

# ANÁLISE DO POTENCIAL DO RECURSO SOLAR NA BAHIA A PARTIR DE SOFTWARE DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA BASEADO NA WEB

**Lucas C. C. Imperial** – lucas.imperial@outlook.com  
Centro Universitário Jorge Amado – Unijorge  
**Oswaldo Soliano Pereira, Ph.D.** – osoliano@cbem.com.br  
Unijorge, Departamento de Engenharia Elétrica  
Centro Brasileiro de Energia e Mudanças Climáticas - CBEM

**Resumo.** *O crescimento do uso de energia renovável figura-se como tendência global. O caráter extremamente emissor e finito das fontes fósseis, além dos preços progressivamente mais competitivos da geração de energia elétrica a partir da energia do sol e ventos, tem levado os investimentos em energias renováveis no Brasil a um aumento considerável. A avaliação do potencial dos recursos é o primeiro passo para viabilizar tais investimentos, informação confiável e de qualidade precisa ser levantada e catalogada, culminando em mapas com potenciais energéticos renováveis: os mapas solarimétricos e eólicos. A evolução do geoprocessamento e da tecnologia da informação permitiu que esses dados geográficos estáticos fossem extrapolados para o mundo digital, abrindo um leque de possibilidades e aplicações, promovendo um processo gradativo de aceleração no emprego dessas fontes e de tecnologias renováveis. O presente trabalho vai utilizar tecnologias computacionais para analisar o potencial energético dos recursos solar e eólico, realizar levantamento em alta resolução espacial do potencial desses recursos disponíveis em dados espaciais públicos disponibilizados em webservices, empregar os dados levantados em sistemas de informação geográfica baseado na WEB e em computação em nuvem para confrontar e compor cenários para uso de tais fontes no estado da Bahia.*

**Palavras-chave:** *Energia Solar, Energia Eólica, Potencial Energético, Sistema de Informação Geográfica (SIG), Geração Distribuída.*

## 1. INTRODUÇÃO

A geração distribuída de energia elétrica, aquela que ocorre a partir de unidades de geração de pequeno porte conectadas ao sistema de distribuição e próximas ao consumo (IEEE, 2000), vêm crescendo nos últimos anos como alternativa de planejamento para suprir a demanda energética e reduzir perdas com o transporte de energia em grande escala por meio das linhas de transmissão. Este tipo de geração de energia tem sido pouco utilizado no País, já que os aproveitamentos eólicos têm sido viabilizados através de leilões, em que são arrematadas fazendas na faixa de 30 MW, das fontes empregadas no planeta têm sido preferidas as renováveis, sobretudo a energia solar, que com forte redução de custos tornou-se a fonte com maior percentual de capacidade adicional instalada na Europa em 2012, segundo dados do EPIA (2013).

No Brasil, regulamentadas a partir de abril de 2012, posteriormente normatizadas pelas concessionárias de energia elétrica em dezembro do mesmo ano, entram em cena a micro e minigeração distribuída a partir de fontes renováveis com centrais de até 1 MW baseado no sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*), através do qual a energia consumida é compensada pela geração local. Além disto, a fonte solar vem se consolidando como uma efetiva opção para os leilões A-5 ou leilões específicos, como já ocorreu no passado com a fonte eólica e de biomassa. Recentemente, em dezembro de 2013, ocorreu o 1º leilão de energia solar no País, no estado de Pernambuco, onde foram contratados 122,82 MW que correspondem a cerca de seis vezes a capacidade instalada em território brasileiro no mesmo período.

Neste contexto, a avaliação do potencial dos recursos renováveis é um fator fundamental para a tomada de decisão inerente aos sistemas renováveis, sejam eles fotovoltaicos ou eólicos, como local de maior aproveitamento energético para implantação de usinas, a tecnologia a ser utilizada, definição da estratégia logística e de transporte, além de adequação as condições ambientais. No apoio a estas questões é que são utilizados os SIGs, softwares de informação geográfica aplicados à área de energia permitindo concentrar informações em torno do espaço geográfico que se deseja estudar.

Este trabalho tem por produto a confecção de mapas temáticos com sobreposição de dados espaciais públicos com a finalidade de fornecer subsídio para análise e decisão de projetos de usinas solares e eólicas de até 30 MW no estado da Bahia. Através do uso de tecnologias de geoprocessamento baseados na WEB e em computação em nuvem, dados de linhas de transmissão e radiação solar global no plano inclinado, fundamental para o uso de sistemas fotovoltaicos, dados de velocidade de vento serão sobrepostos para análise das áreas mais promissoras considerando tais aspectos.

