos de saúde, igrejas, centros comunitários, postos telefônicos, postos policiais, postos da Funai, bombeamento d'água, etc) e estão espalhados por todos os estados do Brasil.

SISTEMAS HÍBRIDOS - REGIÃO AMAZÔNICA

São aqueles que utilizam simultaneamente várias fontes de energia com o objetivo de atender a uma carga elétrica. Normalmente são isolados, mas podem também ser conectados à rede elétrica convencional. A ordem de grandeza da potência fotovoltaica instalada deste tipo de sistema é tipicamente da ordem de dezenas a centenas de kWp. O diagrama em blocos de um sistema híbrido é mostrado na ilustração ao lado.

Dentre as fontes de energia que podem ser utilizadas, citam-se:

- módulos fotovoltaicos;
- turbinas eólicas;
- microcentrais hidroelétricas;
- grupos motogeradores utilizando diversos combustíveis, tais como diesel, óleos vegetais, biogás (proveniente de biodigestores), etc.

Tais sistemas têm sido empregados, em nível experimental, para eletrificação de vilas isoladas em diversos países, como México, Estados Unidos, Alemanha, Japão, etc. A utilização combinada de várias formas de geração de energia elétrica

torna complexa a sua operação com vistas à otimização da utilização das diversas fontes.

Em geral, os sistemas híbridos são de médio a grande porte atendendo a um número relativamente elevado de usuários. Por trabalhar normalmente com cargas de corrente alternada, utiliza inversores de grande porte. Em virtude da complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, cada projeto é específico para atender uma determinada aplicação.

REGIÃO AMAZÔNICA

A Região Amazônica (AC, AM, AP, MA, MT, PA, RO, RR, TO) tem uma população esparsa, com aproximadamente 17 milhões de pessoas ocupando 5 milhões de km², o que significa 12% da população do país em cerca de 59% de sua extensão territorial. A geração elétrica, onde existe, é principalmente baseada em sistemas termelétricos isolados com potências variando de alguns kW para as vilas pequenas a dezenas de MW para as maiores cidades. Apenas 9% do consumo de energia elétrica do país se verificam na Região Amazônica, e estima-se que cerca de 30% da população da região não tenham acesso à energia elétrica.

Mais de 300 pequenos sistemas de geração diesel isolados são operados na Amazônia pelas concessionárias de energia elétrica locais, e outros milhares são utilizados por proprietários particulares.



Diagrama em blocos de um sistema híbrido

Potência (kW)	% do total de sistemas
0-100	10
100-500	37
500-1000	23
>1000	30
Total	100

Tabela I - Distribuição de sistemas Diesel isolados

A tabela I, acima, mostra a distribuição de potência dos 300 sistemas operados pelas concessionárias locais. Normalmente estes sistemas operam por somente de 6 a 12 horas por dia.

O custo da energia na Amazônia é bastante alto, em decorrência principalmente dos custos de operação e manutenção dos sistemas e, secundariamente, dos custos do combustível. O custo da energia é subsidiado por meio da CCC (Conta de Consumo de Combustíveis), compartilhada por todas as concessionárias de energia elétrica do Brasil, com base no lucro de cada uma, e gerenciada pela Eletrobrás.

Dentro deste cenário, o CEPEL implementou, em parceria com empresas concessionárias de energia elétrica locais, e com o suporte o NREL (*National Renewable Energy Laboratory*, EUA), dois projetos piloto de sistemas híbridos.

O primeiro é localizado no Estado do Pará, Município de Salvaterra, Vila de Joanes, na Ilha de Marajó. Este sistema híbrido fotovoltaico/eólico/diesel utiliza quatro geradores eólicos de 10kW, um painel fotovoltaico de 10kWp e um banco de baterias de 228kWh. Ele está conectado ao de geração diesel já existente no município, com capacidade de 1,2MVA, tendo entrado em operação em maio/98.

O segundo sistema é localizado no Estado do Amazonas, na Vila de Campinas, no município de Manacapuru, a cerca de 100km de Manaus entre os rios Negro e Solimões. Este sistema híbrido fotovoltaico/diesel utiliza um painel fotovoltaico de 50kWp e um banco de baterias de 192kWh, estando associado ao sistema diesel já existente de 120kVA.

Estes projetos tiveram como objetivo o desenvolvimento e a demonstração das tecnologias. Sua conclusão indica que estão reduzindo o consumo de diesel, estendendo a vida útil dos geradores existentes, e melhorando a qualidade do serviço (suprimento 24h/dia). Contudo, considera-se que as tecnologias envolvidas não estão ainda completamente maduras, o que resultou em diversos problemas técnicos. Além disso, a introdução desta tecnologia, ainda não totalmente dominada, encontrou dificuldades nas concessionárias em relação a sua operação e manutenção.

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

Representam uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual estão conectados. Normalmente não utilizam armazenamento de energia, pois toda a gerada é entregue diretamente à rede. Para a injeção de energia na rede, é utilizado um inversor especial, conforme mostrado na ilustração abaixo.

