



**XV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GLT/23

**17 à 22 de outubro de 1999
Foz do Iguaçu – Paraná - Brasil**

**GRUPO III
GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO (GLT)**

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LINHAS DE TRANSMISSÃO

Mário Sergio Cassoli Dias
Consultor

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo demonstrar e apresentar a utilização da energia solar fotovoltaica como recurso energético para aplicações específicas em linhas de transmissão de energia.

Serão apresentados neste trabalho algumas das principais aplicações da energia solar fotovoltaica em linhas de transmissão de energia, destacando aquelas que já foram devidamente experimentadas em campo por empresas e concessionárias de energia elétrica. Entre as principais aplicações estão a Proteção Catódica de Grelhas, a Sinalização Aeronáutica de Advertência e o Sensoamento Remoto de Dados, entre outros.

PALAVRAS-CHAVE

Energia solar fotovoltaica, Célula Solar Fotovoltaica, Linhas de transmissão de energia.

1.0 - HISTÓRICO DA ENERGIA SOLAR

Para que possamos bem entender o funcionamento de dispositivos operados através de energia solar fotovoltaica é fundamental conhecermos um pouco da história e evolução desta fantástica energia.

A energia solar fotovoltaica é uma modalidade de energia elétrica utilizada em larga escala em países como Estados Unidos, Alemanha e Japão. A sua evolução tem se dado de maneira bastante rápida, não só pelo seu caráter ecologicamente correto como

também pela redução acentuada de seu custo de produção ao longo dos últimos 20 anos, o que vem tornando viável a sua aplicação mesmo em locais que já contam com energia elétrica convencional.

O fenômeno da fotosensibilidade de certos materiais quando expostos à radiação eletromagnética já era conhecida desde o final do século passado, graças aos estudos e experimentos do cientista Heinrich Hertz com o elemento selênio. Porém, somente na década de 50, é que a célula solar fotovoltaica, coração de um sistema solar de geração elétrica, foi desenvolvida nos Laboratórios da Bell Technologies nos Estados Unidos, em trabalho paralelo à descoberta de outro componente semiconductor, o transistor.

O grande esforço dos cientistas nas décadas de 60 e 70 foi fazer da célula solar fotovoltaica um elemento com aplicação comercial. O custo de 1Wp de célula solar alcançava nesta época valores superiores a US\$ 100, o que restringia sua utilização para aplicações muito específicas, como por exemplo para energização de satélites espaciais. Passado algum tempo as células solares começaram a ser utilizadas para aplicações terrestres para alimentação elétrica de pequenas cargas localizadas em regiões remotas. O custo, no entanto, ainda era muito elevado.

Os primeiros anos da década de 70 foram marcados pela ameaça de colapso mundial provocada pelas crises do petróleo. O medo anunciado pela insuficiência de recursos energéticos forçou grandes empresas do setor petrolífero a investirem maciçamente no desenvolvimento de energias alternativas. A energia solar fotovoltaica foi uma das

Mário Sergio Cassoli Dias
Rua Francisco Pais, 373 - Jd. Ipanema - CEP 04784-080 - São Paulo - SP
tel: (011) 5660-6296
e-mail: mcassoli@erico.com

modalidades de energia que mais recebeu investimentos. O resultado foi uma fantástica redução do preço do Wp, saltando dos US\$ 100 na década de 50 para menos de US\$ 20 no final da década de 70. A partir da década de 80 inúmeras aplicações foram sendo desenvolvidas com a utilização da energia solar fotovoltaica. A possibilidade de levar energia para locais afastados, de localização remota, ou então em regiões de clima severo, permitiu aos usuários, pela primeira vez, operar equipamentos que até então só poderiam ser instalados em locais com energia convencional. Aos poucos a comunidade técnica começou a enxergar as enormes vantagens na utilização da energia solar fotovoltaica e passou a especificá-la para projetos de comunicação, bombeamento de água, eletrificação rural, proteção catódica, sinalização marítima e aérea, entre outros. Já no final da década de 80, graças a produção em larga escala dos módulos fotovoltaicos, o preço de 1Wp alcançava valores da ordem de US\$ 6.