Vale ressaltar que não existe material expressivo com dados específicos sobre o recurso solar para o estado Baiano. Os dois atlas solarimétricos disponíveis para o Brasil (Tiba et al., 2000) e (Pereira et al., 2006) contribuem em caráter preliminar para análise de projetos fotovoltaicos. Em 2012, foi lançado o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais

(CEMIG, 2012) gerando informação específica às necessidades do estado e captação de investimentos. Este artigo propõe-se de forma elementar, com ênfase em energia fotovoltaica, efetuar análise do recurso solar e implantação de usinas, cujos mapas serão disponibilizados livremente em endereço eletrônico na internet.

## **2. METODOLOGIA**

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) possibilita a captação, o armazenamento e a análise de dados espaciais com referência geográfica. Estes dados, armazenados em um banco relacional, são processados resultando em mapas que têm a finalidade de dar suporte a decisões.

O presente projeto de pesquisa utiliza dois SIGs diferentes para realização das análises propostas, o ArcGIS, que funciona em ambiente Desktop e o Global Atlas, software de informação geográfica para solar e eólica baseado na WEB que funciona sob o princípio de computação em nuvem.

### **2.1 Arcgis Desktop**

O ArcGIS para Desktop é um software tradicional, que assim como qualquer SIG, permite criar, editar e analisar conteúdo geográfico. O ArcGIS desktop foi utilizado no projeto para manipulação dos dados a serem empregados no SIG baseado na WEB visto que tais SIGs não dispõem dos mesmos recursos que a versão Desktop.

### **2.2 Global Atlas**

O Global Atlas ([www.irena.org/GlobalAtlas](http://www.irena.org/GlobalAtlas)) permite aos usuários visualizar e sobrepor informações com a finalidade de destacar áreas de oportunidade para o desenvolvimento de projetos de energia renovável. A interface é baseada em uma plataforma que funciona na nuvem, o que permite a publicação dos mapas gerados e armazenados no sistema em qualquer ambiente WEB de forma interativa. O projeto Global Atlas é gerenciado pela Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA).

### **2.3 Base de dados**

Os mapas temáticos foram gerados a partir de dados espaciais públicos de linhas de transmissão e energia solar. As bases de dados utilizadas foram o SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment), base utilizada na elaboração do atlas brasileiro de energia solar e disponibilizada pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em formato shapefile e a base do SIGEL (Sistema de informações Georeferenciadas do Setor Elétrico) mantido pela Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) que disponibiliza os dados em formato KMZ (Keyhole Markup Language).

As estimativas de irradiação solar empregadas neste projeto foram calculadas pelo projeto SWERA mediante ao uso de imagens de satélite e validadas por valores medidos em superfície através de estações solarimétricas distribuídas pelo Brasil. As estações da rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) e da rede PCD (Plataforma de Coleta de Dados), ambas operadas pelo CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do INPE) em conjunto possuem série temporal de medição de dez anos (1995-2005), os mapas possuem resolução espacial de 10 km x10 km.

As informações disponibilizadas pelo SIGEL concernentes as linhas de transmissão estão restringidas, para o estado da Bahia, a dois níveis de tensão, 230 kV e 500 kV. Os níveis de tensão usuais para conexão de centrais geradoras até 30 MW são inferiores aos disponibilizados, no entanto diversos projetos possuem requerimentos de outorga emitidos para 30 MW contabilizam capacidade instalada total superior a 100MW, pois são subdivididos em plantas menores, o que permite análise para conexão em linhas com nível de tensão de 230 kV. Dados mais precisos poderiam ser gerados com a utilização das informações georeferenciadas das redes de subtransmissão e distribuição, das concessionárias de distribuição, não disponíveis publicamente na web.

## **3. ANÁLISE DO POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA BAHIA**

### **3.1 Recurso solar**

Informação de qualidade sobre o recurso solar é fundamental para o dimensionamento de sistemas solares, já que o custo e a confiabilidade do produto final, a energia elétrica, dependem da disponibilidade do recurso. O dimensionamento de uma usina fotovoltaica, que possui os módulos instalados com um ângulo de inclinação em relação ao solo, requer os valores de incidência de radiação solar no plano inclinado.

O Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira, et al., 2005) exhibe uma média anual de irradiação solar global elevada e com boa uniformidade em todo território nacional. O intervalo dos índices de irradiação global corresponde à faixa com mínimo de 4,25 kWh/m<sup>2</sup>, que ocorre em Santa Catarina, e máximo de 6,5 kWh/m<sup>2</sup> no estado da Bahia.

O menor índice de irradiação global brasileiro é superior aos valores encontrados na Europa onde a energia solar fotovoltaica é largamente utilizada. A Alemanha, país que mais usa a energia fotovoltaica com capacidade instalada por volta de 32,4 GW (BSW Solar, 2013), possui níveis de irradiação global entre 0,9 e 1,25 kWh/m<sup>2</sup>.

