

PROJETO JAÍBA SOLAR: DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL – OBJETIVOS, METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO E TECNOLOGIAS EMPREGADAS

Rafael Junqueira – rafaalcjunqueira@gmail.com

Nara Rúbia Dante de Godoy – nara.godoy@ceienergetica.com.br

Maria Tereza Diniz Carneiro – mariateresa.diniz@ceienergetica.com.br

Michel Pierre Viloz – mvilloz@dynatex.ch

Luís Guilherme Monteiro Oliveira – luis.monteiro@ceienergetica.com.br

CEI Solar Empreendimentos Energéticos

Marco Antonio Galdino – marcoag@cepel.br

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica / ELETROBRÁS

Resumo. O projeto “Jaíba Solar” é um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento que nasceu da chamada 013/2011 da ANEEL, denominada “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”. Este projeto tem como um dos objetivos a instalação de uma usina solar de 3 MWp na cidade de Jaíba, Minas Gerais, que contemple diferentes tecnologias fotovoltaicas a fim de se concluir sobre a viabilidade e aplicabilidade das mesmas no Brasil. Inicialmente este artigo traz os objetivos gerais do projeto. A seguir é detalhada a metodologia empregada para definição do local da planta, que passou por análise e varredura de dados de irradiação solar oriundos do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006). Em seguida são detalhadas as tecnologias que serão empregadas na planta, todas elas tecnologias fotovoltaicas, mas com diferenciação quanto à irradiação solar aproveitada (normal ou global) e à estrutura de suporte (fixa, ajustável ou móvel em dois eixos).

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, P&D ANEEL, Usina Solar, Jaíba, Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

1. INTRODUÇÃO

A inserção da energia fotovoltaica como fonte de energia renovável na matriz energética brasileira, apesar de ainda não ser considerada viável economicamente pela grande maioria, nos últimos anos tem ganhado destaque considerável no cenário nacional em um momento em que muito se fala em diversificação da matriz energética e geração distribuída. Esta viabilidade econômica deve ser reconsiderada a todo o momento, levando em consideração cada nova informação e medidas adotadas por diversos atores, como, por exemplo, recentes desonerações de impostos que vem sendo aplicadas em vários estados do Brasil, como, por exemplo, Minas Gerais, onde foi anunciada isenção total de ICMS relativo ao fornecimento de energia gerada e compra de equipamentos para usinas fotovoltaicas, pelo prazo de 10 anos.

Para a inserção de uma nova fonte na matriz energética é necessário amplo conhecimento do recurso natural envolvido e das tecnologias disponíveis para aproveitamento do mesmo. Em relação ao recurso natural, sabe-se que o Brasil é um país privilegiado em termos de radiação solar, e o mapeamento dos melhores locais já foi feito por alguns trabalhos pioneiros de medições e estimações da irradiação solar incidente sobre o território brasileiro. Entretanto, é necessária ainda uma maior qualidade na coleta dos dados solarimétricos, que exige uma ampla densidade de estações de medições. No momento atual não é possível ainda contar com tais dados de alta precisão, e cabe aos envolvidos na área procurarem por formas de analisar o potencial das regiões com os recursos que estão agora disponíveis.

As tecnologias para conversão da energia solar em energia elétrica estão em constante aprimoramento, mas por outro lado já existem tecnologias consolidadas e com produção mundial em larga escala, como a tecnologia tradicional de módulos fotovoltaicos de Silício cristalino. Mesmo apresentando altos níveis de irradiação solar, o país possui condições climáticas bem diferentes de países europeus, China, Estados Unidos, Canadá e outros onde o aproveitamento da energia solar fotovoltaica já está consolidado. Por isto a experimentação das tecnologias é tão necessária, verificando-se quais se adaptam melhor nas condições brasileiras.

Este artigo visa relatar as atividades relacionadas ao projeto de Pesquisa e Desenvolvimento intitulado “Jaíba Solar” e os resultados obtidos até o momento. Este é um dos projetos oriundos da Chamada 013/2011 da ANEEL denominada de “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”. São aqui analisadas questões relacionadas à escolha do local da planta fotovoltaica de 3MWp a ser construída como produto deste projeto e às várias tecnologias que serão empregadas visando fornecer resultados reais quanto à aplicabilidade das mesmas no Brasil, levando-se em conta aspectos técnicos e econômicos.

2. O PROJETO

De acordo com o Manual do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, (Manual de P&D, versão 2008), “*um projeto estratégico compreende pesquisas e desenvolvimentos que coordenem e integrem a geração de novo conhecimento tecnológico em subtema de grande relevância para o setor elétrico brasileiro, exigindo um esforço conjunto e coordenado de várias empresas de energia elétrica e entidades executoras*”.