O atual período de desenvolvimento da energia solar fotovoltaica está voltado para a pesquisa de novos elementos que tenham a particularidade de gerar energia elétrica quando expostos à luz. Buscam-se elementos que possuam maior eficiência de conversão e que possam ser fabricadas em escala muito maior do que as tecnologias tradicionais. Aumentam dia a dia o número de empresas que investem na fabricação de módulos com tecnologia de filme fino (*Thin Film*). O processo fabril é infinitamente mais simples do que as tradicionais tecnologias de silício cristalino (mono e policristalino), o que garante alta produção. O silício, que é até hoje a principal matéria prima para produção de células solares, poderá em breve perder a hegemonia para materiais extremamente promissores como o Arseneto de Gálio e o Diselneto de Cobre Índio. Empresas do mundo inteiro trabalham no desenvolvimento de técnicas que irão permitir a fabricação de superfícies fotosensíveis que geram eletricidade. O aprimoramento destas técnicas fará com que em futuro muito breve fachadas de prédios sejam revestidas com material semicondutor, gerando eletricidade durante o dia para uso compartilhado com a rede elétrica.

O futuro da energia solar fotovoltaica apresenta-se de forma espetacularmente promissora. Devido à exaustão das reservas naturais conhecidas a utilização de combustíveis fósseis deverá cair acentuadamente nos próximos 50 anos. Isto abrirá uma oportunidade única para fazer da energia solar fotovoltaica uma das fontes de energia mais importantes dentro da matriz energética mundial.

2.0. LINHAS DE TRANSMISSÃO E ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A utilização de energia solar fotovoltaica em linhas de transmissão pode parecer estranha para aqueles que se deparam pela primeira vez com a questão, afinal sabe-se que as linhas de transmissão conduzem centenas de milhares de kWh por dia enquanto geradores solares são incapazes de gerar grandes volumes de energia de forma viável. Sabe-se também que os geradores solares são dispositivos que só geram energia durante o período diurno e que possuem limitações de espaço e localização para sua instalação. Qual seria a relação que poderíamos estabelecer entre energia solar fotovoltaica e linhas de transmissão?

Como já insinuado no parágrafo anterior pode-se afirmar que a resposta para esta questão não tem relação alguma com qualquer contribuição que a energia solar pudesse dar em termos de geração. A potência da maior planta industrial de geração solar fotovoltaica já construída no mundo, localizada em Carrissa Plain na Califórnia, é algo em torno de 6MW, o que, em termos de potência, é dezenas de vezes inferior à capacidade de transmissão das principais linhas de transmissão encontradas no Brasil. A energia solar fotovoltaica não possui condições técnicas e nem pretensões de querer se utilizar de linhas de transmissão para conduzir a energia por ela gerada.

A resposta para a questão enunciada é como a energia solar fotovoltaica pode auxiliar a operação e a manutenção das linhas de transmissão naquilo que sabidamente estas últimas são vulneráveis. As linhas de transmissão rasgam centenas de quilômetros de terra mostrando sua imponência e resistência. As linhas de transmissão passam por todos os tipos de terreno, desvios, relevos, declives, aclives e enfrentam diariamente chuva, sol, umidade, salinidade e demais condições atmosféricas extremamente severas. Por uma ironia de concepção as linhas de transmissão só conduzem energia em alta tensão, o que em termos práticos inviabiliza a operação de qualquer dispositivo eletrônico em baixa tensão (120Vac, 220Vac, 12Vcc, etc..).

Até algum tempo atrás ninguém sequer pensava na possibilidade de instalar dispositivos eletrônicos em torres de transmissão. Os técnicos, sempre que consultados, diziam que a eletrônica era pouco confiável, de pouco ou nenhuma serventia, e que não casava com as características de uma linha de transmissão pela sua fragilidade. A robustez das linhas de transmissão era o endosso final para que os técnicos

desconsiderassem qualquer medida ou dispositivo para auxiliar a operação ou melhorar a manutenção das linhas de transmissão. O avanço tecnológico mostrou, no entanto, que novas variáveis estavam sendo introduzidas diariamente em nosso cotidiano, e que medidas deveriam ser tomadas para que tais variáveis não criassem conflitos com aquilo que já existia. O mesmo valia para as linhas de transmissão.