A potência fotovoltaica instalada neste tipo

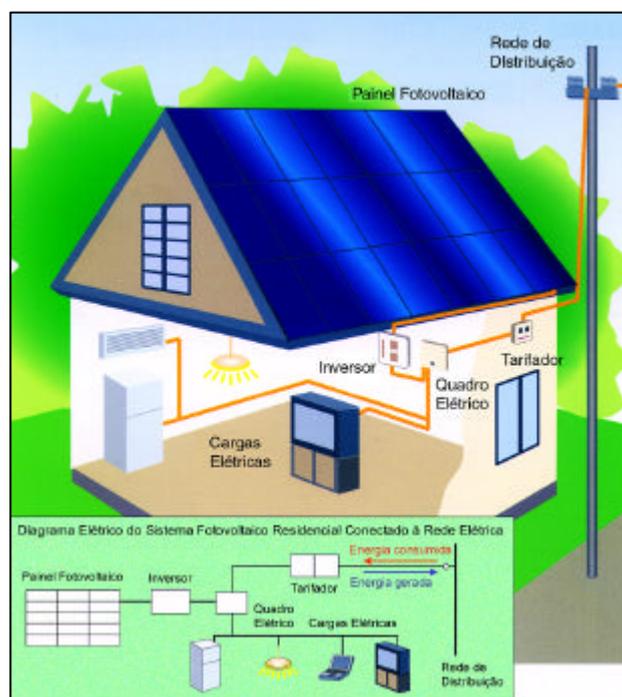


Diagrama em blocos de um sistema conectado à rede elétrica (figura: NEDO - New Energy and Industrial Technology Development Organization - Japão)

de sistema é muito variável, podendo atingir centenas de kWp em pequenas centrais fotovoltaicas experimentais, dezenas de kWp para os sistemas integrados à fachada de construções, ou apenas algumas centenas de Wp instalados em telhados de residências. Normalmente a energia é injetada na rede de baixa tensão (110/220Vca) e o medidor/tarifador de energia do usuário é bidirecional, efetuando um balanço entre a energia gerada e a consumida pelo usuário.

Os inversores, para injeção de energia na rede elétrica, devem satisfazer a severas exigências de qualidade e segurança para que esta não seja afetada. A regulamentação técnica e comercial em relação às concessionárias de energia elétrica também deve prever este tipo de sistema.

Nos países desenvolvidos têm sido lançados programas governamentais subsidiando a sua instalação, principalmente nos EUA (*A Million Roofs Program* - programa um milhão de telhados), na Alemanha (*Hundert Tausend Dächer Programme* - programa cem mil telhados) e no Japão (*New Sunshine Program*). Tais sistemas representam na realidade uma capacidade de geração elétrica distribuída nestes países, para reforço à geração convencional já existente. Muito embora no presente a sua contribuição ainda seja ínfima, no futuro este modo de instalação poderá contribuir de forma significativa para a geração elétrica.

As centrais fotovoltaicas de grande porte, capazes de concorrer com as fontes convencionais, ainda não são completamente viáveis do ponto de vista técnico-econômico. As maiores centrais já construídas têm potência da ordem de unidades de MW, valor este pequeno em comparação com as fontes tradicionais. Todavia, cálculos mostram que, se a área inundada pelos reservatórios de algumas usinas hidroelétricas fossem recobertas com módulos fotovoltaicos, obteríamos uma potência instalada superior à da usina em questão, de forma que esta possibilidade poderá se tornar viável, a longo prazo, caso se equacione o problema de armazenamento da energia gerada, de forma a torná-la firme. Esta ainda é uma das grandes vantagens das hidroelétricas, pois a água armazenada garante a energia firme, ou seja, uma produção de energia independente de variações ambientais de curta duração.

CONCLUSÕES

As tecnologias abordadas neste artigo terão um crescente desenvolvimento e participação na matriz energética mundial, devido não só à possível escassez dos combustíveis fósseis, mas também pelo aumento da consciência ambiental, principalmente dos países mais desenvolvidos.

No caso do Brasil, apesar de possuir mais de 90% de geração limpa (hidroeletricidade), existe ainda vasto campo de aplicação das energias renováveis, uma vez que mais de 90% de sua extensão territorial se situam na região tropical, com excelente recurso solar, abundância de biomassa, e bons regimes de vento em algumas regiões, fazendo com que o Brasil, sem dúvida, seja um dos maiores países no mundo para aplicação destas tecnologias.

As populações esparsas em grandes áreas da Amazônia Brasileira dificultam, por sua vez, o emprego de eletrificação convencional, mas podem ser atendidas por meio de energias renováveis, o que teria inclusive um caráter estratégico nas regiões de fronteira. □

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPTEL

Av. Hum, s/n - Cidade Universitária - Ilha do Fundão
Rio de Janeiro - CEP: 21941-590

* Autores

Marco A. E. Galdino, MSc.
Jorge H. G. Lima, Engenheiro
Claudio M. Ribeiro, Engenheiro
Eduardo T. Serra, DSc.

e-mail

marcoag@cepel.br
jljima@cepel.br
-
etserra@cepel.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Células Combustíveis a Etanol: Uma análise Técnico-Econômica; Eduardo T. Serra; Revista Eletricidade Moderna; Ano XXVII; nº313; abr/2000;
2. Manual de Engenharia de Sistemas Fotovoltaicos; CEPTEL/CRESESB; 1999;
3. Aspectos Técnicos do Programa PRODEEM para Eletrificação Rural Baseada em Energia Solar Fotovoltaica; Marco A. E. Galdino, Jorge H. G. Lima; 4º Encontro Luso-Afro-Brasileiro de Planejamento e Exploração de Redes de Energia; Rio de Janeiro, 1999;
4. Tecnologia Fotovoltaica: uma Alternativa Real para Eletrificação Rural no Brasil; Cláudio M. Ribeiro, Jorge H. G. Lima, Osvaldo L. S. Pereira, Antonia S. A. C. Diniz, Luiz C. Berto; 8º Congresso Brasileiro de Energia; Rio de Janeiro, 1999;
5. Energia Eólica; DEWI – Instituto Alemão de Energia Eólica; 1998 (traduzido pela ELETROBRÁS);
6. PV Power for Villages in the North Region of Brazil; Luiz C. G. Valente, Maria R. P. de Araújo, Robert Hill, Roger W. Taylor; XIII EuropeanPV Conference; 1995;
8. ENERGIA SOLAR - PRINCÍPIO E APLICAÇÕES.