A Bahia apresenta também maior índice de irradiação solar no plano inclinado com média anual máxima de 6,1 kWh/m<sup>2</sup> na caatinga. Caracterizada por clima semiárido, é na região onde estão concentrados os maiores níveis deste tipo de irradiação ao oeste do estado.

A região litorânea do estado possui índices médios de irradiação solar no plano inclinado em torno de 5,5 kWh/m<sup>2</sup> no Recôncavo, contemplando a capital Salvador e região metropolitana, índices semelhantes são encontrados no norte e sul do estado. Os menores valores se encontram na faixa litorânea central. As observações podem ser constatadas no mapa de irradiação solar no plano inclinado apresentado na Fig. 1.

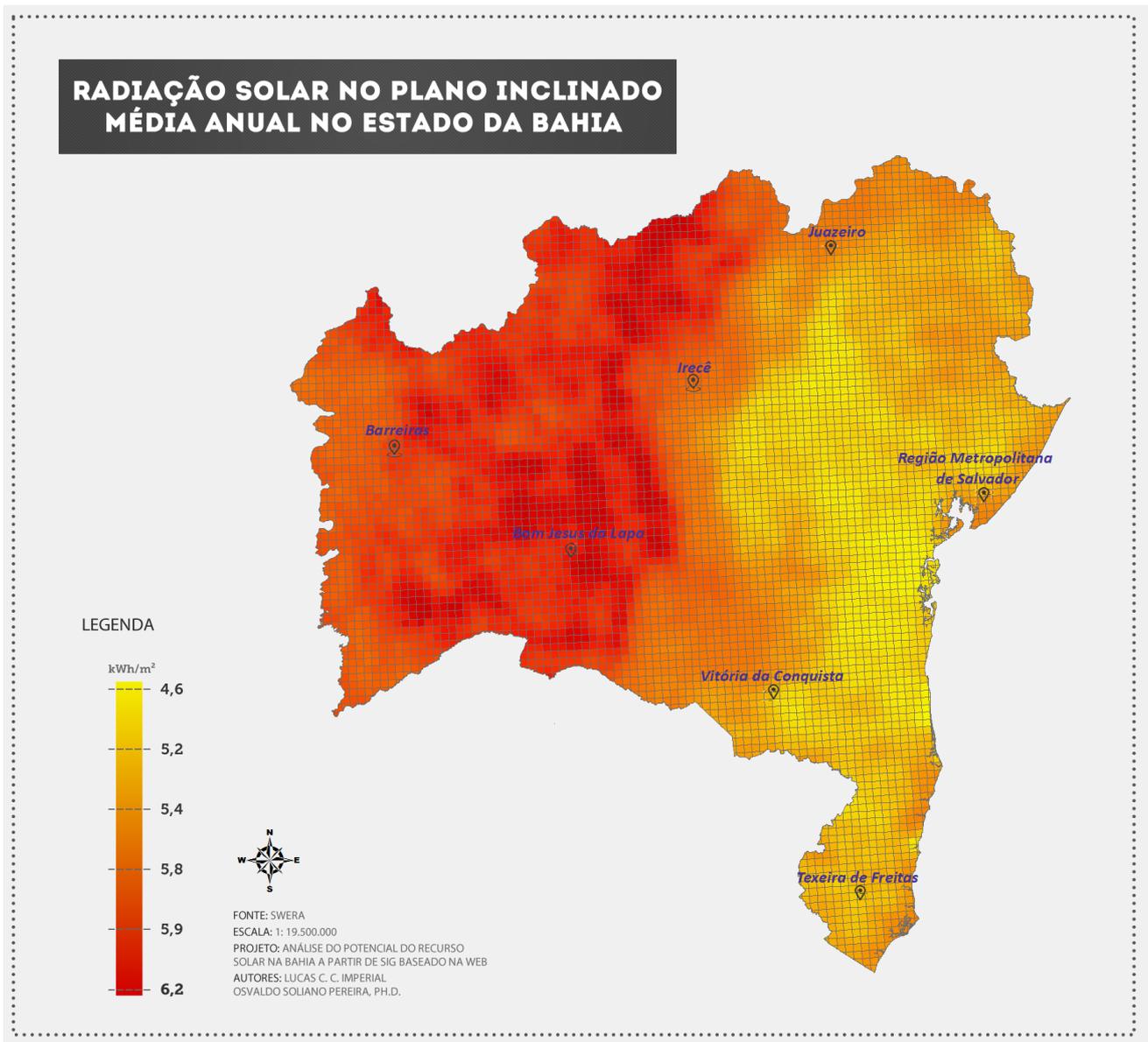


Figura 1 – Radiação Solar no Plano Inclinado Média Anual no Estado da Bahia

### 3.2 Linhas de transmissão

As linhas de transmissão transportam a energia oriunda das centrais geradoras, assim requisitos de confiabilidade, capacidade de escoamento e planejamento sincronizado devem ser atendidos. Há um caso recente na Bahia em que as linhas de transmissão não ficaram prontas a tempo para realizar conexão do parque eólico de Caetitê com capacidade instalada de 289 MW, o atraso já dura um ano e meio.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é responsável por realizar planejamento de expansão da transmissão. Diante da situação ocorrida em Caetitê, a Empresa decidiu que apenas poderão concorrer nos leilões de energia os empreendimentos que já possam ser conectados à rede existente, ou que tenham nos seus custos de energia embutidos os custos de transmissão.