A chamada 013/2011 da ANEEL (P&D Estratégico), tem como objetivos estimular projetos solares fotovoltaicos e incentivar a geração de energia a partir deste tipo de fonte no país. Por parte dos executores e empresas participantes de projetos desta chamada, são esperados resultados significativos nos seguintes aspectos: viabilidade econômica e redução de custos de sistemas fotovoltaicos, incentivo à cadeia produtiva e nacionalização das tecnologias, treinamentos e capacitação técnica, capacitação laboratorial, identificação de possibilidades de otimização dos recursos energéticos e proposição de aperfeiçoamentos regulatórios e/ou desonerações tributárias. Foram aprovados pela ANEEL a execução de 18 projetos, totalizando 24,6 MWp em instalações solares fotovoltaicas em todo o Brasil, a um custo estimado total de mais de R\$400 milhões.

O Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento em questão no presente artigo é o de nº PD-0394-1113/2011, que possui como proponente a empresa FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A, a CEI Solar, FINATEC e FDTE como Executoras juntamente com outras empresas como cooperadas ou parceiras dentre elas: CEMIG GT, CEMIG D, LIGHT Energia, TAESA, CEPEL/ELETROBRÁS, COPEL, BAESA, ENERCAN, CERAN, Foz do Chapecó, Transleste, Transudeste, Transirapé. O projeto inclui a construção e operação de uma Usina Solar Fotovoltaica de 3MWp como produto.

2.1 Objetivos do projeto

Os objetivos deste Projeto são:

- Construir uma usina solar fotovoltaica (UFV) conectada à rede elétrica com capacidade instalada de 3MWp, constituída de diferentes tecnologias: tecnologia fotovoltaica tradicional, ou seja módulos fotovoltaicos de Silício cristalino (c-Si), montados sobre (1) estruturas metálicas fixas, (2) sobre estruturas metálicas com ângulo de inclinação ajustável e (3) sobre rastreadores em dois eixos; além de um sub-sistema com (4) a tecnologia CPV (*Concentrated Photovoltaics*), esta tecnologia sendo obrigatoriamente montada sobre rastreador móvel em dois eixos. Após o início da operação da UFV objetiva-se, ainda, a comparação custo x benefício entre os diversos sistemas;
- Desenvolver metodologia de projeto básico e executivo da usina, contendo todas as etapas necessárias ao planejamento, projeto, construção, operação e comercialização da energia produzida pela mesma;
- Criar inventário dos locais mais adequados à instalação de usinas solares fotovoltaicas no Estado de Minas Gerais, considerando radiação solar de diferentes bases de dados;
- Desenvolver conhecimento na operação destas plantas, identificando as características dos profissionais necessários, assim como a carência existente;
- Criar cursos de capacitação profissional em universidades, escolas técnicas e empresas, para capacitar profissionais a exercerem as atividades mencionadas acima;
- Monitorar o desempenho das diferentes tecnologias instaladas na usina, fazendo uma análise de produção anual, custo de instalação, custo de manutenção e retorno do investimento;
- Desenvolver uma caixa de junção nacionalizada e a custos competitivos internacionalmente.
- Desenvolver a cadeia de produção das estruturas metálicas mais adequadas às condições brasileiras.
- Propor e justificar aperfeiçoamentos regulatórios e/ou desonerações tributárias que favoreçam a viabilidade econômica da geração solar fotovoltaica, assim como o aumento da segurança e confiabilidade do suprimento de energia.
- Propor atualizações e mudanças na legislação pertinente em conjunto com as concessionárias de energia participantes deste projeto, incluindo geração, conexão e uso da rede e comercialização da energia gerada, bem como as possibilidades e implicações socioeconômicas e ambientais de mudança no marco regulatório.
- Buscar alternativas de receitas e otimização de custos a fim de contribuir na viabilidade econômica desta fonte no país.
- Avaliar os impactos sócio-ambientais da instalação destas plantas.
- Cumprir o prazo de 36 meses apresentado pela chamada. O projeto proposto foi desenhado de maneira a garantir a implantação da planta até o mês 24, tendo assim pelo menos mais 12 meses para avaliação de cada um dos sub-sistemas.

3. METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO

A premissa do projeto, desde sua proposição à ANEEL, era que a planta fotovoltaica estivesse localizada no estado de Minas Gerais. A razão dessa premissa é o fato da CEI Solar e CEMIG estarem localizadas em Minas Gerais, sendo a primeira a responsável pela elaboração da proposta, e a segunda, a primeira empresa a confirmar a participação no projeto. Partindo desta premissa, o primeiro passo feito foi a análise do potencial solar em todo o país através da irradiação solar, levando-se em conta aspectos climáticos, e tendo como maior foco o estado de Minas Gerais. Está aqui descrita a metodologia adotada levando-se em conta a avaliação do recurso solar (irradiação solar), que foi o fator determinante para a escolha do local. Ressalta-se que foram levados em conta outros aspectos climáticos como temperatura, altitude, velocidade e direção do vento, umidade relativa e precipitação, por também serem relevantes. A análise destes outros aspectos poderá ser melhor descrita em um outro trabalho.

