# Atlas Solar Bahia

Apoio:

AWS TRUEPOWER

CAMARGO SCHUBERT

SENAI CIMATEC — SISTEMA FIEB — Federação das Indústrias do Estado da Bahia

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA

SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

BAHIA GOVERNO DO ESTADO

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
BAHIA GOVERNO DO ESTADO
SENAI CIMATEC — SISTEMA FIEB — Federação das Indústrias do Estado da Bahia
Atlas Solar Bahia

# Atlas Solar Bahia

2018

SENAI CIMATEC | SISTEMA FIEB
Federação das Indústrias do Estado da Bahia

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA

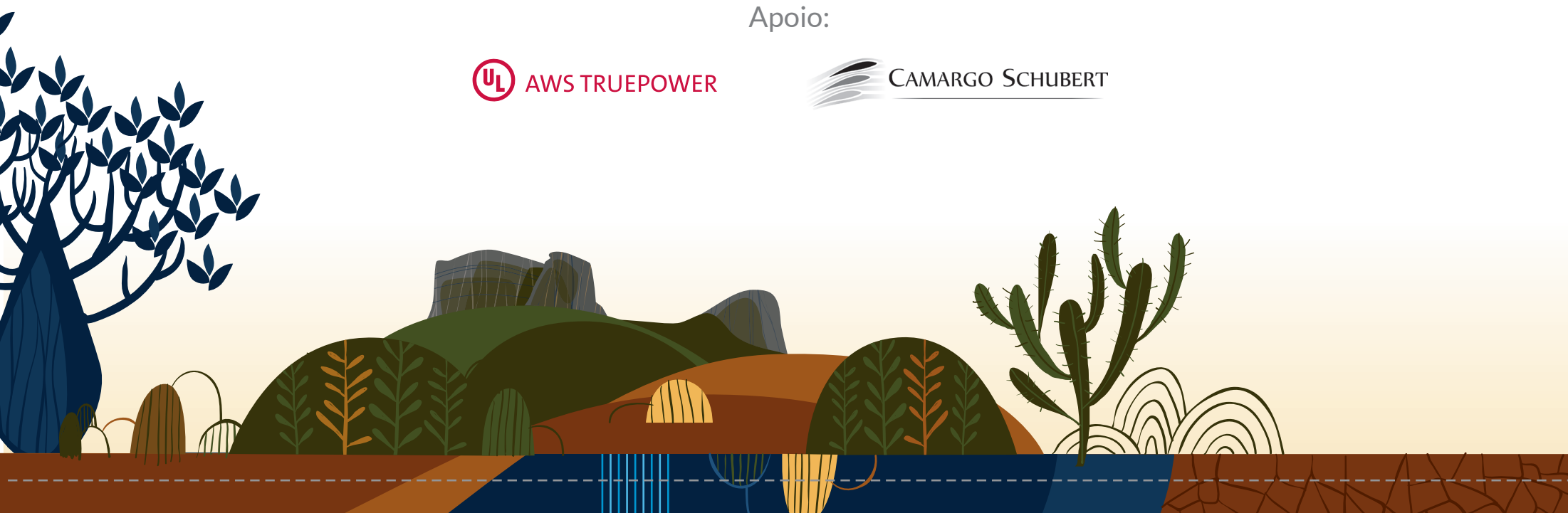
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

BAHIA GOVERNO DO ESTADO

Apoio:

AWS TRUEPOWER

CAMARGO SCHUBERT



Atlas Solar Bahia

## PRODUÇÃO

- **Estado da Bahia:**
  Rui Costa, *governador*

- **Secretaria de Infraestrutura:**
  Marcus Benício Foltz Cavalcanti, *secretário*
  Celso Reinaldo C. Rodrigues
  *superintendente de energia e comunicações*
  Gilson Amado Moraes, *diretor de energia*
  Aldo de Freitas Pinheiro
  *coordenador de desenvolvimento energético*
  João Victor Bricídio Arariba
  *assessor de desenvolvimento energético*

- **Secretaria da Ciência, Tecnologia e Inovação:**
  José Vivaldo Souza de Mendonça Filho, *secretário*
  Acácia Gomes Pinho
  *superintendente de desenvolvimento científico*
  Leonardo Ramacciotti Miranda
  *diretor de políticas e programas*
  Maria Carla Sena Lopes, *assessora técnica*

- **Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial**
  ***Campus* Integrado de Manufatura e Tecnologias**
  Leone Peter Correia da Silva Andrade
  *diretor de Tecnologia e Inovação*
  Alex Álisson Bandeira Santos
  *gerente de instituição de ensino superior*
  Miguel Andrade Filho, *gerente de negócios*
  Turan Dias Oliveira, *consultor II*
  Paulo Roberto Freitas Neves, *consultor II*

## EQUIPE TÉCNICA DE ELABORAÇÃO

AWS TRUEPOWER

Eulàlia Monfort
Gabriela de Lima
Jesica Piñón
Joan Aymamí
José Vidal
Mar Clemente
Mireia Casinos
Xavier Puerta

CAMARGO SCHUBERT

Alexander Clasen Back
Fabiano de Jesus Lima da Silva
Fábio Catani
Frederico Eduardo da Cunha Estante
Guilherme Guebur Lima
Odilon Antônio Camargo do Amarante
Paulo Emiliano Piá de Andrade
Ramon Morais de Freitas
Vicente Ferrer Correia Lima Neto

SENAI CIMATEC — SISTEMA FIEB

**Centro de Processamento de Alto Desempenho**
João Marcelo Silva Souza
Luiz Claudio Pinto de Oliveira

**Edição:**
- Revisão de texto:
  Neida Maria da Conceição Padilha
- Diagramação e Projeto Gráfico:
  du.ppg.br
- Fotografias: Zig Koch
- Ilustração da Capa: Leo Gibran
- Impressão: Optagraf

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP). Index Consultoria em Informação e Serviços Ltda. Curitiba - PR

A881 Atlas solar : Bahia / elaborado por AWS Truepower, Camargo Schubert Engenheiros Associados, FIEB/SENAI CIMATEC.— Curitiba : Camargo Schubert ; Salvador : SECTI : SEINFRA : CIMATEC/SENAI, 2018.
76 p.: il., mapas ; 29 x 31 cm.

Inclui Bibliografia
ISBN 978-85-67342-03-0

1. Energia solar – Bahia – Mapas. 2. Medições solarimétricas – Bahia. 3. Geração de energia fotovoltaica – Bahia. 4. Energia – Fontes alternativas – Bahia. 4. Meio ambiente. I. AWS Truepower. II. Camargo Schubert Engenheiros Associados. III. FIEB/SENAI CIMATEC.

CDD (20.ed.) 621.47098142
CDU (2.ed.) 620.91 (813.8)

IMPRESSO NO BRASIL/PRINTED IN BRAZIL

# AGRADECIMENTOS

Aos empreendedores que autorizaram a utilização dos seus dados solarimétricos, colaborando para a validação dos resultados deste Atlas:

casadosventos
energia para um novo mundo

enel
Green Power

RENOVA
ENERGIA

RIO
ENERGY

SOWITEC

Especiais agradecimentos à Coelba/Neoenergia, pela colaboração com valiosas informações sobre a infraestrutura elétrica do Estado da Bahia que foram incorporadas a este atlas.

# MENSAGEM DO GOVERNADOR

O avanço do Estado da Bahia na produção de energia elétrica de fontes renováveis, com destaque para a geração eólica, despertou o interesse em pesquisar também o potencial do estado na produção de energia de fonte solar, dado que boa parte do nosso território encontra-se na região semiárida do nordeste brasileiro.

A referida pesquisa está retratada no presente trabalho: ATLAS SOLAR DA BAHIA, que disponibiliza, para todos os *stakeholders* (empreendedores, acadêmicos, reguladores, governantes, ambientalistas e proprietários de terras), um conjunto de informações precisas, georreferenciadas, quantificadas e expostas de forma clara, com um moderno *design*, para o amplo entendimento de todas as partes interessadas.

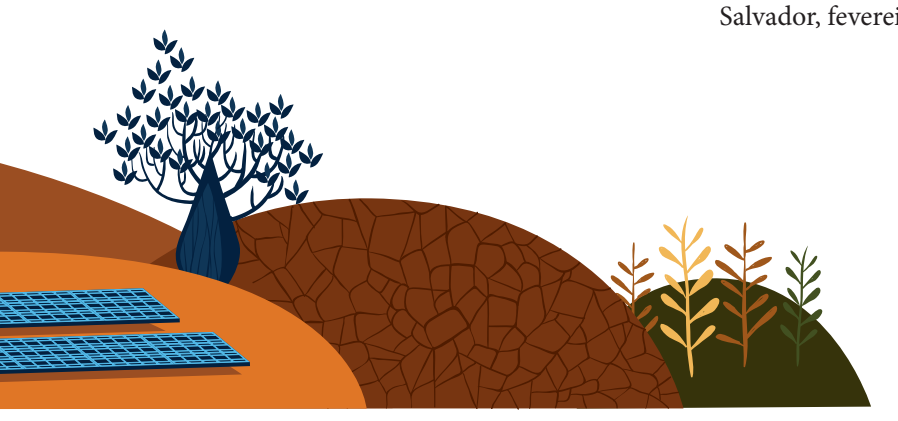
Em um dimensionamento criterioso e conservador do potencial de geração de energia elétrica através da tecnologia fotovoltaica, em que se respeitam as áreas de conservação ambiental, as reservas, as áreas de produção agrícola, os corpos d´água, as áreas com declividade acima de 3% e, além disso, considerando apenas o uso de 20% das áreas realizáveis, o potencial equivale a, aproximadamente, 70% da potência instalada para produção de energia elétrica no Brasil.

A Bahia tem, atualmente, 11 parques solares em operação comercial, com 316 MW de capacidade instalada, nove parques em implantação, com potencial de produção de 217 MW, e outros cinco projetos que correspondem a 150 MW a serem implantados nos próximos três anos. A evolução tecnológica com a consequente redução nos custos dos painéis solares, a necessidade de se ampliar o uso das energias limpas, os incentivos fiscais já regulamentados para o segmento e as amplas áreas aptas à implantação de parques solares na Bahia formam um conjunto de vetores mobilizadores que irão dinamizar a economia do estado, com geração de emprego e renda, exatamente nas regiões mais carentes do interior baiano.

Na certeza da eficácia desta atividade econômica, com todas as externalidades socioambientais e tecnológicas decorrentes, o governo do Estado da Bahia está disponibilizando o atual ATLAS SOLAR DA BAHIA, processado no supercomputador do SENAI CIMATEC, como forma de tornar transparente e acessível o desenvolvimento desta grande e importante fonte de riqueza do nosso estado.