A expansão a ser realizada para atender o grande centro de geração eólica do país que se forma na Bahia favorece de antemão o escoamento das usinas solares, que têm a possibilidade de utilizar a nova infraestrutura elétrica. Em convênio firmado com a Secretaria de Meio Ambiente, projetos eólicos com licenças emitidas ou em análise são informados à EPE, o que permite ampliação e antecipação dos estudos.

Quando do Fórum Nacional Eólico, foi lançado o novo Atlas Eólico da Bahia com potencial estimado em 195 GW a 150 m de altura. O mapa indicou as áreas mais promissoras para os projetos eólicos, onde, inclusive, processos de licenciamento ambiental já estão em tramitação. Tais áreas, inóspitas ou em avaliação pelo órgão ambiental e até mesmo aquelas com parques instalados coincidem com áreas de maior potencial solar. Daí surge outra alternativa, o emprego de sistemas híbridos solar-eólica.

Em ambos os casos, ter-se-ia redução no custo global das usinas solares devido à minimização dos investimentos em linhas e novas subestações além de aumento da confiabilidade da geração de energia elétrica por conta da complementariedade que existe entre as duas fontes.

A Fig. 2 mostra o estado atual das linhas de transmissão na Bahia em sobreposição à irradiação no plano inclinado. Apesar de algumas regiões de maior potencial serem providas de linhas de 500 kV e 230 kV a instalação de usinas solares necessitaria de ampliação da rede para escoamento da produção.

No entanto ao observarmos a Fig. 3, a partir do quantitativo e localização da oferta de energia eólica considerados para o estudo de expansão, resultando num total de 9 GW contabilizando projetos com licença emitida ou em análise, a solução de escoamento apontada pela EPE, apresentada na Fig. 4, mostra-se plenamente favorável a implantação de usinas solares nas áreas de maior potencial de energia solar.