A análise do recurso solar foi baseada essencialmente no Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira, et al., 2006), desenvolvido dentro do escopo do projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment, em inglês*), um programa científico que objetivou elaborar uma base de dados confiável dos recursos da energia solar e eólica. O levantamento foi feito utilizando-se o modelo BRASIL-SR, um modelo físico para obtenção de estimativas da radiação solar incidente na superfície. O modelo BRASIL-SR foi baseado no modelo físico IGMK (Alemanha) e transferido ao Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) no contexto de um acordo de cooperação. Este modelo pressupõe que as nuvens são o principal fator de modulação do fluxo de radiação solar que atinge a superfície. O modelo foi ainda alimentado por dados climatológicos e de 10 anos de informações extraídas de imagens de satélite geostacionário e validado por dados coletados em estações de superfície.

A confiabilidade destes dados gerados por modelos radiativos é inferior à de dados medidos por estações meteorológicas terrestres. Porém, para distâncias superiores a 45km do ponto de medição, os dados oriundos de modelos que utilizam imagens de satélite apresentam confiabilidade maior do que dados gerados por interpolação de medições por equipamentos (Pereira et al., 2006). E, como no Brasil a densidade de estações de medição é baixa, a base de dados gerada pelo Atlas se mostra a fonte mais confiável para casos em que não existem dados de medição no local ou nas proximidades.

O Atlas em questão abrange todo o território brasileiro, sendo que sua base de dados está num formato matricial. A resolução espacial dos dados disponíveis é de 10 km em 10 km. Cada ponto da matriz está expresso através de uma coordenada geográfica (latitude e longitude) e possui dados de irradiação solar no plano horizontal, no plano inclinado e direta, dados em valores de média por mês e média anual.

A Fig. 1 apresenta a distribuição da irradiação solar diária média anual no território brasileiro, no plano horizontal, assim como a Fig. 2 apresenta a distribuição no plano inclinado (Pereira et al., 2006).

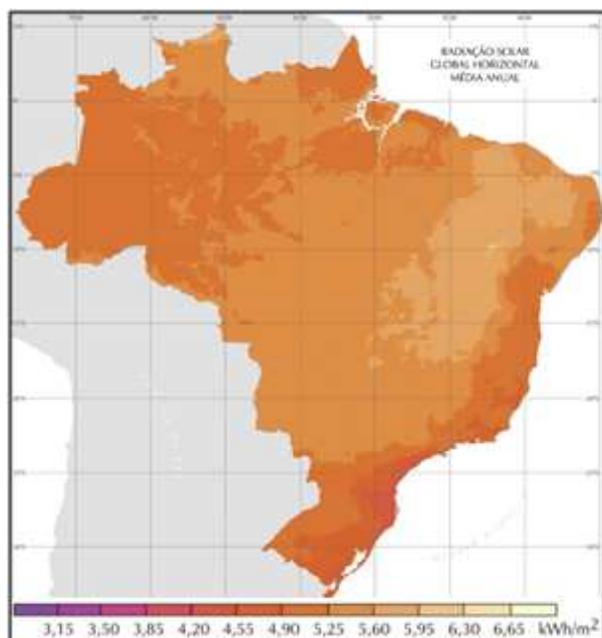


Figura 1 – Mapa de radiação solar no Brasil no plano horizontal: média diária anual (Pereira et al., 2006).

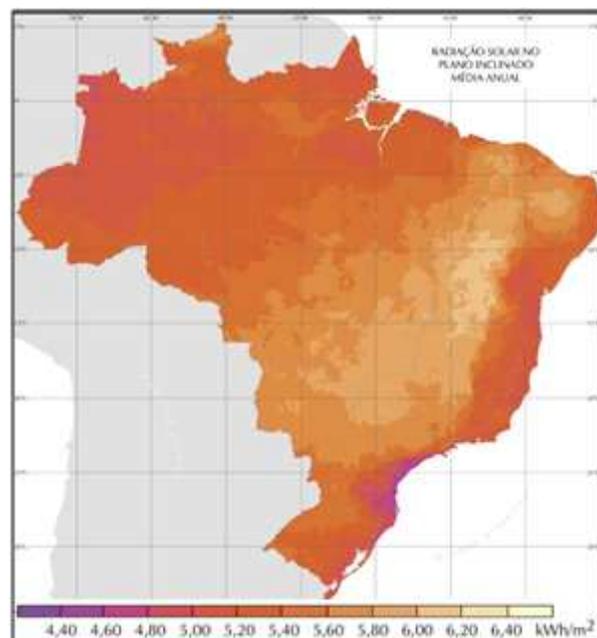


Figura 2 – Mapa de radiação solar no Brasil no plano inclinado: média diária anual (Pereira et al., 2006)

A Tab. 1 mostra a média anual de irradiação solar no plano inclinado (com o ângulo de inclinação igual à latitude do local) e horizontal de alguns dos melhores municípios do Brasil, obtidos após análise dos dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar. Destaca-se que, segundo esta análise, Canabrava, na Bahia, é o melhor ponto do país em termos de irradiação solar no plano inclinado.