Salvador, fevereiro de 2018.

**Rui Costa**
Governador da Bahia



# APRESENTAÇÃO

A energia solar é uma fonte renovável em franco desenvolvimento, e sua participação na matriz energética mundial está em ampla expansão. Países providos de recursos abundantes, a exemplo da Espanha e da China, bem como aqueles com menores níveis de insolação, como a Alemanha, destacam-se pelas capacidades instaladas relevantes para produção dessa fonte de energia.

No Brasil, a fonte solar já se apresenta, junto com a energia eólica, como uma das mais promissoras formas de ampliação do nosso parque gerador elétrico. A Bahia, pioneira na produção de energia elétrica a partir de fonte solar fotovoltaica no Brasil, com destaque para a instalação de 20.912 pequenos sistemas, em áreas remotas do interior do Estado, implantados pelo programa de universalização do acesso à energia elétrica – Luz Para Todos – foi também pioneira na produção em larga escala, com a implantação da Usina Solar no Estádio de Pituaçu, em Salvador (capacidade instalada de 404,8 KW). Assim, configura-se como um dos estados com maior atratividade para investimentos nesse setor, contando, ao final de 2017, com um total de 36 projetos de energia solar fotovoltaica vencedores em leilões realizados pela ANEEL, perfazendo 1.006 MW de potência a ser instalada até o ano de 2021. Desses projetos, 11 parques já em estão em operação comercial, com capacidade instalada de 316 MW, localizados nos municípios de Bom Jesus da Lapa e Tabocas do Brejo Velho, no semiárido baiano.

Nesse contexto, diante do êxito do projeto do Atlas Eólico da Bahia, lançado em 2013, a Secretaria de Infraestrutura e a Secretaria da Ciência, Tecnologia e Inovação mais uma vez juntaram esforços para desenvolver o processo de levantamento do potencial solar do Estado, que culminou com o presente Atlas Solar da Bahia, em que se buscou estabelecer a referência mais atual para estudos, planejamentos e projetos a partir dessa fonte energética, compondo um diagnóstico completo sobre as possibilidades de sua inserção na matriz estadual, ressaltando-se a sobreposição dos regimes solar e eólico e as vantagens da utilização conjunta dessas fontes.

A energia solar é uma alternativa importante para aumentar a capacidade de geração, sazonalmente complementar ao regime eólico das chapadas do interior baiano e que poderá, entre outros benefícios, contribuir para o desenvolvimento do interior do Estado. Salientam-se as características presentes na implantação da energia solar por ser relativamente rápida, facilitar a modularidade, adequar-se tanto para geração distribuída como centralizada, e não depender de combustíveis fósseis.

O Atlas Solar da Bahia integra o esforço do Governo para estimular a geração de energia elétrica e a diversificação das fontes, pelo uso de energias alternativas, limpas e renováveis. O sol intenso sempre foi associado à escassez de chuvas e é frequentemente visto como um fator adverso ao desenvolvimento. Hoje, graças ao avanço da tecnologia, esperamos que esse mesmo sol venha a proporcionar benefícios, antes inimagináveis, à população da Bahia, especialmente nas regiões mais áridas do interior. Concluímos ilustrando uma das inúmeras aplicações da energia solar, citando as palavras do Padre Bernard Vesperien, proferidas durante o discurso de inauguração de um sistema de bombeamento de água movido a energia fotovoltaica. Esse sistema fez parte de um programa implantado em centenas de vilarejos no interior do Kenya para mitigar efeitos de uma severa seca que penalizou o país durante década de 1980:

> "Que alegria, que esperança nós hoje vivemos ao ver que o sol que uma vez secou nossos reservatórios hoje os reabastece de água! Em todos os lugares do mundo, o maior problema dos poços era encontrar meios confiáveis de extrair a água (...) e desta vez os senhores têm a resposta bem diante dos seus próprios olhos. Energia solar é a resposta! (...) Essa descoberta extraordinária não é mais um sonho: vocês a veem, a tocam e a escutam, não em um laboratório, mas no seu próprio quintal."*

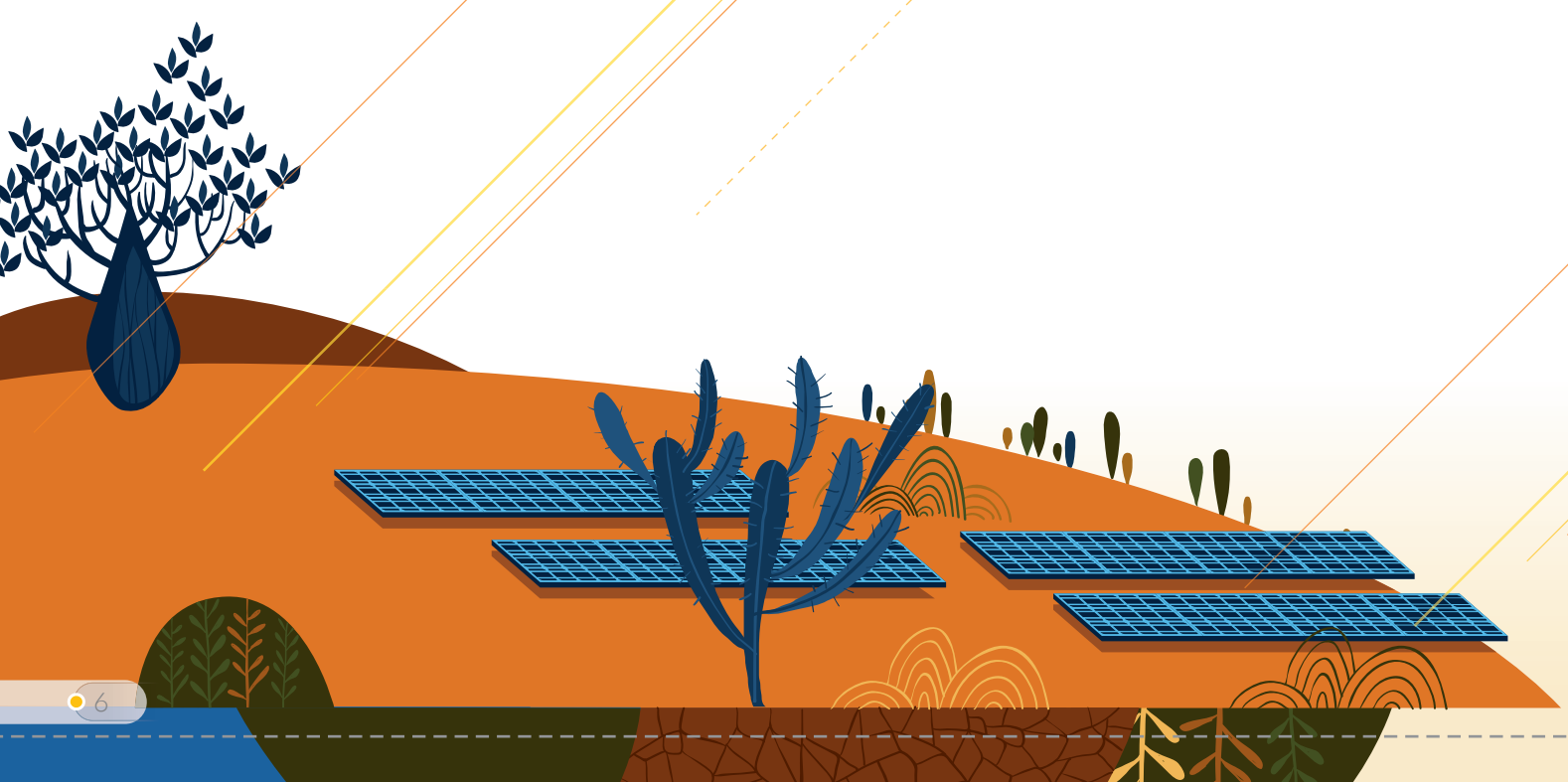
**Marcus Benício Foltz Cavalcanti**
Secretário de Infraestrutura

**José Vivaldo Souza de Mendonça Filho**
Secretário da Ciência, Tecnologia e Inovação

* *MISSIONARIES OF AFRICA REPORT*, CITADO POR PERLIN, 1999

# SUMÁRIO


| | | |
|---|---|---|
| | Agradecimentos | 03 |
| | Mensagem do Governador | 04 |
| | Apresentação | 05 |
| **1** | **O ESTADO DA BAHIA** | **08** |
| 1.1 | Caracterização Geográfica | 09 |
| 1.2 | Demografia e Consumo de Energia Elétrica | 10 |
| 1.3 | Infraestrutura | 12 |
| 1.3.1 | Transporte Aquaviário | 12 |
| 1.3.2 | Transporte Rodoviário | 12 |
| 1.3.3 | Transporte Ferroviário | 12 |
| 1.3.4 | Sistema Elétrico | 12 |
| **2** | **RADIAÇÃO SOLAR E CLIMATOLOGIA** | **16** |
| 2.1 | Magnitudes de Referência para Caracterização do Recurso Solar | 17 |
| 2.2 | Parâmetros de Radiação | 18 |
| 2.2.1 | Irradiância Global Horizontal – GHI (W/m$^2$) | 18 |
| 2.2.2 | Irradiância Global no Plano Inclinado – POA (W/m$^2$) | 18 |
| 2.2.3 | Irradiância Difusa Horizontal – DHI ou DfHI (W/m$^2$) | 19 |
| 2.2.4 | Irradiância Normal Direta – DNI (W/m$^2$) | 19 |
| 2.2.5 | Radiação de Onda Longa (Radiação Infravermelha Distante) | 19 |
| 2.2.6 | Albedo – $\alpha$ (%) e Radiação Solar Líquida | 19 |
| 2.2.7 | Horas de Sol | 19 |
| 2.2.8 | Profundidade Óptica de Aerossóis – AOD | 19 |
| 2.2.9 | Distribuição Espectral da Radiação | 20 |
| 2.2.10 | Nebulosidade | 20 |
| 2.3 | Outros Parâmetros Meteorológicos | 20 |
| 2.3.1 | Temperatura Ambiente – $T_{amb}$ (°C), Temperatura da Célula Fotovoltaica – $T_{cel}$ (°C) | 20 |
| 2.3.2 | Velocidade – $v_w$ (m/s) e Direção do Vento – $d_w$ (°) | 20 |
| 2.3.3 | Precipitação (mm) | 20 |
| 2.4 | Incerteza da Medida da Radiação Solar | 20 |
| 2.5 | Climatologia da Radiação Solar no Estado da Bahia | 21 |