Somente para citar os exemplos mais comuns de conflitos que não foram previstos, mas que no entanto causam enormes problemas na operação e manutenção de linhas de transmissão, podemos falar da corrosão das grelhas de torres, da sinalização aérea das torres de linhas de transmissão localizadas em áreas de proteção aérea, da conexão e desconexão remota de trechos de linhas de transmissão, das ocorrências de descargas atmosféricas em linhas de transmissão, entre outros.

A solução para a grande maioria destas novas variáveis está na introdução de algum dispositivo que corrija ou previna acidentes nas linhas de transmissão. Podemos, num primeiro momento, pensar na instalação de dispositivos elétrico-eletrônicos somente nos locais que ofereçam algum tipo de facilidade, como por exemplo os trechos das linhas de transmissão localizadas em áreas urbanas. Ocorre, entretanto, que a maior parte das linhas de transmissão estão fora do perímetro urbano. São para os locais afastados da região urbana que urge a necessidade de se encontrar alguma alternativa para colocação destes dispositivos qualquer que seja o ponto da linha de transmissão. A questão que devemos nos preocupar é saber quais serão os dispositivos a serem instalados e como instalar estes dispositivos dentro da linha de transmissão.

As linhas de transmissão oferecem pouquíssimos recursos para instalação de dispositivos ao longo de seu percurso. Com exceção dos trechos localizados em áreas urbanas, que contam com energia elétrica em baixa tensão e demais facilidades de acesso e infraestrutura, invariavelmente os trechos intermediários das linhas de transmissão passam por locais remotos, quase sempre de difícil acesso, e o que é pior, por maior que seja a ironia, sem energia em baixa tensão.

Para que seja possível a instalação de dispositivos elétrico-eletrônicos que trabalhem na prevenção ou correção de alguma falha em linhas de transmissão, devemos prever, como condições mínimas de operacionalização, as seguintes características:

1. Simplicidade de operação;
2. Robustez;
3. Baixa manutenção;

4. Facilidade de instalação;
5. Alta confiabilidade;
6. Baixo custo.

Reunir todas estas características em um único equipamento já é uma tarefa difícil, o que não dizer então sobre o tipo de alimentação elétrica a ser adotada. O ideal buscado por todos os técnicos é que os dispositivos a serem instalados em linhas de transmissão sejam do tipo passivo, ou seja, que utilizem alguma forma de energia existente na linha de transmissão, como por exemplo a energia eletromagnética. Sabe-se, no entanto, das enormes dificuldades em se aproveitar o campo eletromagnético como fonte de energia. Sabe-se também que para aproveitamento dos campos elétrico e magnético é necessário instalar equipamentos próximos aos cabos energizados, o que por si só já é uma operação complexa e perigosa.

Existe a opção de utilizar redes elétricas rurais próximas das linhas de transmissão. Esta opção apresenta o inconveniente de que a rede elétrica deve existir e estar próxima da linha de transmissão. A construção de uma extensão de rede elétrica, por menor que seja, inviabiliza completamente a instalação de dispositivos eletrônicos nas torres. Existe ainda o problema da qualidade da energia fornecida por uma rede rural. Em geral a regulação de uma rede deste tipo é extremamente elevada, o que torna praticamente impossível a sua utilização por dispositivos eletrônicos sensíveis. A que se considerar também que qualquer interrupção de fornecimento pela rede rural, o que digamos não é muito improvável, irá afetar diretamente a operação do dispositivo instalado na linha de transmissão.

Resta aos técnicos escolher por alguma energia de caráter alternativo para suprir o consumo dos equipamentos eletrônicos. De todas as modalidades de energia conhecidas a que mais se aproxima das características desejáveis para utilização em dispositivos localizados em linhas de transmissão é a energia solar fotovoltaica.

3.0. VANTAGENS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica reúne todas as características necessárias para ser utilizada como fonte de energia de dispositivos elétrico-eletrônicos instalados em linhas de transmissão.