Tabela 1 – Média anual de irradiação solar de municípios com destaque do Brasil

Cidade, Estado	Irradiação Solar no plano inclinado (kWh/m ² .dia.ano)	Irradiação Solar no plano horizontal (kWh/m ² .dia.ano)
Canabrava, BA	6,1001	5,9404
Remanso, BA	6,0793	5,9598
Jaíba, MG	6,0190	5,7801
Tauá, CE	5,6727	5,6209

Foi realizada ainda, especificamente para o território de Minas Gerais, uma varredura na base de dados disponibilizada pelo Atlas em questão, limitada aos pontos internos ao estado, conforme Fig. 3. Os limites foram definidos como os vértices do polígono em vermelho na Fig. 3, sendo eles os pontos de coordenadas: i) 51° Oeste, 18° Sul; ii) 48° Oeste, 18° Sul; iii) 48° Oeste, 14° Sul; iv) 40° Oeste, 14° Sul; v) 40° Oeste, 23° Sul; vi) 48° Oeste, 23° Sul; vii) 48° Oeste, 20° Sul e viii) 51° Oeste, 20° Sul.

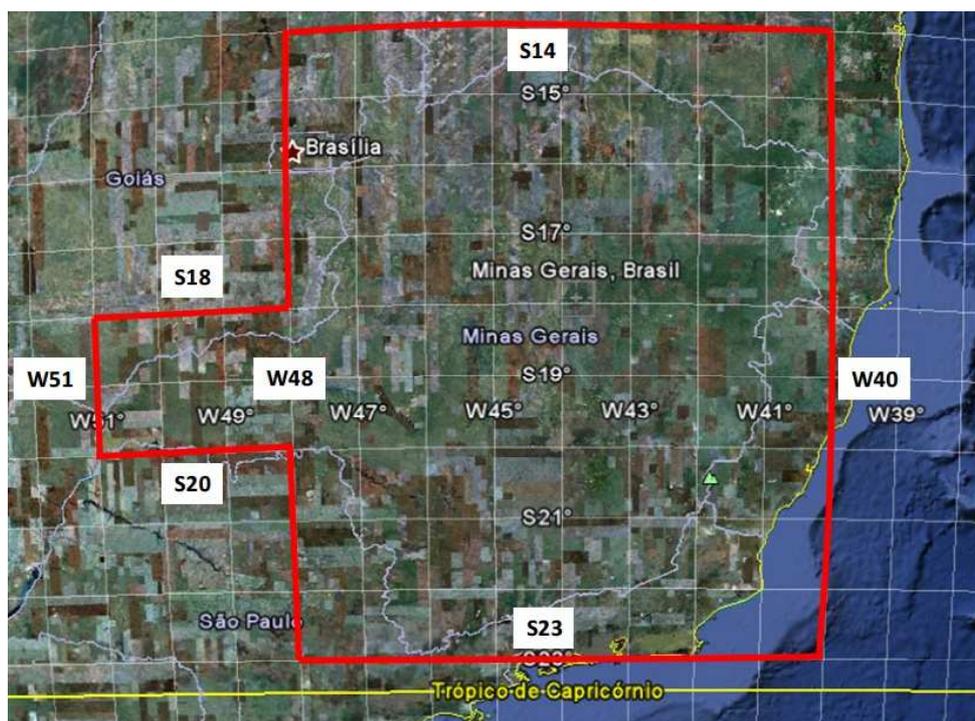


Figura 3 – Limites considerados para análise da irradiação solar no território de Minas Gerais

A conclusão desta análise foi que Jaíba é o município com a maior incidência de radiação solar anual do estado, tanto em termos da radiação solar no plano horizontal (Tab. 2) quanto para a radiação solar no plano inclinado (Tab. 3). Foi ainda realizada uma comparação de Jaíba com Canabrava, melhor ponto do Brasil. A conclusão foi que para a irradiação solar no plano inclinado, Jaíba possui uma média anual 1,35% inferior a Canabrava. Para a irradiação solar no plano horizontal, a média anual de Jaíba é 2,77% inferior à Canabrava.

Tabela 2 – Ranking dos municípios com maiores índices de irradiação solar no plano horizontal (média diária anual) no estado de Minas Gerais.