| | | |
|---|---|---|
| **3** | **MEIO AMBIENTE** | **26** |
| 3.1 | Legislação Ambiental | 27 |
| 3.2 | Áreas de Proteção no Estado da Bahia | 27 |
| 3.2.1 | Unidades de Conservação do Boqueirão da Onça e Morro do Chapéu | 27 |
| 3.2.2 | Terras Indígenas, Quilombos e Assentamentos Agrícolas | 27 |
| 3.3 | Energia Solar e Meio Ambiente | 28 |

| | | |
|---|---|---|
| **4** | **TECNOLOGIA** | **32** |
| 4.1 | Histórico | 33 |
| 4.1.1 | Histórico da Tecnologia Solar | 33 |
| 4.1.2 | Histórico do Brasil | 37 |
| 4.2 | Tecnologias Atuais para Produção de Energia Solar | 37 |
| 4.2.1 | Geração de Energia Térmica | 37 |
| 4.2.2 | Geração de Energia Elétrica | 38 |
| 4.3 | Critérios para Identificação de Locais para Instalações Fotovoltaicas | 40 |
| 4.3.1 | Geração Centralizada | 40 |
| 4.3.2 | Geração Distribuída | 40 |

| | | |
|---|---|---|
| **5** | **METODOLOGIA** | **42** |
| 5.1 | O Modelo WRF | 43 |
| 5.2 | Medições Solarimétricas | 44 |
| 5.2.1 | Estações Meteorológicas Automáticas do INMET – EMA | 45 |
| 5.2.2 | Estações Solarimétricas Privadas | 46 |
| 5.3 | Validação dos Mapas e Incertezas | 47 |

| | | |
|---|---|---|
| **6** | **MAPAS SOLARES** | **48** |
| 6.1 | Irradiação Global Horizontal Sazonal | 50 |
| 6.2 | Irradiação Global Horizontal Anual | 51 |
| 6.3 | Irradiação Global Horizontal Mensal | 52 |
| 6.4 | Irradiação Difusa Horizontal Sazonal | 54 |
| 6.5 | Irradiação Difusa Horizontal Anual | 55 |
| 6.6 | Irradiação Difusa Horizontal Mensal | 56 |
| 6.7 | Irradiação Normal Direta Sazonal | 58 |
| 6.8 | Irradiação Normal Direta Anual | 59 |
| 6.9 | Irradiação Normal Direta Mensal | 60 |
| 6.10 | Temperatura Média Anual | 62 |
| 6.11 | Velocidade do Vento a 10 m de Altura | 63 |

| | | |
|---|---|---|
| **7** | **ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS** | **64** |
| 7.1 | Potencial Fotovoltaico do Estado da Bahia | 65 |
| 7.1.1 | Instalações de Geração Centralizada | 65 |
| 7.1.2 | Instalações de Geração Distribuída | 66 |
| 7.2 | Possibilidades de Inserção da Fonte Solar na Matriz Energética da Bahia | 67 |
| 7.2.1 | Distribuição da Incidência Solar no Estado da Bahia | 69 |
| 7.3 | Conclusões e Considerações Finais | 70 |

| | | |
|---|---|---|
| **8** | **REFERÊNCIAS** | **72** |

Atlas Solar Bahia

# 1

# O ESTADO DA BAHIA

## 1.1 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Localizado na região Nordeste, entre os paralelos 08° 31' 58"S e 18° 20' 55"S e os meridianos 46° 37' 02"W e 37° 20' 28"W, a Bahia é o quinto maior estado brasileiro, com uma área territorial de 564.732 km². O Estado faz limites com o Oceano Atlântico e com os estados de Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Piauí, Tocantins, Goiás, Minas Gerais e Espírito Santo[13].

O relevo é caracterizado por planícies, planaltos e depressões em formas tabulares e planas. As maiores elevações ocorrem na região central do Estado, ao longo da Serra do Espinhaço e da Chapada Diamantina. Essa região é tanto formada por chapadas, como por depressões, sendo as chapadas de altitudes acima dos 1.500 m, cobertas predominantemente por vegetação do tipo cerrado, mas também por áreas de campos e arbustos baixos típicos do clima semiárido. Entre as áreas de baixa altitude, distingue-se o Vale do Rio São Francisco, coberto por cerrado, caatinga, veredas e campos úmidos, onde se encontra o reservatório de Sobradinho, um dos maiores lagos artificiais do planeta, de fundamental importância para regulação e geração de energia elétrica no Nordeste brasileiro.

Na longa faixa litorânea, com 1.183 km de extensão, predominam planícies com baixas altitudes. Essa porção do Estado é a mais úmida, com cobertura formada por remanescentes de Mata Atlântica e áreas de cultivo, abrigando também as principais áreas urbanas.

A Bahia possui ainda um extenso Chapadão Ocidental a oeste da planície do São Francisco, com altitudes entre 800 e 1.000 m e coberto por extensas áreas agrícolas e vegetação natural caracterizada pelo cerrado e pela formação de veredas sobre as linhas de drenagem.

A FIGURA 1.1 apresenta uma síntese das características geográficas do Estado da Bahia, por meio do mosaico de imagens LANDSAT 7 ETM+ sobreposto ao relevo exagerado em 250 vezes.

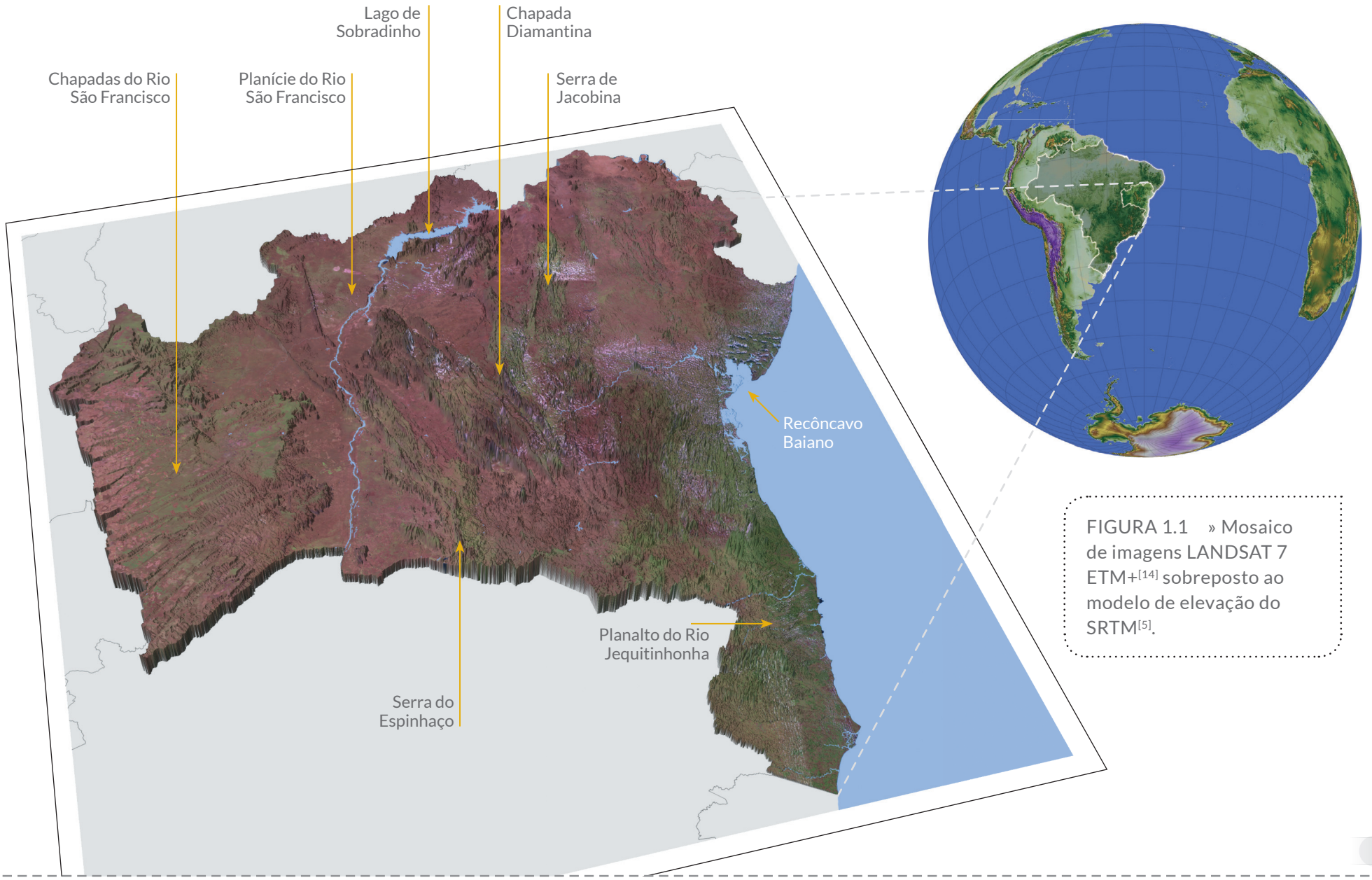



FIGURA 1.1 » Mosaico de imagens LANDSAT 7 ETM+[14] sobreposto ao modelo de elevação do SRTM[5].

GRÁFICO 1.1 »

# 1.2 DEMOGRAFIA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

O IBGE estima, com base em uma projeção a partir de dados dos Censos 2000 e 2010, que o Estado da Bahia teria uma população de 15.344.447 habitantes[9] em julho de 2017, resultante de um crescimento populacional médio de 1,3% a.a. entre 2010 e 2016.