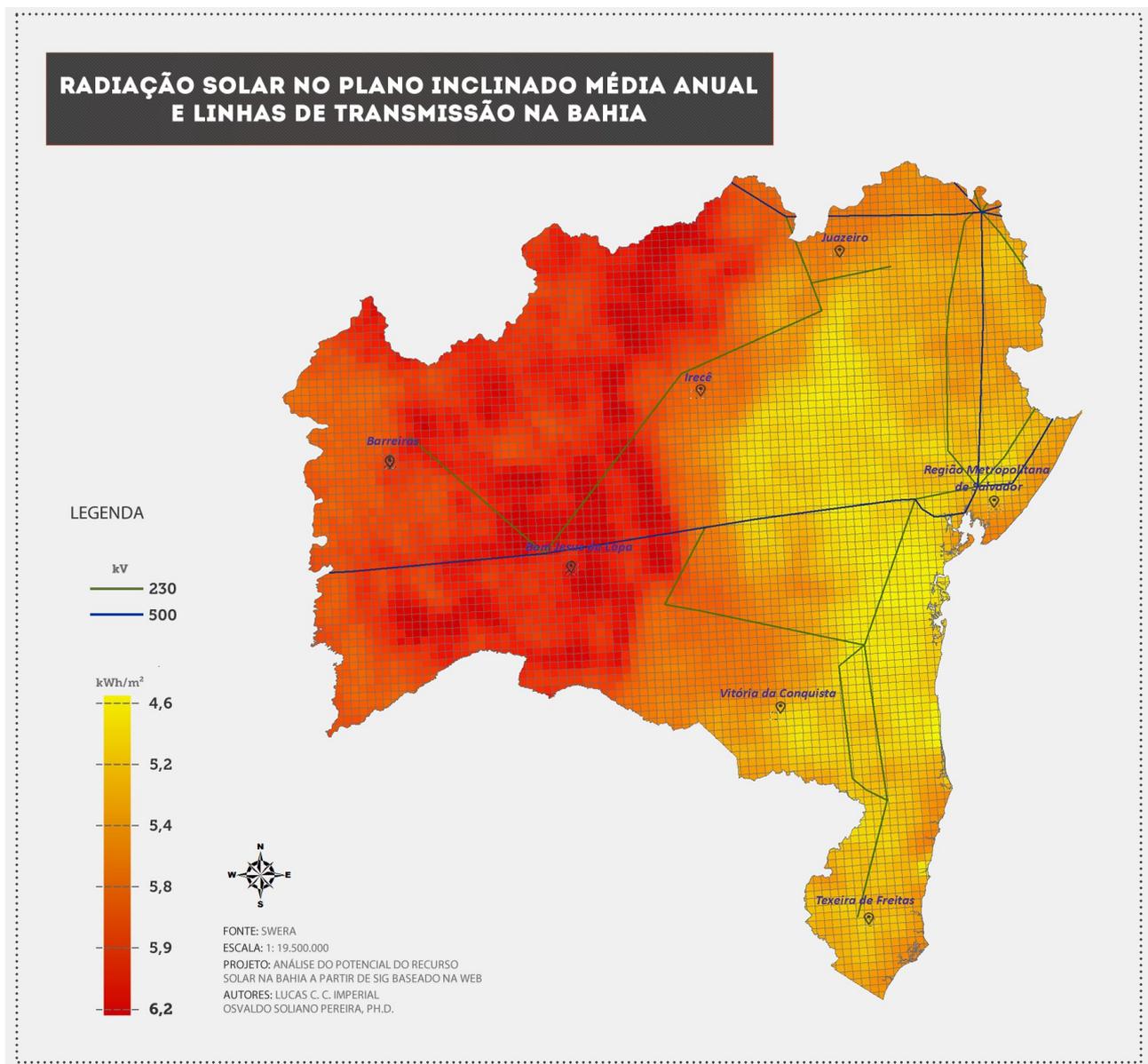


Figura 2 – Radiação Solar no Plano Inclinado Média Anual e Linhas de Transmissão Atuais de 230 e 500 kV

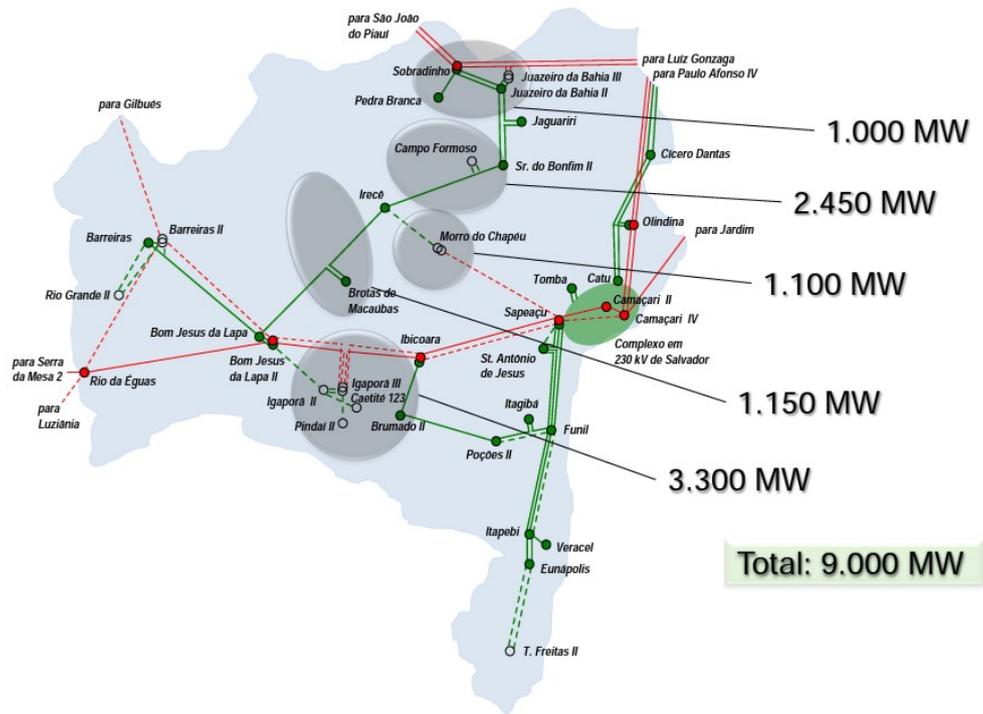


Figura 3 – Estudo de expansão vislumbrando o crescimento da eólica incorporando também projetos com licença ou sob análise - EPE