Posição	Cidade	Latitude	Longitude	Irradiação Solar no plano horizontal (kWh/m ² .dia.ano)
1	Jaíba	-15,13	-44,00	5,7801
2	Monte Azul	-15,14	-42,87	5,7469
3	Montalvânia	-14,42	-44,37	5,7415
4	Janaúba	-15,80	-43,3	5,7274
5	Manga	-14,75	-43,94	5,6956

6	Itacarambi	-15,10	-44,09	5,6733
7	Mato Verde	-15,39	-42,87	5,6471
8	Januária	-15,50	-44,36	5,6194
9	Espinosa	-14,90	-42,81	5,5942
10	Porteirinha	-15,70	-43,02	5,5640

Tabela 3 – Ranking dos municípios com maiores índices de irradiação solar no plano inclinado (média diária anual) no estado de Minas Gerais.

Posição	Cidade	Latitude	Longitude	Irradiação Solar no plano inclinado (kWh/m ² .dia.ano)
1	Jaíba	-15,13	-44,0	6,0190
2	Janaúba	-15,8	-43,3	5,9744
3	Montalvânia	-14,42	-44,37	5,9607
4	Monte Azul	-15,14	-42,87	5,9521
5	Manga	-14,75	-43,94	5,9283
6	Itacarambi	-15,1	-44,09	5,9001
7	Mato Verde	-15,39	-42,87	5,8689
8	Januária	-15,5	-44,36	5,8644
9	Varzelândia	-15,77	-44,02	5,8102
10	Espinosa	-14,9	-42,81	5,8010

4. TECNOLOGIAS EMPREGADAS

Um dos objetivos deste projeto é o estudo de diferentes tecnologias fotovoltaicas, de modo a serem obtidos resultados práticos acerca do desempenho de cada uma. Assim, serão testadas 2 diferentes tecnologias fotovoltaicas, aplicadas em 4 subsistemas diferentes.

4.1 Módulos fotovoltaicos de Silício Cristalino

A geração de energia através de células de silício cristalino é uma tecnologia consolidada e disseminada em vários países. Apresenta cadeia produtiva consolidada e com capacidade de produção em larga escala. No Brasil, as primeiras instalações fotovoltaicas, sejam para eletrificação rural, iluminação pública ou sistemas conectados à rede elétrica utilizam esta tecnologia. É, portanto, a tecnologia de entrada, o carro chefe da energia solar fotovoltaica. Por todos estes motivos, a maior parte da planta a ser construída neste projeto faz uso desta tecnologia. Não há restrição quanto ao tipo de Silício utilizado, podendo ser do tipo monocristalino ou policristalino, que são comuns no mercado, e que atenda às normalizações vigentes (programa de etiquetagem Inmetro).

Dentro da tecnologia de módulos de silício cristalino utilizada neste projeto, há três configurações estruturais que se diferenciam.

4.1.1 Módulos Fotovoltaicos sobre estrutura fixa

De um total de 3MWp da planta fotovoltaica, serão instalados 1,9MWp em módulos fotovoltaicos dispostos em estruturas metálicas fixas. É a forma mais usual de se instalar os módulos e que requer menores esforços de operação e custos associados a manutenções. Estudos preliminares indicam que a inclinação ótima dos módulos neste local é de 20° para Norte, sendo o ângulo ótimo ainda a ser confirmado pelos estudos realizados na etapa de projeto.

Atualmente, o Brasil apresenta somente usinas de grande porte instaladas sobre estrutura fixa como indicado na Fig. 4.



Figura 4 – Usina Fotovoltaica em Tauá, CE

4.1.2 Módulos Fotovoltaicos sobre estrutura fixa com ângulo de inclinação ajustável

Estudos preliminares indicam que estruturas com ângulo de inclinação ajustável podem aumentar significativamente a produção anual, e, portanto serão instaladas e avaliadas a fim de concluir-se sobre as vantagens de se utilizar tais estruturas, avaliando-se os ganhos e custos adicionais. É necessário, entretanto, avaliar se os custos adicionais de fabricação e operação serão justificados pelo incremento de energia, o que é um dos objetivos do projeto.

Foi definido que 0,5 MWp da planta serão instalados sobre estruturas com esta opção de ajuste, ao contrário da forma anterior, que fixa a inclinação em ângulo determinado (aproximadamente 20°). Esta configuração permite que os módulos tenham seu ângulo de inclinação ajustados de acordo com percurso do Sol ao longo do dia, percurso este que é diferente em diferentes épocas do ano. Esta diferença se dá devido à inclinação no eixo de rotação da Terra em relação à eclíptica (plano da órbita ao redor do sol). Esta inclinação faz com que o ângulo de incidência dos raios solares varie ao longo do movimento de translação da Terra. Este é também o motivo da existência das diferentes Estações do Ano.