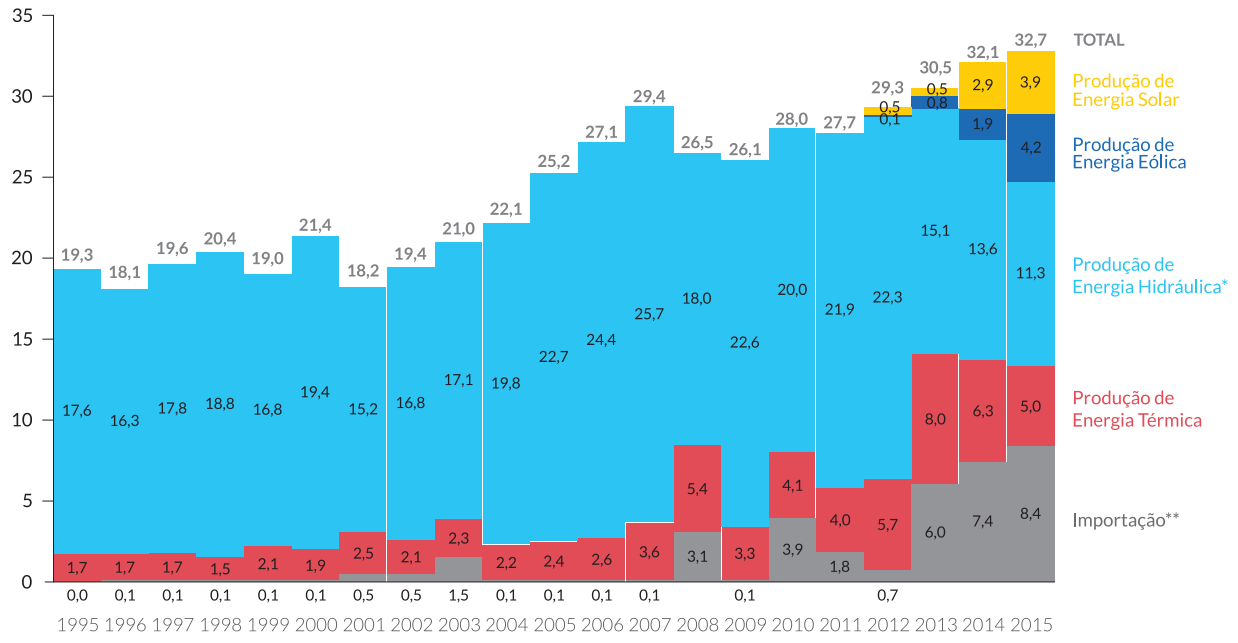
Conforme mostra o GRÁFICO 1.1, o consumo de energia elétrica na Bahia foi de 28,1 TWh durante o ano de 2015 (descontados os Estoques e Ajustes), dos quais 46,1% foram destinados aos setores residencial, comercial e público, resultando em um consumo médio de 851 kWh/ano por habitante. O consumo cresceu, entre 1995 e 2015 a uma taxa média de 3,6% a.a.

Com tendência similar à observada na maioria dos estados brasileiros, a população da Bahia está fortemente concentrada em áreas urbanas: 41,1% reside em um dos 17 municípios com mais de 100.000 habitantes, ou seja, sob um ambiente de densidade populacional equivalente a 189,1 hab/km², ao passo que a densidade verificada nos demais 401 municípios é de 17,0 hab/km²[9].

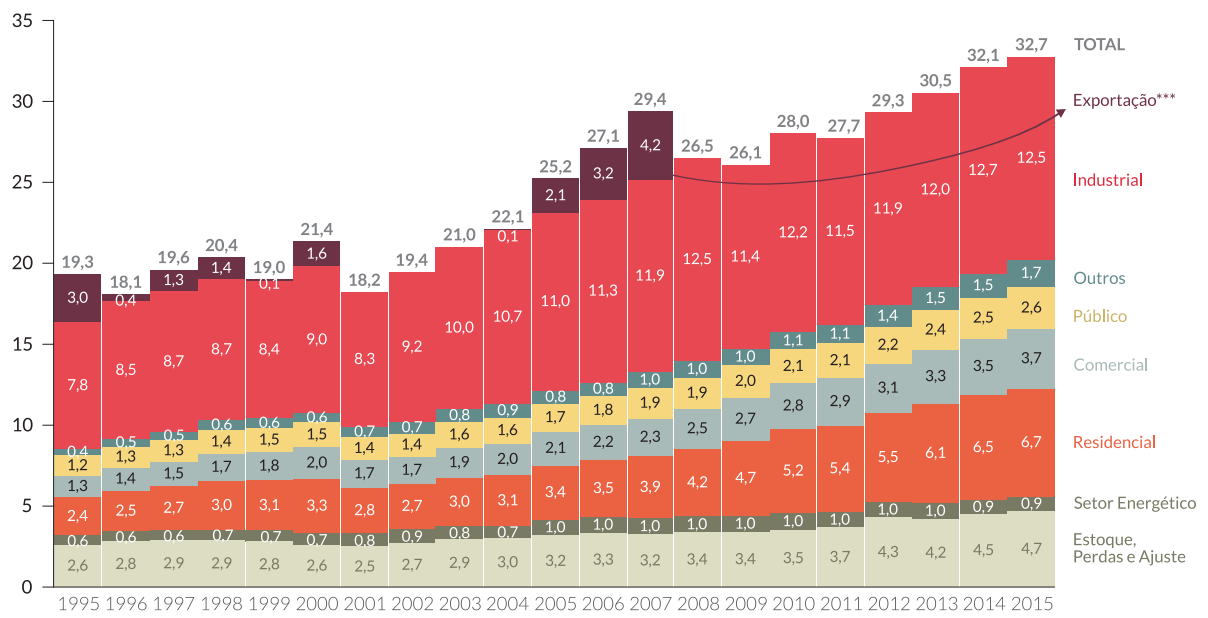
O Produto Interno Bruto – PIB – do Estado, avaliado em R$ 223,9 bilhões em 2010 (3,9% do PIB brasileiro), cresceu a um ritmo de 9,7% a.a. no período 2010-2014.

O mapa da FIGURA 1.2 ilustra a distribuição do consumo, da produção de riquezas e da população dentro do território do Estado da Bahia, demonstrando que esses indicativos tendem a se concentrar nos centros urbanos, como as regiões de Salvador e Feira de Santana. O maior consumo rural ocorre em regiões a oeste (Barreiras) e norte (Juazeiro) do Estado.

## BAHIA: OFERTA TOTAL E IMPORTAÇÃO LÍQUIDA* DE ENERGIA ELÉTRICA (TWh)



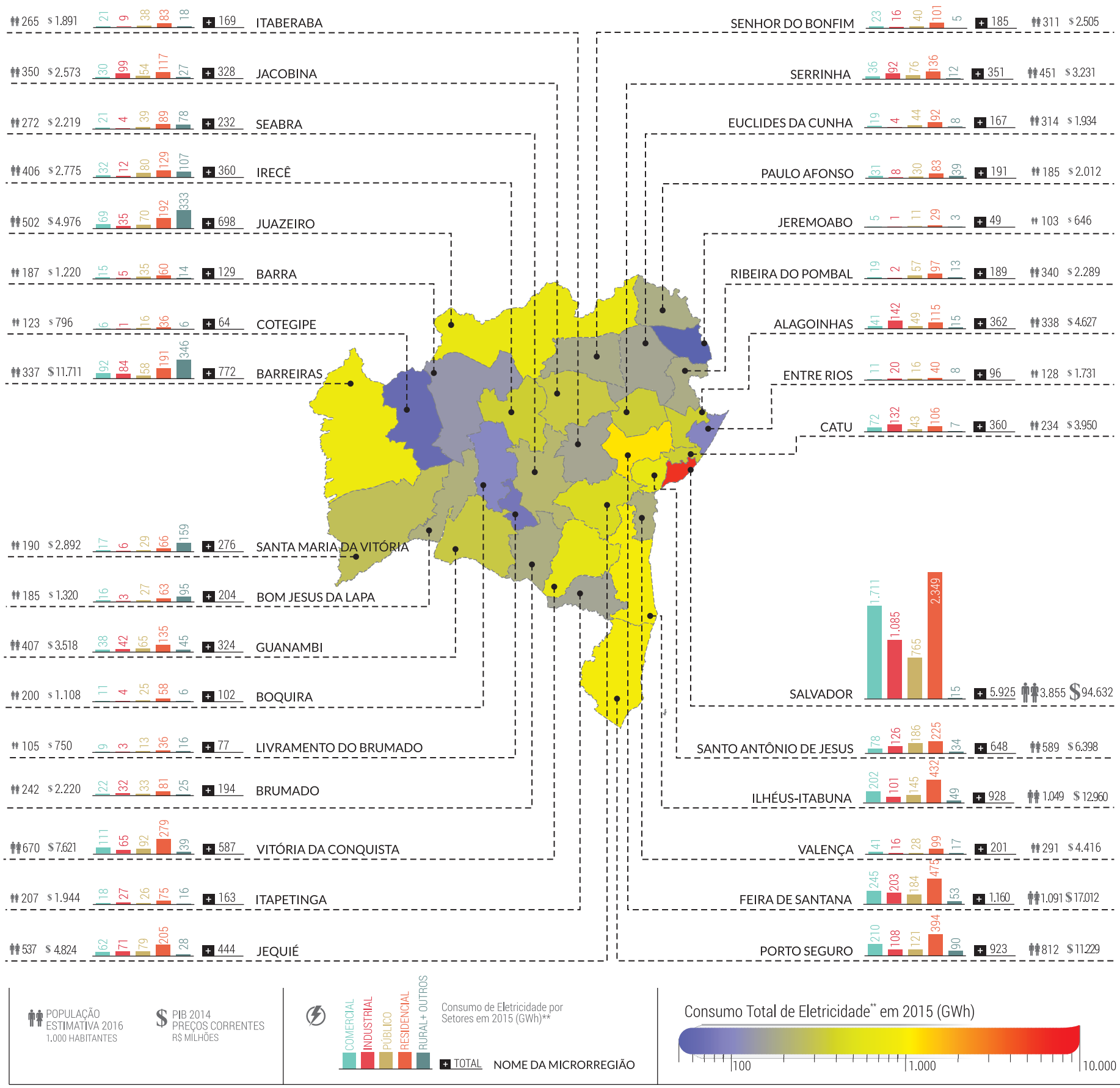

## BAHIA: CONSUMO TOTAL E EXPORTAÇÃO LÍQUIDA DE ENERGIA ELÉTRICA [TWh]




O FLUXO DA ENERGIA ELÉTRICA FOI ELABORADO A PARTIR DAS INFORMAÇÕES DA CHESF, COELBA, SULGIPE, BRASKEM E DIVERSOS AUTOPRODUTORES E PRODUTORES INDEPENDENTES.
* PARA A ENERGIA HIDRÁULICA É CONSIDERADO COMO CONSUMO O VALOR CORRESPONDENTE À PRODUÇÃO BRUTA DE ENERGIA VERIFICADA NAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS. NÃO É LEVADA EM CONSIDERAÇÃO A PARCELA RELACIONADA À ENERGIA VERTIDA. NA DETERMINAÇÃO DO VALOR DE PRODUÇÃO DA ENERGIA HIDRÁULICA, DEIXOU-SE DE APLICAR O CRITÉRIO DE RATEIO IGUALITÁRIO DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE NAS USINAS HIDRELÉTRICAS FRONTEIRIÇAS – 1/2 DA ENERGIA GERADA EM PAULO AFONSO E ITAPARICA, E 1/3 DA DE APOLÔNIO SALES – ADOTADO NOS BALANÇOS ANTERIORES. ASSIM, CONSIDERA-SE PARA A BAHIA TODA A ENERGIA GERADA NO COMPLEXO DE PAULO AFONSO (I, II, III E IV).
** AS IMPORTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA CORRESPONDEM À PARCELA DO MERCADO DA SULGIPE, QUE ATENDE AOS MUNICÍPIOS BAIANOS DE JANDAÍRA E RIO REAL, A ENERGIA COMPRADA PELA COELBA A OUTRAS CONCESSIONÁRIAS ESTADUAIS E A PARCELA FORNECIDA DIRETAMENTE PELA CHESF AOS GRANDES CONSUMIDORES INDUSTRIAIS.
*** O VALOR DAS EXPORTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA CORRESPONDE À SOMA DAS EXPORTAÇÕES VIA COELBA E CHESF.
FONTE: BALANÇO ENERGÉTICO DA BAHIA, SEINFRA [17],[18].