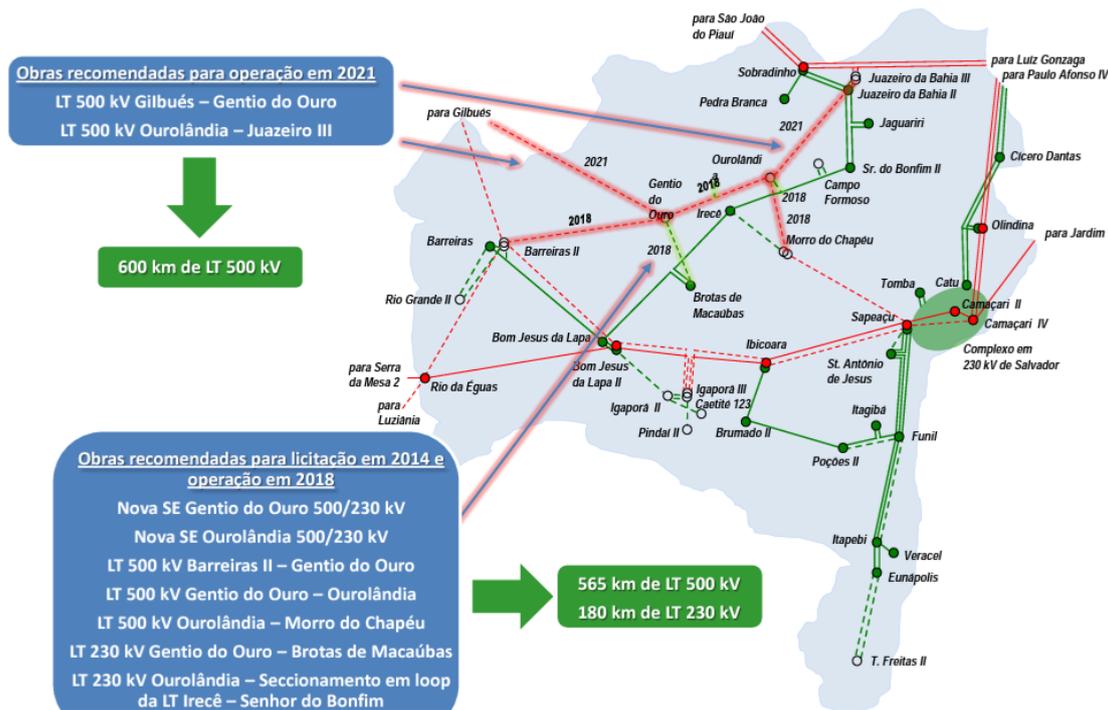


Figura 4 – Alternativa de expansão selecionada para atender o crescimento da eólica – EPE

Nessas condições, é possível estabelecer uma relação direta entre as áreas dos parques eólicos instalados e planejados, a infraestrutura de transmissão planejada e as regiões com maior potencial de energia solar fotovoltaica no estado da Bahia, delimitando áreas promissoras para usinas fotovoltaicas como demonstrado na Fig. 5. A seleção não emprega modelo estatístico e foi elaborada de forma elementar baseada na sobreposição das Figs. 2 e 4 em software de computação gráfica visto que os dados dos estudos de expansão não estão disponíveis.

Fatores como ocupação dos terrenos, declividade do solo e áreas de proteção ambiental não foram considerados. Para estudos de viabilidade de investimento em projetos de usinas fotovoltaicas é recomendado a medição da irradiação solar local de no mínimo um ano, sendo ideal uma série de três anos. Resultados mais expressivos poderiam ser obtidos aplicando dados das linhas de distribuição e subtransmissão.