Para a escolha dos ângulos de inclinação e do número de ajustes anuais necessários, foram realizadas simulações de um sistema hipotético de 50 kWp instalado na região da planta. Foram pré-definidos inicialmente 7 ângulos de inclinação possíveis, que resultam em um total de 8 ajustes anuais necessários. Os ângulos pré-definidos (-10°, 0°, 10°, 15°, 20° e 30°) foram escolhidos de acordo com a inclinação dos raios solares ao longo do ano na região de Jaíba.

Cada simulação abrange o período de um ano. A energia mensal gerada em cada situação foi então registrada. Desta forma, foi construída a Tab. 4 (a), que coloca lado a lado os resultados mensais obtidos em cada inclinação. Já a Tab. 4 (b) sintetiza os melhores resultados de cada mês para as condições de diferentes números de ajustes na inclinação por ano, sendo: i) 8 ajustes anuais na inclinação dos módulos; ii) 6 ajustes anuais e iii) 4 ajustes anuais. Nas colunas de “6 ajustes” e “4 ajustes”, foi necessário um trabalho de combinação das inclinações para cada mês, otimizando a energia gerada em função do número de ajustes limite.

Tabela 4 – (a) Energia mensal simulada para diferentes ângulos de inclinação dos módulos; (b) Melhores resultados para diferentes números de ajustes anuais.

(a)								(b)		
Energia gerada por mês para vários ângulos de inclinação dos módulos (kWh)								Melhores resultados de acordo com o número de ajustes anuais		
Inclinação (°)	-10	0	10	15	20	30	45	8 ajustes	6 ajustes	4 ajustes
Janeiro	9402	9137	8752	8476	8134	7339	5856	9402	9402	9402
Fevereiro	7554	7591	7516	7428	7308	6959	6209	7591	7554	7554
Março	7369	7665	7865	7892	7869	7674	7029	7892	7865	7674
Abril	6273	6886	7405	7593	7731	7860	7679	7860	7860	7860
Maio	5360	6196	6947	7253	7509	7871	8030	8030	8030	8030
Junho	4468	5279	6030	6343	6612	7013	7269	7269	7269	7269
Julho	4909	5752	6542	6868	7147	7557	7792	7792	7792	7792
Agosto	6157	6911	7572	7826	8028	8272	8238	8272	8272	8272
Setembro	7149	7620	7982	8087	8139	8087	7615	8139	8087	8087
Outubro	8302	8404	8388	8304	8168	7745	6723	8404	8388	8302
Novembro	7335	7197	6975	6809	6610	6087	5027	7335	7335	7335
Dezembro	6972	6769	6490	6291	6058	5496	4438	6972	6972	6972

A Tab. 5 mostra os ganhos na energia anual gerada em relação à condição de ângulo fixo (20°) para cada número de ajustes anuais considerado.

Tabela 5 – Ganhos obtidos com diferentes configurações de ajustes da inclinação

	8 ajustes	6 ajustes	4 ajustes
Energia Anual (kWh)	94957	94826	94549
Ganho (%)	6,32	6,17	5,86

O número de ajustes a ser adotado ainda será definido em função de estudos dos esforços necessários pela mão de obra e pelo aumento na complexidade/custo das estruturas para possibilitar alterações na inclinação. A configuração de 4 ajustes anuais pode ser escolhida por apresentar um ganho total significativo (5,86%) e não muito abaixo das outras configurações, e por significar o menor custo associado de mão de obra e de estruturas. Em uma planta de maior porte, mais que 4 ajustes podem significar aumentos muito significativos nos esforços de operação e na complexidade da estrutura.

4.1.3 Módulos fotovoltaicos em rastreadores (*trackers*)

Uma tecnologia que se mostra muito atraente e com aumento significativo na produção de energia é o rastreador (em inglês *tracker*). Esta tecnologia emprega um mecanismo que se move em dois eixos, acompanhando o percurso solar tanto ao longo do dia como ao longo do ano, e permite que os módulos fotovoltaicos assumam uma orientação normal em relação à radiação solar incidente. Os módulos utilizados serão também de silício monocristalino ou policristalino, a fim de comparar a produção de energia com os módulos dispostos em estruturas fixas. A Fig. 5 mostra uma estrutura deste tipo.

No projeto em questão serão testados 300kWp desta tecnologia, que será comparada às estruturas fixas, estruturas com ângulo ajustável e aos CPV (ver item 4.2). Vale ressaltar que os módulos fotovoltaicos em rastreadores são capazes de aproveitar a radiação solar global, ao contrário dos CPV, para os quais somente a radiação solar direta é aproveitada.

A tecnologia possui custos mais elevados do que estruturas simples por requerer motorização de suas bases e movimentação em dois eixos, que aumentam também os custos de manutenção associados, além de implicar em dispêndio de energia para efetuar o movimento. Com a instalação dos *Trackers* espera-se avaliar o custo benefício desta tecnologia e verificar suas vantagens e desvantagens em relação a tais aspectos.