Energia solar fotovoltaica é renovável, não gera resíduos, pode ser modularizada de acordo com as

exigências de crescimento de demanda do dispositivo consumidor, gera energia limpa e com altíssima qualidade, é de fácil instalação, dispensa manutenção programada, pode ser transportada para qualquer local, não consome combustíveis fósseis, não gera interferência com a natureza e com o local onde for instalada e, como uma das principais preocupações atuais, tem custo extremamente reduzido se comparada com qualquer outra alternativa de geração de energia elétrica em locais remotos.

Existe uma vantagem adicional da energia solar fotovoltaica, não citada acima, que é a forma de onda gerada pelos painéis solares, do tipo contínua em baixa tensão, geralmente 12Vcc ou 24Vcc. Esta particularidade casa perfeitamente com o tipo de alimentação exigida por dispositivos elétrico-eletrônicos, o que não impede, todavia, que qualquer dispositivo operado em corrente alternada em 110Vac/220Vac seja adaptado para funcionamento a partir de um gerador fotovoltaico, bastando para isso considerar a inclusão de um equipamento conversor DC-AC, conhecido comumente como inversor.

Uma outra consideração importante diz respeito às dimensões do sistema solar fotovoltaico necessário para alimentar um determinado dispositivo elétrico-eletrônico. O que determina o tamanho de um arranjo solar fotovoltaico é a demanda de energia requerida pelo consumidor. Como os dispositivos elétrico-eletrônicos a serem utilizados em linhas de transmissão possuem consumo elétrico particularmente baixo, pode-se inferir facilmente que as dimensões do arranjo solar fotovoltaico também vão ser reduzidas.

As dimensões reduzidas do arranjo solar fotovoltaico contribuem favoravelmente para a sua instalação em linhas de transmissão. Muitas vezes o próprio corpo das torres metálicas são aproveitados para a fixação dos dispositivos e do arranjo solar fotovoltaico. Escolhem-se para instalação pontos da torre que permitam a fixação do conjunto solar de forma segura e confiável, sempre obedecendo a orientação e posicionamento dos painéis solares como manda a técnica.

A colocação dos dispositivos elétrico-eletrônicos em locais de difícil acesso permitem também reduzir eventuais ações de vandalismo, inevitáveis nos casos onde os dispositivos ficam expostos em locais de fácil acesso.

4.0. PRINCIPAIS DISPOSITIVOS ELÉTRICO-ELETRÔNICOS UTILIZADOS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

Serão apresentados a seguir os dispositivos elétrico-eletrônicos mais utilizados em linhas de transmissão com uso de energia solar fotovoltaica.

4.1. PROTETOR CATÓDICO DE GRELHAS

O protetor catódico de grelhas é um dispositivo elétrico de aplicação extremamente promissora, cuja finalidade é impedir e interromper o processo de corrosão verificado em grelhas de torres de linhas de transmissão.

O processo de corrosão é o estágio avançado de reações físico-químicas de oxidação verificadas entre materiais com potenciais diferentes, que culmina com a perda de material ativo. No caso das torres de uma linha de transmissão, especificamente daquelas que possuem grelhas metálicas, o material ativo perdido é exatamente aquele que está enterrado, ou seja, material pertencente à base de sustentação da torre. Em casos extremos pode-se chegar a um tal ponto de deterioração das grelhas metálicas que a torre pode vir a cair por falta de sustentação. Não é difícil imaginar os prejuízos envolvidos em um caso deste tipo.

Para evitar que as grelhas de torres de linhas de transmissão sejam deterioradas pela corrosão é que o protetor catódico foi desenvolvido. O protetor catódico é um pequeno dispositivo elétrico, constituído basicamente por uma fonte de energia em corrente contínua e um anodo (elemento a se deteriorar). O seu princípio de funcionamento baseia-se na teoria da compensação. Os elétrons pertencentes às grelhas metálicas que são perdidos pelos processos de oxidação são repostos pela introdução forçada de corrente elétrica contínua, em sentido contrário ao sentido da reação de oxidação. Como a intensidade desta corrente elétrica é da ordem de miliampéres torna-se perfeitamente viável a utilização de painéis solares para alimentação do protetor catódico.