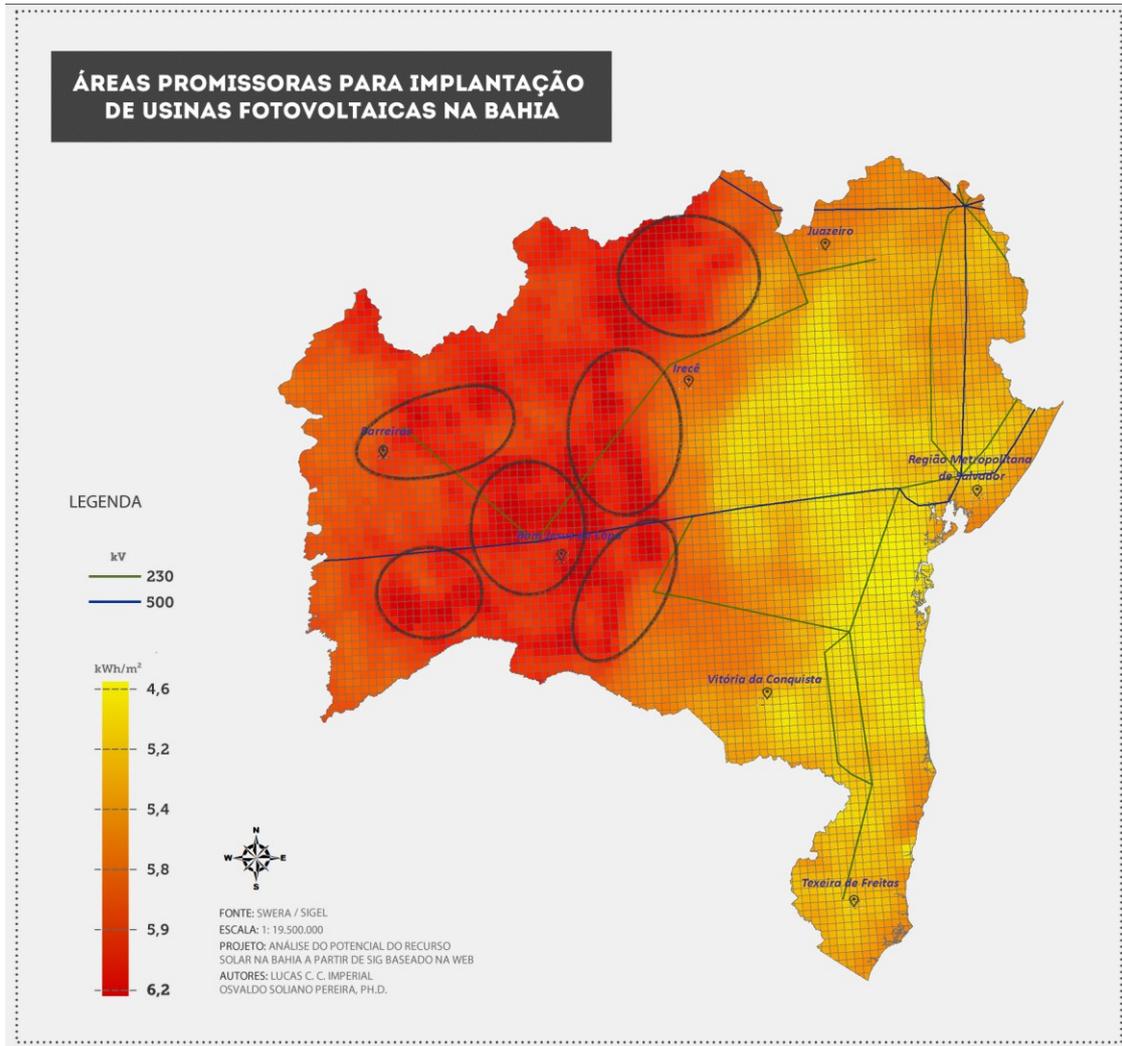


Figura 5 – Áreas promissoras para usinas fotovoltaicas na Bahia

Um bom exemplo de utilização da infraestrutura dos complexos eólicos para conexão de usinas solares é o da Enel Green Power, as usinas Fonte Solar 1 e 2 com capacidade instalada total de 11 MW comercializadas no leilão de energia solar de Pernambuco serão conectadas no mesmo local onde está sendo erguido o complexo eólico Força dos Ventos (PE-80 MW) da própria Enel, as informações são da Agência CanalEnergia.

O portal Wiki-Solar ([www.wiki-solar.org](http://www.wiki-solar.org)) publica informação sobre o desenvolvimento de usinas solares ao redor do mundo. Existem alguns projetos cadastrados na Bahia, diversas empresas já seguem a trilha do ouro da radiação e planejam usinas da ordem de 300 MW como mostra a Fig. 6.

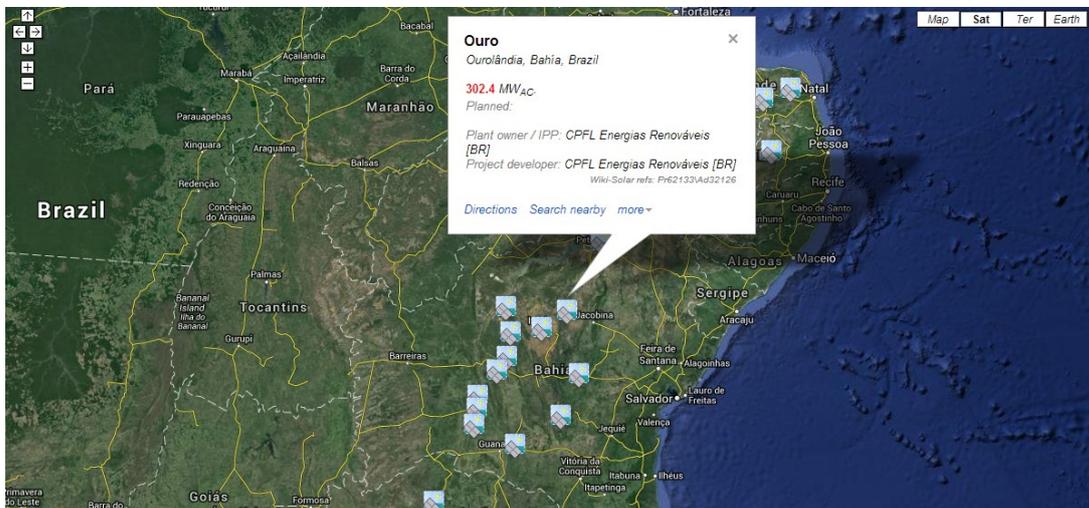


Figura 6 – Usinas solares planejadas cadastradas no portal Wiki-Solar.