## Bahia: População, PIB e Consumo de Energia Elétrica por Microrregiões*

FIGURA 1.2 »




* A DIVISÃO TERRITORIAL DO BRASIL EM MICRORREGIÕES ADOTADA PELO IBGE TEM FINS DE USO PRÁTICO EM ESTATÍSTICA, AGRUPANDO MUNICÍPIOS LIMÍTROFES COM BASE EM SIMILARIDADES ECONÔMICAS E SOCIAIS.
** VALORES DE CONSUMO DE ENERGIA DESAGREGADO POR MUNICÍPIO, CONTEMPLANDO APENAS O MERCADO CATIVO DA COELBA E SULPGIPE (QUE ATENDE AOS MUNICÍPIOS DE RIO REAL E JANDAÍRA); OS VALORES NÃO CONTEMPLAM, PORTANTO, AS INFORMAÇÕES PERTINENTES AO SUPRIMENTO DA CHESF AO SEGMENTO DE GRANDES CLIENTES INDUSTRIAIS, A AUTOPRODUÇÃO DE ENERGIA, OU O MERCADO DE CONSUMIDORES LIVRES DO ÂMBITO ESTADUAL. FONTE: SEI-BA[19], IBGE[10],[12].

## 1.3 INFRAESTRUTURA

### 1.3.1 TRANSPORTE AQUAVIÁRIO

A estrutura de transporte aquaviário do Estado da Bahia tem como um dos pontos principais o conjunto formado pelos portos públicos de Aratu/Candeias/Salvador e Ilhéus, juntamente com outros cinco terminais de uso privado. É um dos maiores complexos portuários do país, tendo movimentado uma carga de 34,4 milhões de toneladas no ano de 2016[4]. Destaca-se, no interior do Estado, o trecho da hidrovia do São Francisco entre Juazeiro e Ibotirama, que faz parte da cadeia multimodal de exportação de produtos agrícolas produzidos no oeste do Vale do São Francisco.

### 1.3.2 TRANSPORTE RODOVIÁRIO

O Estado possui 4.312 km de rodovias sob jurisdição federal, 28.835 km de rodovias pertencentes à malha estadual** e, aproximadamente, 100.000 km de vias sob jurisdição municipal[3]. Desses, cerca de 330 km de rodovias federais e estaduais** estão atualmente concedidos à administração privada.

### 1.3.3 TRANSPORTE FERROVIÁRIO

A malha ferroviária baiana é atualmente operada pela Ferrovia Centro-Atlântica[8], conectando os portos de Salvador e Aratu à cidade de Juazeiro, ao Estado de Sergipe e ao Estado de Minas Gerais, passando pela mesorregião do Centro-Sul Baiano. Além dessas linhas, está em estudo pelo Governo da Bahia, em conjunto com o Ministério dos Transportes, a construção da Ferrovia da Integração Oeste-Leste – FIOL, que conectará o Porto de Ilhéus à malha da Ferrovia Norte-Sul, em Figueirópolis, Tocantins, passando pelas cidades de Caetité e Barreiras, no oeste do Estado[16].

O MAPA 1.1 apresenta a infraestrutura de transporte do Estado, com a localização dos principais portos, aeroportos e rodovias classificadas quanto ao tipo de revestimento.

### 1.3.4 SISTEMA ELÉTRICO

A Bahia conta com 9.634 MW de potência instalada em seu parque de geração elétrica (considerando-se a metade da potência das hidrelétricas instaladas nas divisas do Estado), dos quais 78,7% são de fontes renováveis[1]: 4.711 MW são de fonte hídrica,

TABELA 1.1 »

### USINAS HIDRELÉTRICAS EM OPERAÇÃO

| USINA | RIO | MW |
|---|---|---|
| Paulo Afonso IV* | São Francisco | 1.231 |
| Sobradinho | São Francisco | 1.050 |
| Luiz Gonzaga (Itaparica)* | São Francisco | 740 |
| Paulo Afonso III* | São Francisco | 397 |
| Paulo Afonso II* | São Francisco | 222 |
| Apolônio Sales (Antiga Moxotó)* | São Francisco | 200 |
| Paulo Afonso I* | São Francisco | 90 |
| Itapebi | Jequitinhonha | 456 |
| Pedra do Cavalo | Paraguaçu | 162 |
| Funil | das Contas | 30 |
| Pedra | das Contas | 20 |
| Sítio Grande | das Fêmeas | 25 |
| Colino II | Córrego Colino | 16 |
| Colino I | Córrego Colino | 11 |
| Cachoeira da Lixa | Jucuruçu do Sul | 15 |
| Candengo | Una | 11 |
| Alto Fêmeas I | Fêmeas | 11 |
| Presidente Goulart | Correntina | 8 |
| Santa Cruz | Pedras | 4 |
| 18 Centrais Geradoras Hidrelétricas | Vários | 13 |
| | TOTAL | 4.711 |

* AS USINAS EM DIVISAS COM UM OUTRO ESTADO FORAM CONSIDERADAS COM METADE DA POTÊNCIA.
** DADOS FORNECIDOS PELA SUPERINTENDÊNCIA DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE — SIT — DO ESTADO DA BAHIA EM JAN/2018.

FONTE: ANEEL – BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO[1] E ONS – BOLETIM DE GERAÇÃO MENSAL[15], ATUALIZADOS EM DEZ/2017.

TABELA 1.2 »

### USINAS EÓLICAS EM OPERAÇÃO

| CONJUNTO | Nº DE USINAS | MUNICÍPIO | MW |
|---|---|---|---|
| Gentio do Ouro I | 12 | Gentio do Ouro e Xique-Xique | 276 |
| Pedra Branca | 8 | Sento Sé | 247 |
| Campo Formoso | 6 | Campo Formoso | 180 |
| Delfina | 7 | Campo Formoso | 180 |
| Araçás | 6 | Caetité e Igaporã | 168 |
| Serra Azul | 4 | Bonito, Cafarnaum e Mulungu do Morro | 118 |
| Morrão | 4 | Caetité e Guanambi | 118 |
| Brotas de Macaúbas | 3 | Brotas de Macaúbas | 95 |
| Caetité 123 | 3 | Caetité | 90 |
| Cristalândia | 3 | Brumado e Dom Basílio | 90 |
| Cristal | 3 | Cafarnaum e Morro do Chapéu | 90 |
| BW Guirapá I | 4 | Caetité e Pindaí | 89 |
| BW Guirapá II | 3 | Pindaí | 81 |
| N. S. da Conceição | 4 | Igaporã | 77 |
| Licínio de Almeida | 4 | Candiba e Guanambi | 74 |
| Ventos da Bahia | 3 | Bonito e Mulungu do Morro | 66 |
| Caetité | 3 | Caetité e Pindaí | 59 |
| Curva dos Ventos | 2 | Igaporã | 56 |
| Caetité A | 3 | Caetité | 54 |
| Guirapá | 2 | Guanambi | 53 |
| Planaltina | 2 | Caetité | 53 |
| Pedra do Reino | 2 | Sobradinho | 48 |
| Pelourinho | 2 | Pindaí | 42 |
| Alvorada | 2 | Caetité | 38 |
| Casa Nova | 1 | Casa Nova II | 33 |
| Moinhos de Vento | 3 | Sento Sé e Umburanas | 0,0005 |
| TOTAL | 99 | TOTAL | 2.474 |

2.474 MW de fonte eólica e 318 MW de fonte fotovoltaica. Essa última se destaca por possuir, na Bahia, o maior parque gerador em operação do país, no qual 316 dos 318 MW instalados pertencem a dois complexos de usinas da Eneel Green Power, localizados nos municípios de Bom Jesus da Lapa e Tabocas do Brejo Velho. Ambos os complexos estão em expansão, com adicionais 172 MW em construção (FIGURA 4.7)[15]. As TABELAS 1.1 a 1.4 relacionam as principais usinas em operação do Estado, e a TABELA 1.5 relaciona os módulos em construção.

O sistema de transmissão no Estado, operado pela CHESF, está conectado ao Sistema Interligado Nacional – SIN – basicamente através de dois pontos principais: uma linha de 500 kV, no sentido Leste-Oeste, conectando a Região Metropolitana de Salvador à linha de interconexão dos subsistemas Norte/Nordeste e Sul/Sudeste/Centro-Oeste; e uma linha também de 500 kV conectando o complexo hidroelétrico de Sobradinho e Paulo Afonso ao Sistema[6], além de linhas de 230 kV conectando várias cidades, como Juazeiro, Bom Jesus da Lapa e Barreiras, ou Salvador e o litoral sul do Estado. Os Planos de Expansão da Geração elaborados pela Empresa de Pesquisa Energética contemplam, ainda para os próximos anos, uma relevante ampliação da transmissão no interior, com a construção de subestações de 500 kV em Barreiras, Buritirama, Morro do Chapéu, Igaporã, Gentio do Ouro, Poções, entre outras, e com a construção de novas linhas conectando estes pontos diretamente aos estados vizinhos: Janaúba e Padre Paraíso – MG, Luziânia – GO, Gilbués – PI. Essa interligação permitirá o escoamento da produção de energia eólica, e, possivelmente da energia fotovoltaica, considerando-se o crescimento observado nos anos mais recentes. O MAPA 1.2 apresenta o sistema de transmissão e distribuição da Bahia, a partir das linhas de 34,5 kV. Junto com a malha de transmissão, é apresentada a malha da rede de distribuição operada pela COELBA (linhas a partir de 34,5 kV), que estende a infraestrutura até a maior parte dos municípios.