Os protetores catódicos a energia solar são de pequenas dimensões e os modelos disponíveis no mercado utilizam módulos fotovoltaicos de potência em geral não superior a 10Wp. Os modelos mais sofisticados integram em uma única peça o painel solar, a bateria que permite o funcionamento ininterrupto do sistema e o sistema eletrônico de controle e proteção. A peça oferecida desta maneira permite fácil instalação e garante alta funcionalidade. A simplicidade da instalação dos protetores catódicos a energia solar dispensa a contratação de mão-de-obra

especializada, bem como qualquer interrupção da linha de transmissão.

Os protetores catódicos a energia solar podem ser instalados em torres já existentes, procedimento que interrompe imediatamente o processo de corrosão de suas grelhas, ou então, em torres novas, como recomenda o bom senso, aumentando a vida útil das torres e diminuindo acentuadamente manutenções corretivas. Diga-se de passagem a recuperação de grelhas de torres pelos métodos tradicionais (retirada da terra, raspagem, repintura e recolocação de terra) é extramente onerosa e movimenta equipes numerosas para a sua execução.

O mercado também oferece protetores catódicos que funcionam baseados no princípio da indução. Estes protetores são, no entanto, de custo mais elevado que os similares operados com energia solar fotovoltaica. O processo de instalação também é muito mais complexo e exige mão-de-obra especializada.

4.2. SINALIZADORES AÉREOS

O Ministério da Aeronáutica através de sua Portaria 1.141-GM5 de 8 de Dezembro de 1987 estabelece os critérios para sinalização de advertência em objetos localizados em áreas de proteção aérea, prevendo os tipos de sinalizadores a serem utilizados.

As torres de linhas de transmissão que cortam áreas de proteção aérea são objetos que devem obrigatoriamente serem sinalizados, para uso diurno e noturno, visando a segurança dos pilotos de aeronaves e a integridade física das torres e da própria linha de transmissão.

A sinalização diurna de torres de transmissão é feita, até um determinado porte de torre, através de pintura. Para operação noturna o Ministério da Aeronáutica pede a instalação de um dispositivo sinalizador luminoso.

Os dispositivos sinalizadores são equipamentos eletrônicos que emitem lampejos luminosos, de duração e intervalo determinados pela Portaria 1.141-GM5. Os modelos mais sofisticados fazem uso de grupos ópticos constituídos por elementos em estado sólido (leds) de alta vida útil e baixíssimo consumo elétrico. Os modelos tradicionais utilizam lâmpadas de xenon. Os sinalizadores devem ser instalados de modo a identificar o ponto mais alto da torre.

A única alternativa viável para alimentação elétrica de sinalizadores aéreos em torres de linhas de

transmissão é o uso de energia solar fotovoltaica. Dependendo do porte do sinalizador os painéis solares são ou não integrados ao próprio equipamento. Sinalizadores de 2.000 candelas (média intensidade), utilizados para torres de altura superior a 45m, exigem algo como 200Wp de potência em painéis solares. Sinalizadores de 40 candelas (baixa intensidade), utilizados em torres de até 45m de altura, exigem em geral painéis solares de apenas 5Wp.

O mercado oferece, para dispositivos de baixa intensidade (até 40 candelas), boas opções de sinalizadores com painéis solares já integrados em uma única peça. Para sinalizadores de média intensidade o arranjo solar fotovoltaico é geralmente instalado em uma das faces da torre, em nível intermediário, fixada através de uma estrutura adequada que confere resistência mecânica e permite ajustes de inclinação e posicionamento dos painéis solares. Junto aos painéis solares é instalado um banco de baterias para operação noturna do sinalizador. Das baterias sobe um cabo, acondicionado dentro de eletrodutos, até o sinalizador.

4.3. TRANSMISSÃO DE DADOS REMOTOS

O controle em tempo real de todas as variáveis que influenciam o desempenho de uma linha de transmissão é fundamental no gerenciamento de equipes de manutenção e no tempo de envio destas equipes até o local de uma ocorrência.