Figura 5 – Exemplo de rastreador (*tracker*).

4.2 Concentradores Fotovoltaicos (CPV)

Neste projeto será empregada uma tecnologia nunca antes empregada em elevadas potências no Brasil, o chamado CPV (Concentrated Photovoltaics), que colocará o Brasil como um dos países pioneiros neste tipo de aplicação para elevadas potências conectadas à rede elétrica, tornando-se a primeira UFV do Brasil a empregar este tipo de tecnologia.

Segundo (Viana et al., 2010), “um SFVC típico é composto de elementos ópticos para concentração (*lentes ou espelhos*); células solares de pequena área (*da ordem de mm²*) e alta eficiência; um sistema de resfriamento, ativo ou

passivo, para manter as células em uma temperatura apropriada; um dispositivo mecânico denominado seguidor do Sol, destinado a manter as células sempre normais ao feixe de radiação direta, e um inversor CC-CA, que converte a tensão contínua (CC) do gerador fotovoltaico para tensão alternada (CA) e ser injetada na rede elétrica”.

Embora recentemente esta tecnologia já tenha despertado interesse de alguns pesquisadores no Brasil, já utilizando os dados disponíveis no Atlas Brasileiro de Energia Solar, toda a análise feita até agora foi de identificação das melhores áreas para utilização desta tecnologia no Brasil e o projeto aqui proposto poderá validar efetivamente as previsões teóricas previamente obtidas.

Ainda segundo (Viana et al., 2010), “uma porção considerável da área do país (cerca de 25%, correspondente a 2,3 milhões de km²), os SFVC [Sistemas Fotovoltaicos com Concentradores] podem ser competitivos com os SFV [Sistemas Fotovoltaicos] convencionais, sem concentração. Aos preços atuais, acredita-se que somente em locais com níveis de irradiação direta normal acima de 1.800 kWh/m²/ano sejam apropriados para SFVC. Entretanto, outros estudos demonstram que, com o declínio do custo, essa tecnologia fotovoltaica pode ser uma opção importante e que os SFVC podem se tornar competitivos em termos de custo, mesmo em locais com níveis de irradiação direta normal a partir de 1.400 kWh/m²/ano”.

A Fig. 6 mostra o mapa do total anual de irradiação direta normal, em kWh/m²/ano (Viana et al., 2010). Por este mapa pode-se ver que Jaíba está numa região de altíssimos níveis de irradiação direta normal. Confirmando esta análise, o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais cita particularmente a região de Jaíba, Janaúba e Espinosa como a mais bem dotada deste recurso em Minas Gerais, com níveis de irradiação direta normal na faixa de 2.200 a 2.400 kWh/m² ao ano (6,03 a 6,58 kWh/m²/dia/ano).

Estes elevados índices tem papel motivador muito importante na exploração da tecnologia CPV neste projeto, com a expectativa de resultados de geração muito significativos. Serão 300kWp instalados com a tecnologia CPV, de fabricantes ainda a serem definidos. Serão comparados o desempenho e os custos deste sistema de 300kWp em CPV com o sistema de módulos fotovoltaicos com rastreadores (ver item 4.1.3), não por acaso ambos possuindo a mesma potência nominal de 300kWp.

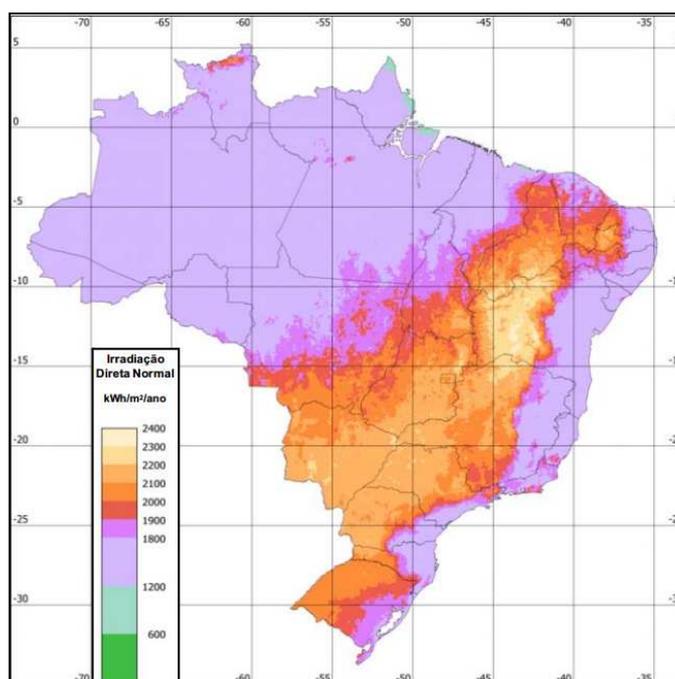


Figura 6 – Irradiação Solar Direta Normal em kWh/m²/ano no Brasil. (Viana et al., 2010)