TABELA 1.3 »

## USINAS TERMELÉTRICAS EM OPERAÇÃO

| USINA | COMBUSTÍVEL | MW |
|---|---|---|
| Camaçari | Gás Natural | 347 |
| Celso Furtado (Antiga Termobahia Fase I) | | 186 |
| Rômulo Almeida Unidade I (Antiga Usina de Cogeração Camaçari – FAFEN Energia) | | 138 |
| Camaçari | | 131 |
| Suzano Mucuri (Antiga Bahia Sul) | Licor Negro | 214 |
| Veracel | | 117 |
| Bahia Pulp (Antiga Bacell) | | 109 |
| Muricy (Antiga Camaçari Muricy I) | Óleo Combustível | 152 |
| Arembepe (Antiga Camaçari Polo de Apoio I) | | 150 |
| Global II | | 149 |
| Global I | | 149 |
| Refinaria Landulpho Alves (RLAM) | Gás de Refinaria | 63 |
| Bahia I – Camaçari | Óleo Diesel | 32 |
| Brumado | | 13 |
| Sykué I | Capim Elefante | 30 |
| Salvador | Biogás – RU | 20 |
| ERB Candeias | Resíduos Florestais | 17 |
| Agrovale | Bagaço de Cana de Açúcar | 14 |
| 88 outras usinas com menos de 10 MW | Vários | 102 |
| | TOTAL | 2.133 |

TABELA 1.4 »

## USINAS FOTOVOLTAICAS EM OPERAÇÃO

| USINA | MUNICÍPIO | MW |
|---|---|---|
| Ituverava 1 a 7*** | Tabocas do Brejo Velho | 196 |
| Lapa 3 | Bom Jesus da Lapa | 30 |
| Bom Jesus da Lapa I | | 30 |
| Bom Jesus da Lapa II | | 30 |
| Lapa 2 | | 30 |
| Sol Moradas Salitre e Rodeadouro | Juazeiro | 2,1 |
| Pituaçu Solar | Salvador | 0,4 |
| | TOTAL | 318,5 |

TABELA 1.5 »

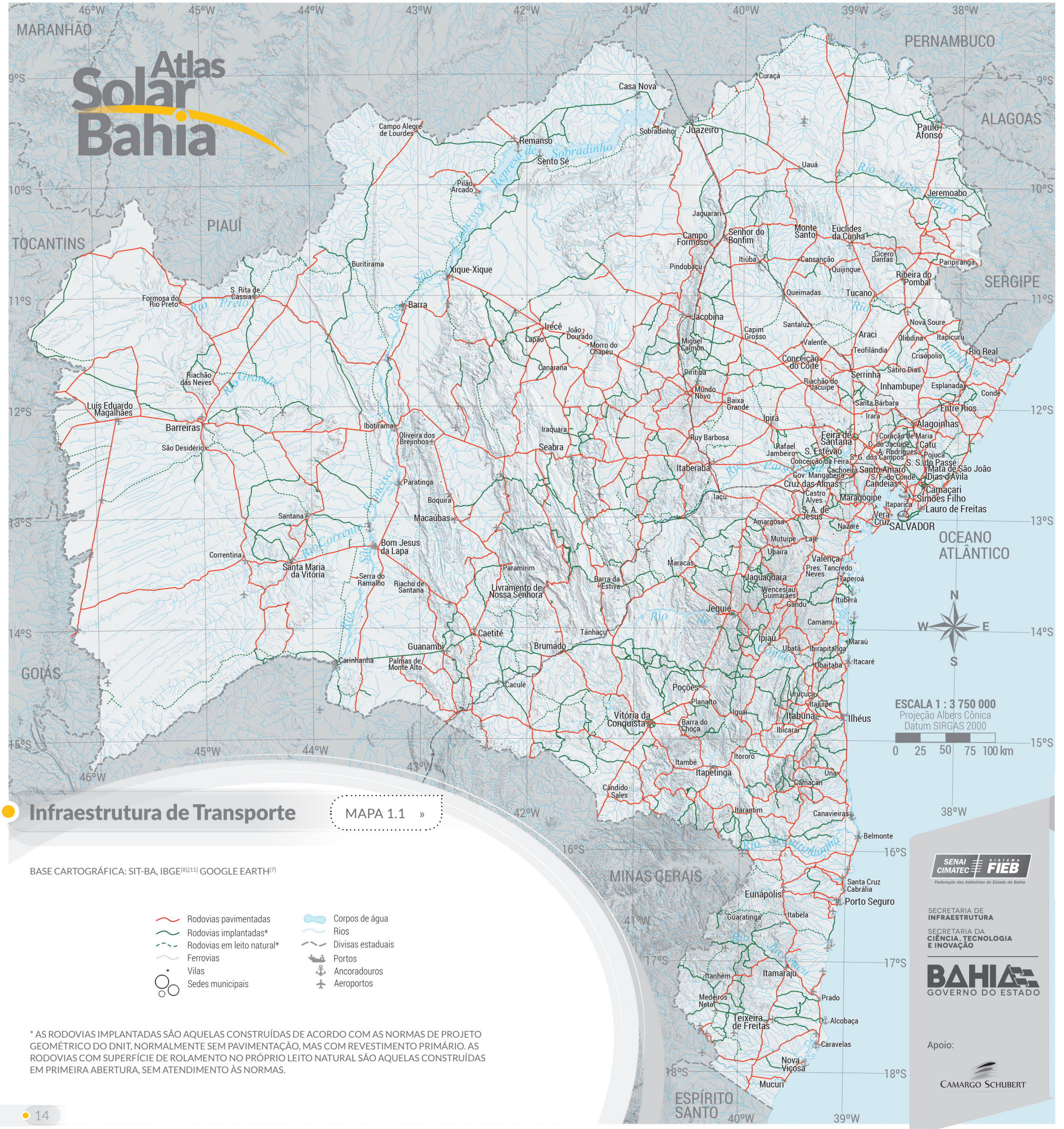
## USINAS FOTOVOLTAICAS EM CONSTRUÇÃO

| USINA | MUNICÍPIO | MW |
|---|---|---|
| Juazeiro Solar I, II, III e IV | Juazeiro | 120 |
| Horizonte MP 1, 2, 11 | Tabocas do Brejo Velho | 77,9 |
| São Pedro IV | Bom Jesus da Lapa | 27 |
| São Pedro II | | 27 |
| BJL 4 | | 20 |
| BJL 11 | | 20 |
| Sobrado 1 | Casa Nova | 30 |
| Verde Vale III | Guanambi | 15,1 |
| Assuruá | Itaguaçu da Bahia | 30,5 |
| | TOTAL | 367,6 |

*** DADOS FORNECIDOS PELA ENEL GREEN POWER, ATUALIZADOS EM JANEIRO/2018.

# Infraestrutura de Transporte

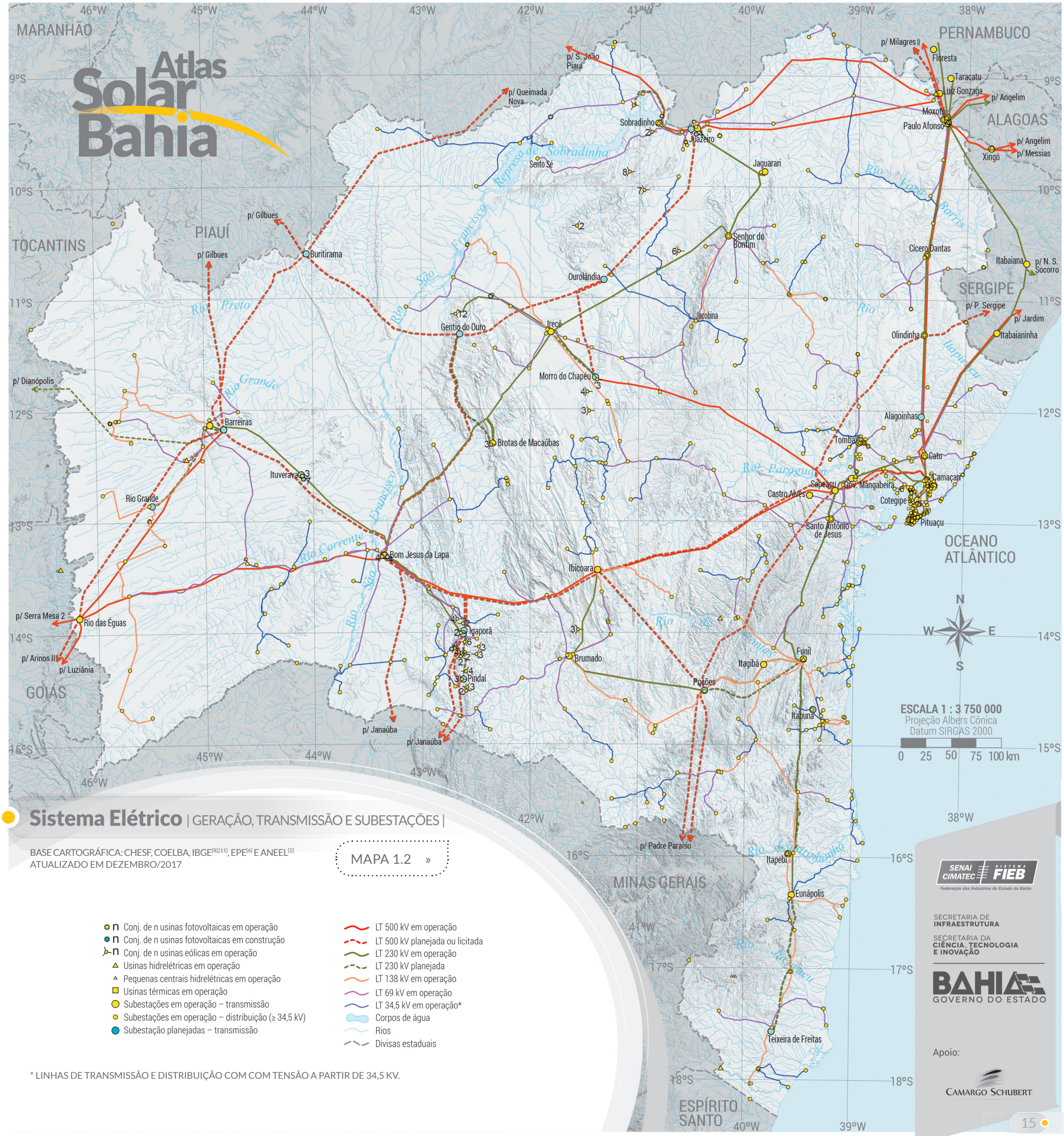
MAPA 1.1 »




BASE CARTOGRÁFICA: SIT-BA, IBGE[8],[11] GOOGLE EARTH[7]

- Rodovias pavimentadas
- Rodovias implantadas*
- Rodovias em leito natural*
- Ferrovias
- Vilas
- Sedes municipais
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Portos
- Ancoradouros
- Aeroportos

* AS RODOVIAS IMPLANTADAS SÃO AQUELAS CONSTRUÍDAS DE ACORDO COM AS NORMAS DE PROJETO GEOMÉTRICO DO DNIT, NORMALMENTE SEM PAVIMENTAÇÃO, MAS COM REVESTIMENTO PRIMÁRIO. AS RODOVIAS COM SUPERFÍCIE DE ROLAMENTO NO PRÓPRIO LEITO NATURAL SÃO AQUELAS CONSTRUÍDAS EM PRIMEIRA ABERTURA, SEM ATENDIMENTO ÀS NORMAS.