Os dados coletados de uma linha de transmissão, como por exemplo; temperatura de operação dos cabos, umidade relativa do ar, velocidade do vento, entre outros, são importantes informações para se diagnosticar falhas de funcionamento bem como prevenir acidentes de operação.

Os dados para serem confiáveis devem ser coletados ao longo de todo o percurso da linha de transmissão, de preferência em vários pontos. A coleta destes dados é feita com o uso de transdutores elétrico-eletrônicos que convertem as variáveis que desejamos analisar em sinais elétricos. Para que tais transdutores funcionem é de fundamental importância a presença de uma fonte de energia em corrente contínua. A energia solar fotovoltaica mais uma vez se enquadra perfeitamente para alimentar os transdutores e também os sistemas de transmissão de dados, em geral equipamentos de rádio frequência UHF-VHF.

A confiabilidade de um sistema de coleta de dados em tempo real deve ser absoluta. O sistema deverá estar

disponível 24 horas/dia. Somente a energia solar fotovoltaica pode garantir tamanha confiabilidade.

4.4. OUTROS DISPOSITIVOS

Dois outros dispositivos elétrico-eletrônicos que já vem sendo operados em linhas de transmissão com uso de energia solar são as chaves seccionadoras remotas e os dispositivos de advertência de descargas atmosféricas. O primeiro é acionado da mesa de operação da concessionária e visa desconectar/conectar trechos de uma linha de transmissão, seja para uma operação de manutenção, seja para desviar a energia para um outro determinado ramal. São operados através de um mecanismo servoacionado alimentado com uso de energia solar fotovoltaico.

Os sistemas de detecção de descargas atmosféricas são sistemas que identificam a formação e o avanço de tempestades, bem como calculam a intensidade das descargas atmosféricas. São compostos por um grupo de antenas e receptores, instalados adequadamente para abranger uma determinada região. As linhas de transmissão cobertas pelo sistema de detecção podem se beneficiar das informações obtidas para eventuais operações de envio de equipes de manutenção corretiva em trechos da linha de transmissão atingidas e danificadas por descargas atmosféricas. Como todos equipamentos do sistema são dispositivos eletrônicos, e como sua instalação é feita em locais remotos, mais uma vez a energia solar fotovoltaica poderá contribuir.

5.0. CONCLUSÃO

A aplicação da energia solar fotovoltaica é condicionante na operação e viabilidade de dispositivos elétrico-eletrônicos instalados em linhas de transmissão visando a prevenção de acidentes e a melhora na manutenção.

Cada vez mais as concessionárias de energia devem se preocupar com a operação e manutenção de suas linhas de transmissão. Somente o uso de técnicas avançadas, que inclui todos os dispositivos elétrico-eletrônicos distribuídos ao longo da linha de transmissão, poderá garantir uma qualidade adequada na operação, reduzindo os custos de manutenção e os acidentes provocados por falhas.

Outras modalidades de energia até podem, ou poderão dependendo do avanço tecnológico, ser utilizadas para alimentação de dispositivos elétrico-eletrônicos instalados em linhas de transmissão, mas nunca com a

mesma confiabilidade que a energia solar fotovoltaica proporciona.

A idéia da energia solar fotovoltaica associada com linhas de transmissão foi mostrada aqui apenas com alguns exemplos de aplicação. Outros muitos poderão ser implantados utilizando a mesma filosofia que norteou o desenvolvimento dos dispositivos ora em funcionamento.

6.0. BIBLIOGRAFIA

- (1) U. S. DEPARTMENT OF ENERGY BY THE SOLAR ENERGY RESEARCH INSTITUTE. Photovoltaic Fundamentals. Estados Unidos.
- (2) SIEMENS SOLAR INDUSTRIES. Photovoltaic Technologie and Training Manual. Estados Unidos.
- (3) MÜLLER, F., DA SILVA, L. P. Photovoltaic Cells in Cathodic Protection. Brasil.
- (4) PASTORELLO, W. Sinalização Noturna em Linhas de Transmissão. Brasil