#### 4. CONCLUSÃO

A partir da análise do potencial do recurso solar e emprego de usinas fotovoltaicas na Bahia são destacados os seguintes pontos:

O crescimento acelerado da energia eólica abre caminho para implantação de usinas solares no estado. As áreas com grandes ventos possuem também grande potencial para energia solar, os parques eólicos promovem parte da infraestrutura elétrica para os sistemas fotovoltaicos próximos e possibilitam a composição de sistemas híbridos com complementariedade entre as fontes.

Os índices irradiação solar no plano inclinado são os maiores do país, o que demonstra grande potencial de uso de usinas fotovoltaicas. Os elevados índices de irradiação somados ao crescimento da fonte eólica favorável ao crescimento da energia solar só reforçam a necessidade da confecção do atlas solarimétrico para Bahia em curto prazo, ou até mesmo um mapa de complementariedade solar-eólica indicando a viabilidade de atrelar investimentos na implantação de usinas solares, à expansão da transmissão e construção dos parques eólicos.

A geração distribuída (GD) por meio de sistemas fotovoltaicos mostra-se como alternativa para atender a demanda energética adiando investimentos nas redes de distribuição dos grandes centros de consumo, os mesmos apresentam bons índices de irradiação no plano inclinado.

Além de adiar aumento da capacidade das redes elétricas, o investimento em GD pode garantir o abastecimento da demanda da ponta e de cargas prioritárias. Salvador, capital do estado com população de cerca de três milhões de pessoas, Camaçari, que abriga o maior polo industrial petroquímico da América Latina, assim como a região metropolitana que têm acompanhado o desenvolvimento do estado baiano são exemplos dentre outros que podem ser beneficiados, vale observar que existem diversos outros fatores a serem analisados para emprego da GD.

Os mapas temáticos frutos deste projeto de pesquisa estarão disponíveis no site do CBEM (Centro Brasileiro de Energia e Mudanças Climáticas). Endereço eletrônico: <http://www.cbem.com.br>.

#### *Agradecimentos*

Àquele que permitiu a caminhada até aqui, Deus. Aos meus pais, Eliseu e Vanilda, pelo cuidado e carinho, e Rafael, irmão, por apoiar em tudo.

Ao CBEM, na pessoa do Prof. Osvaldo, pela cooperação e contribuição, sem os quais este trabalho não poderia ser realizado.

#### REFERÊNCIAS

- IEEE – INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE-519:IEEE Recommended Practice Utility Interface of Photovoltaic Systems, 2000.
- EPIA – EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION, 2013. Global Market Outlook for photovoltaics 2013-2013, EPIA.
- BSW-Solar, 2013. Statistic data on the German solar power (photovoltaic) industry, BSW-Solar /[www.solarwirtschaft.de](http://www.solarwirtschaft.de)
- Companhia Energética de Minas Gerais, 2012. Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, CEMIG.
- Tiba, C., 2000. Atlas Solarimétrico do Brasil, Ed. Universitária da UFPE.
- Bueno, E., Martins, F., Abreu, S., Ruther, R., 2006. Atlas brasileiro de energia solar, INPE.
- Camargo-Schubert Engenheiros Associados... [et al.], 2013. Atlas Eólico da Bahia, Camargo Schubert, SECTI, SEINFRA, CIMATEC/SENAI.
- Farias, J., 2013. A expansão da transmissão e o aproveitamento do potencial eólico brasileiro, Fórum Nacional Eólico, Salvador.
- Godoi, M., 2013. Enel Vende 11 MW em leilão solar de Pernambuco. CanalEnergia
- Zilles, R., 2012. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, Oficina de Textos.
- Villalva, M., Gazoli, J., 2012. Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações, Érica.

#### ANALYSIS OF SOLAR RESOURCE POTENTIAL IN BAHIA FROM GIS WEB BASED

*Abstract. The growth of renewable energy usage figures as global trend. The character extremely emitter and finite fossil sources, beyond progressively more competitive prices of electricity generation from solar and wind energy, has led the investments in renewable energies a considerable increase in Brazil. The evaluation of the potential of resources is the first step to enable such investments, quality and reliable information needs to be lifted and catalogued, culminating in maps with renewable energy potentials: solar and wind maps. The evolution of geoprocessing and information technology has allowed that these static geographic data were extrapolated to the digital world, opening a*

*range of possibilities and applications, promoting a gradual process of acceleration in employment of these sources and renewable technologies. The present work will use computer technology to analyze the wind and solar resources energy potential, perform high-resolution spatial survey of the potential of these resources available in public spatial data provided in webservices, employ the data collected in geographic information systems based on WEB and in cloud computing to confront and compose scenarios for use of such sources in the State of Bahia.*

**Key words:** Solar Energy, Wind Energy, Energy Potential, Geographic Information System (GIS), Distributed Generation.