# Sistema Elétrico | GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E SUBESTAÇÕES |

BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, IBGE[8],[11], EPE[6] E ANEEL[2]
ATUALIZADO EM DEZEMBRO/2017

MAPA 1.2 »

- n Conj. de n usinas fotovoltaicas em operação
- n Conj. de n usinas fotovoltaicas em construção
- n Conj. de n usinas eólicas em operação
- Usinas hidrelétricas em operação
- Pequenas centrais hidrelétricas em operação
- Usinas térmicas em operação
- Subestações em operação – transmissão
- Subestações em operação – distribuição (≥ 34,5 kV)
- Subestação planejadas – transmissão
- LT 500 kV em operação
- LT 500 kV planejada ou licitada
- LT 230 kV em operação
- LT 230 kV planejada
- LT 138 kV em operação
- LT 69 kV em operação
- LT 34,5 kV em operação*
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais

* LINHAS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO COM COM TENSÃO A PARTIR DE 34,5 KV.

SENAI CIMATEC | SISTEMA FIEB
Federação das Indústrias do Estado da Bahia

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

BAHIA GOVERNO DO ESTADO

Apoio:
CAMARGO SCHUBERT

Atlas Solar Bahia

# 2

# RADIAÇÃO SOLAR E CLIMATOLOGIA

## 2.1 MAGNITUDES DE REFERÊNCIA PARA CARACTERIZAÇÃO DO RECURSO SOLAR

O desenvolvimento de um projeto de aproveitamento solar requer estimativas confiáveis de produção de energia. Tais estimativas são calculadas a partir de medições de diferentes parâmetros meteorológicos, realizadas no sítio de projeto, atendendo a requisitos de qualidade que garantem precisão. As medições impactam não somente na produção, mas também na definição técnica do projeto em si, que utilizará a tecnologia que melhor aproveitará o recurso. Nesta seção, são relacionados os parâmetros cuja aferição é relevante para o desenvolvimento de empreendimentos solares. Após uma breve introdução teórica, será apresentada uma descrição sucinta de cada um deles, bem como de suas magnitudes de referência e sua importância nas campanhas de monitoramento.

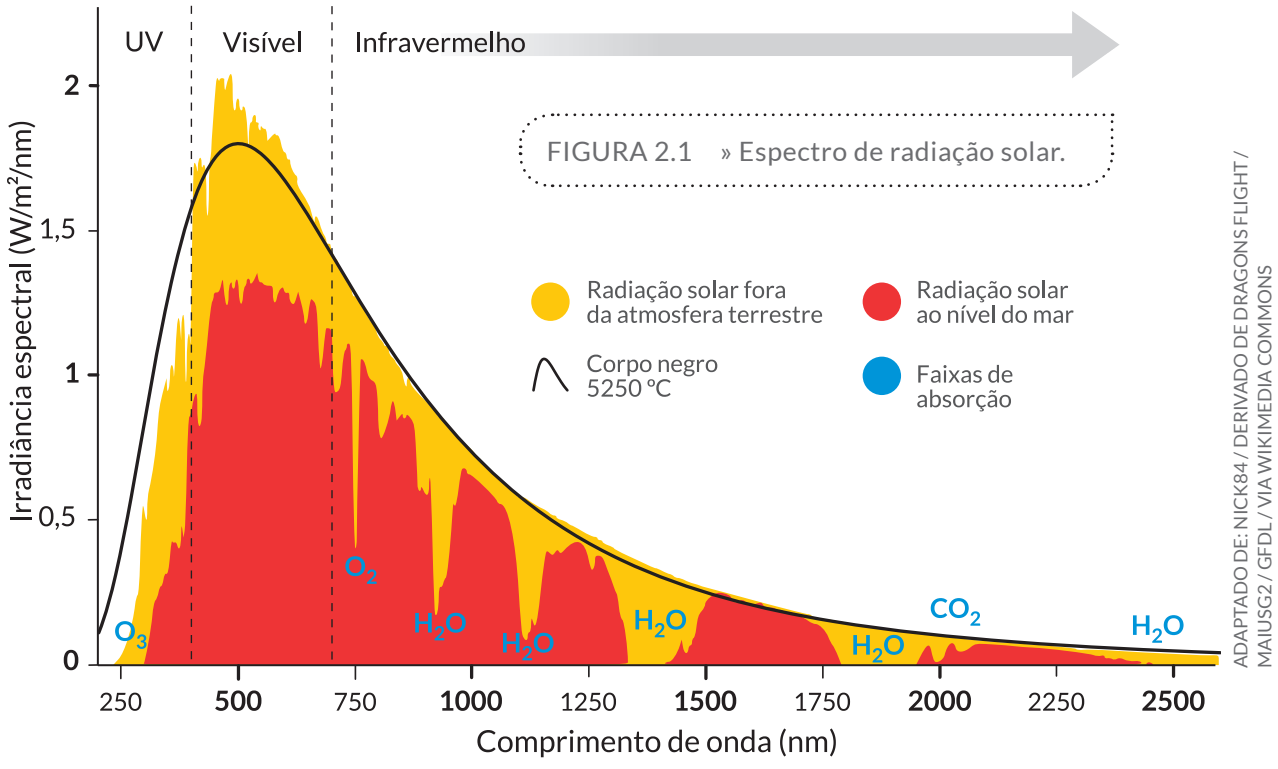



FIGURA 2.1 » Espectro de radiação solar.

ADAPTADO DE: NICK84 / DERIVADO DE DRAGONS FLIGHT / MAIUSG2 / GFDL / VIA WIKIMEDIA COMMONS

No estudo da radiação solar, a primeira distinção entre os tipos de radiação é realizada de acordo com o nível em relação ao solo, diferenciando-se a radiação extraterrestre, i. e., externa às camadas atmosféricas, da radiação incidente ao nível da superfície. A radiação é caracterizada pela distribuição espectral em função do comprimento de onda. Durante o caminho até o solo, essa distribuição se altera.

A radiação emitida pelo Sol situa-se na faixa entre 300 a 3.000~4.000 nm de comprimento de onda. Ao atravessar a atmosfera, parte dos raios é dispersa pelas moléculas do ar, ao ser refletida, absorvida ou espalhada. Nas camadas de nuvens, esses fenômenos ocorrem com maior intensidade, resultando também em emissão na forma de raios infravermelhos. O restante que não é filtrado e atinge a superfície terrestre também é refletido, absorvido ou reemitido em outros comprimentos de onda. O objeto de estudo de interesse para o aproveitamento na produção de eletricidade é a radiação com espectro característico da superfície.

A FIGURA 2.1 mostra a distribuição espectral da radiação solar observada nos diferentes níveis atmosféricos.

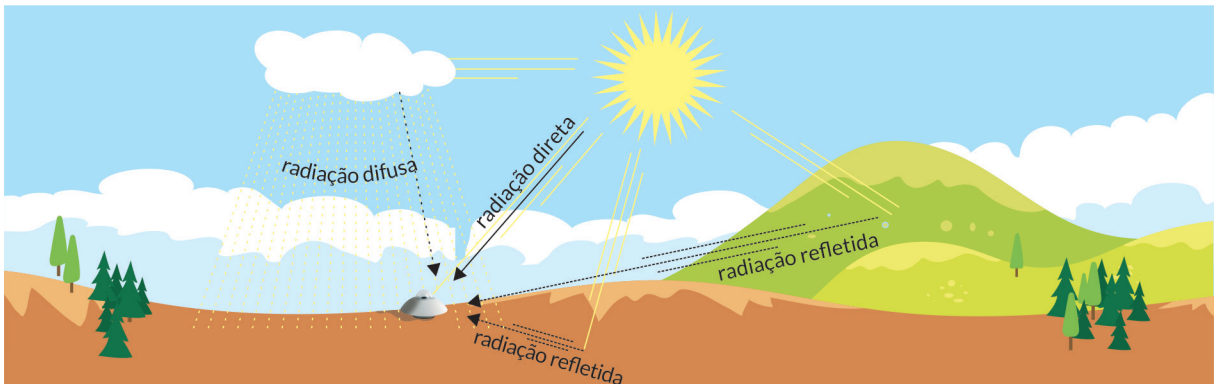
Cada equipamento de medição de radiação (radiômetro) possui, de acordo com seu princípio construtivo, a capacidade de registrar um intervalo espectral específico, que deve ser observado durante a especificação da campanha. Equipamentos com qualidade superior normalmente são capazes de registrar faixas mais abrangentes de comprimento de onda. Essas faixas variam de 300-1800 nm até 190-4.000 nm, dependendo da qualidade do equipamento.

Da mesma forma, as diferentes tecnologias de transformação de energia são projetadas para intervalos distintos de comprimento de onda. Como será visto no Capítulo 4, a distinção entre diferentes tecnologias fotovoltaicas é normalmente função do material com que se constroem as células. Os sensores utilizados em estações solares devem, portanto, estar aptos a quantificar os comprimentos de onda adequados, conforme o projeto da futura instalação.

Pode-se decompor a radiação solar que incide sobre a superfície em três principais componentes utilizadas quantitativamente no dimensionamento de sistemas de geração solar: as componentes de radiação normal direta, difusa horizontal e global horizontal. Essas grandezas relacionam-se pelos ângulos de incidência e posição solar.

Qualitativamente, pode-se considerar a radiação solar observada num ponto em outras três componentes, de acordo com a FIGURA 2.2. A radiação que chega à superfície sem espalhamento na atmosfera é chamada direta. Quando a radiação é espalhada por elementos da atmosfera, tais como nuvens, chama-se componente difusa. E quando a radiação é refletida após atingir a superfície, chama-se componente refletida.

FIGURA 2.2 » Decomposição das componentes de radiação solar.