5. CONCLUSÕES

O aproveitamento da geração solar fotovoltaica no Brasil será testado neste projeto para diferentes tecnologias e aplicações das mesmas. A escolha do local da planta, Jaíba/MG foi feita com base em estudos do Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al., 2006), que indicaram vocação solar para a região. O potencial da região foi confirmado pelo Atlas Solarimétrico de Minas Gerais. São esperados resultados promissores, que incentivem o uso da energia solar fotovoltaica não só na região escolhida como em grande parte do Brasil, que possui, assim como Jaíba, elevado potencial para o aproveitamento do recurso solar (ver Fig. 1, Fig. 2 e Fig. 6).

Resultados preliminares já foram obtidos para cada subsistema através de simulações utilizando o *software* PVSyst, programa internacionalmente utilizado para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.. A Tab. 6 mostra a estimativa da produção específica de cada subsistema simulado no *software*, na unidade kWh/kWp/ano.

Tabela 6 – Produção específica de cada subsistema obtida em simulações preliminares e não definitivas

Subsistema	Produção específica (kWh/kWp/ano)
Estrutura fixa tradicional (inclinação de 20°)	1647
Estrutura com ângulo de inclinação variável (8 ajustes/ano)	1899
Estrutura com ângulo de inclinação variável (6 ajustes/ano)	1896
Estrutura com ângulo de inclinação variável (4 ajustes/ano)	1891
Estrutura com seguidores (<i>trackers</i>)	2172
Concentradores Fotovoltaicos (CPV)	2069

Os dados da Tab. 6 serão revisados e revalidados conforme forem definidos os módulos fotovoltaicos, concentradores e inversores a serem utilizados, bem como a configuração final da planta que, nesta data, encontra-se em fase de elaboração.

A produção de energia adicional dos subsistemas variantes da aplicação tradicional precisará ser analisada à luz do benefício econômico que proverá. Significa dizer que este projeto precisará validar o custo total de cada subsistema *versus* a produção de energia que o mesmo promove. Apenas após entendimento dos custos totais relativos a cada subsistema, o que inclui custo com equipamentos, estruturas civis e balanceamento do sistema, e medição da produção real de energia é que se terá condição de avaliar a maior ou menor viabilidade econômica de cada uma dessas tecnologias e aplicações nas condições brasileiras, objetivo deste projeto.

A diversidade de tecnologias e configurações da planta solar fotovoltaica em questão fará da mesma um verdadeiro laboratório “a céu aberto”, onde poderão ser comparados e estudados aspectos diversos relativos à tecnologia fotovoltaica. Espera-se que este projeto sirva de grande aprendizado para os participantes e que incentive fortemente o uso da energia solar no Brasil, consolidando o enorme potencial da fonte no país.

Agradecimentos

Trabalho desenvolvido no âmbito da Chamada Estratégica 13 do Programa de P&D Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética – SPE. Chamada N° 013/2011: Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”. Brasília, 2011.
- BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. Portaria n° 004, de 04 de janeiro de 2011
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Rio de Janeiro, 2012
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Atlas Solarimétrico de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Rüther, R., 2006. Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE, São José dos Campos, ISBN 978-85-17-00030-0.
- Viana, T. S., Rüther, R., Martins, F. R., Pereira, E. B., 2010, Potencial de geração fotovoltaica com concentração no Brasil.

JAIBA SOLAR PROJECT: SOLAR ENERGY DEVELOPMENT IN BRAZIL – OBJECTIVES, LOCAL DEFINITION METHODOLOGY FOR PLANT INSTALATION AND TECHNOLOGIES APPLIED

Abstract. “Jaíba Solar” is a Research and Development project that was created based on the ANEEL’s Reserch and Development Regulation 013/2013, named “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira” (Technical and Commercial Arrangements for Photovoltaic Solar Energy Insertion in the Brazilian Energy Matrix). This project has as one of the objectives the installation of a solar power plant of 3MWp in the city of Jaíba, Minas Gerais, covering different photovoltaic technologies in order to conclude on its feasibility and applicability in Brazil. Initially, this paper provides the overall project objectives. Then the used methodology is detailed for defining the location of the plant , which included analysis and scanning of the solar irradiation data provided by “Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006)” (Brazilian Atlas of Solar Energy). Finally the technologies that will be employed in the plant are detailed, all of them photovoltaic technologies, but with differentiation to the solar radiation type used (normal or global) and the support structure (fixed, adjustable or adjustable in two axes).

Key words: Solar Photovoltaic Energy, R&D ANEEL, Solar Power Plant, Jaíba, Grid-Connected Photovoltaic Systems.