ADAPTADO DE ESRI[2]

## 2.2 PARÂMETROS DE RADIAÇÃO

### 2.2.1 IRRADIÂNCIA GLOBAL HORIZONTAL – GHI (W/m²)

A Irradiância Global Horizontal – GHI (*Global Horizontal Irradiance*) corresponde ao nível de radiação capturado na superfície horizontal ao nível do solo (ângulo sólido de 2 π sr). É a principal componente para avaliar os níveis de produção alcançáveis em plantas fotovoltaicas e é medida por **piranômetros**. Define-se a integral da irradiância no tempo como **irradiação** solar (W/m²/tempo)[4].

A incidência de radiação na superfície ao redor do planeta é função de vários fatores, como latitude, altitude, nebulosidade, presença de aerossóis e inclinação do terreno. Nesse sentido, o Estado da Bahia tem uma localização privilegiada, pois está em baixas latitudes e possui uma vasta porção do seu território com altitudes acima dos 800 m de altura, porção essa que coincide com regiões afastadas de grandes centros urbanos (i.e., com pouca incidência de poluentes na atmosfera). A ocorrência de extensas planícies e chapadas no oeste baiano também é favorável à energia solar, uma vez que áreas planas possibilitam melhores taxas de aproveitamento.

O mapa da FIGURA 2.3, elaborado pela AWS Truepower – AWST – em 2013, mostra a distribuição da GHI na América do Sul. Destaca-se a posição da Bahia que, juntamente com estados vizinhos no Nordeste Brasileiro, concentra valores relativamente altos. Sobressaem-se também como regiões privilegiadas as grandes altitudes na Cordilheira dos Andes, onde se estimam os valores médios mais altos de incidência de radiação solar do continente.

### 2.2.2 IRRADIÂNCIA GLOBAL NO PLANO INCLINADO – POA (W/m²)

A Irradiância no Plano Inclinado – POA (*Plane of Array*) é um parâmetro complementar à GHI, que auxilia na definição dos níveis de irradiância aproveitáveis no sítio. A medida é aferida por piranômetros em posição inclinada. A inclinação dos geradores fotovoltaicos é dimensionada para maximizar a produção em função da latitude do local e da minimização do sombreamento entre fileiras de módulos do campo fotovoltaico. Durante a campanha de medições, a instalação de um piranômetro com a mesma inclinação da futura usina

## AMÉRICA DO SUL – POTENCIAL SOLAR

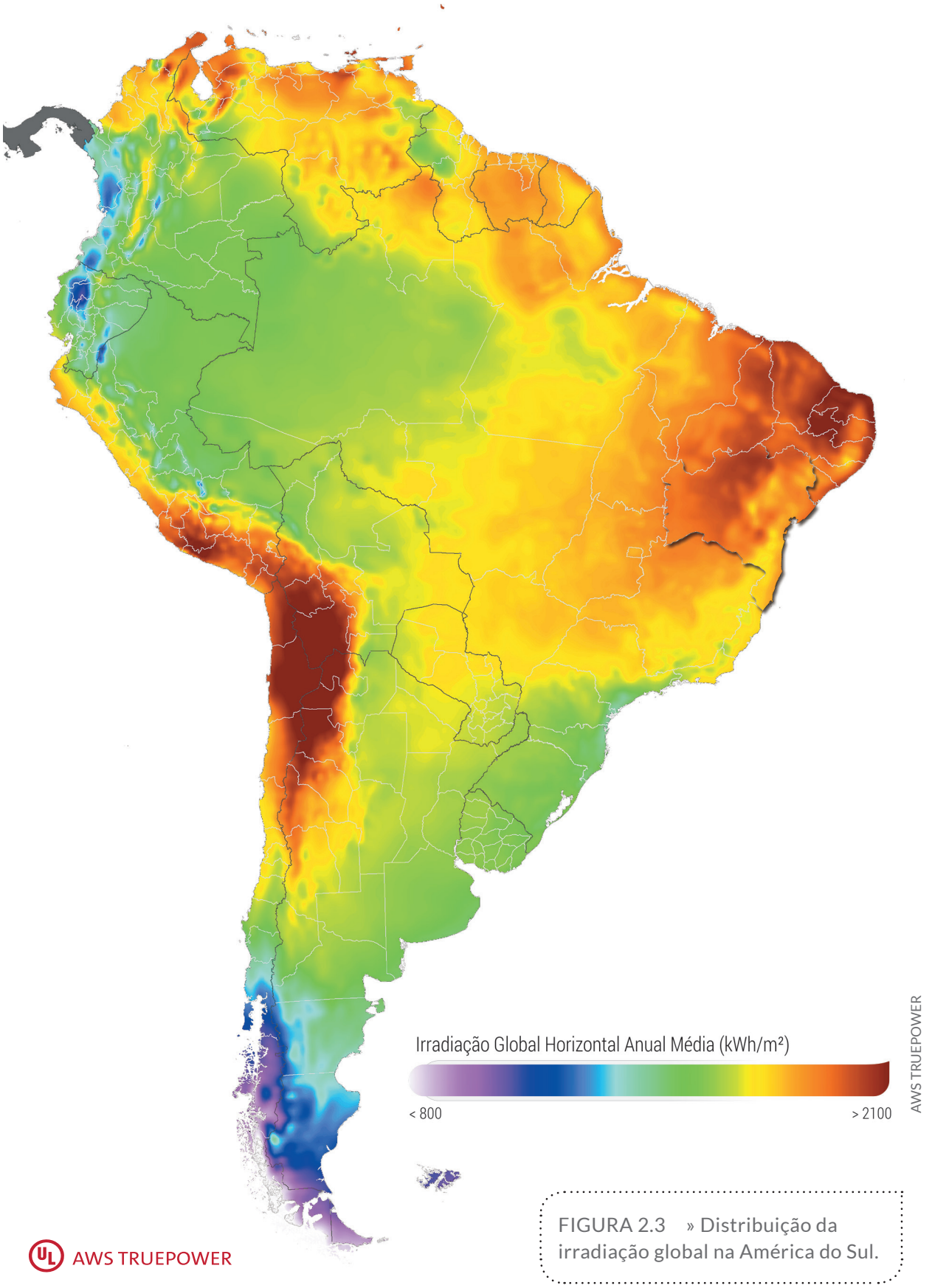



FIGURA 2.3 » Distribuição da irradiação global na América do Sul.

quantifica o ganho obtido por inclinar o campo fotovoltaico frente a um posicionamento plano.

O mesmo tipo de piranômetro pode ser utilizado para medir a POA em estruturas de inclinação fixa e em plantas com rastreadores em operação, ou seja, estruturas móveis que seguem a posição solar para melhor aproveitamento da radiação.

Mesmo sendo interessante tecnicamente, o registro desse parâmetro não é tão comum em campanhas solarimétricas, já que a inclinação final do campo fotovoltaico, bem como o azimute e a distância entre fileiras dos módulos tendem a ser definidos em fases posteriores do projeto, após escolhida a tecnologia definitiva. O valor da POA, por outro lado, em vez de medido no sítio, pode ser calculado durante a modelagem no processo de simulação energética, a partir dos valores da GHI e do projeto final da instalação.

### 2.2.3 IRRADIÂNCIA DIFUSA HORIZONTAL – DHI OU DfHI (W/m²)

A Irradiância Difusa Horizontal – DHI (*Diffuse Horizonal Irradiance*) é a medida da radiação refletida por diferentes camadas da atmosfera e atinge a superfície no plano horizontal. Os níveis de DHI são medidos complementarmente ao parâmetro global (GHI) para o dimensionamento de instalações fotovoltaicas, através de um sistema específico que combina um piranômetro com um sistema de sombreamento pontual associado. A sensibilidade do sistema fotovoltaico à componente DHI é função do tipo de tecnologia (Si-cristalino, Si-amorfo ou outras de filme fino), de modo que aquela que é mais adequada ao local pode ser determinada a partir da razão DHI/GHI. Usualmente, valores baixos dessa razão indicam melhor aproveitamento do recurso.

### 2.2.4 IRRADIÂNCIA NORMAL DIRETA – DNI (W/m²)

A Irradiância Normal Direta – DNI (*Direct Normal Irradiance*) é o parâmetro que caracteriza a radiação direta emitida pela esfera solar (o termo "normal" remete à posição do plano receptor perpendicular à direção do feixe solar). A medição direta em campo da componente DNI é realizada por um **piro-heliômetro** com sistema de rastreamento, e é a principal componente utilizada para avaliação de Sistemas de Concentração Solar – *CSP* (*Concentrated Solar Power*), sejam eles do tipo parabólico, revolução cilíndrica ou de receptor central (também chamado torre central). O parâmetro também é utilizado no dimensionamento de Sistemas de Concentração Fotovoltaica – *CPV* (*Concentrator Photovoltaics*).

A operação de piro-heliômetros por longos períodos é mais complexa e custosa que de piranômetros simples e, muitas vezes, a aferição da DNI em campo não é viável técnica ou economicamente. A medida pode ser, todavia, aferida de maneira "indireta", calculando-se o seu valor a partir das medidas de GHI e DHI, que se relacionam em função do azimute e do ângulo solar zenital. A alternativa é mais econômica, embora sujeita a erros. Quando realizada de maneira direta, isto é, por meio do piro-heliômetro, a DNI é usada para validar os resultados das medidas DHI em sítios dotados de sensores para as três componentes, permitindo melhor avaliação das incertezas das medições. A relação que une os três parâmetros é a seguinte:

$$GHI = DNI \cos(\phi) + DHI$$

onde $\phi$ varia com a posição do Sol em relação à superfície terrestre.

### 2.2.5 RADIAÇÃO DE ONDA LONGA (RADIAÇÃO INFRAVERMELHA DISTANTE)

Esse parâmetro influencia o nível de radiação trocada entre o meio ambiente e o equipamento quando em alta temperatura. As ondas longas distantes originam-se na reflexão e no redirecionamento da radiação extraterrestre que ocorrem durante a sua passagem pela atmosfera. O parâmetro é medido por um **pirgeômetro** em uma superfície horizontal e é de aferição opcional em sistemas CSP.

### 2.2.6 ALBEDO – α (%) E RADIAÇÃO SOLAR LÍQUIDA

Define-se albedo como a fração da radiação incidente total que é refletida pela superfície terrestre. É função da distribuição das direções da radiação incidente e das propriedades da superfície, sendo medida por um **albedômetro** ou **piranômetro duplo**. Alguns valores de referência típicos são 4% para asfalto, 15% para grama verde e 90% para neve.

A radiação solar líquida é obtida comparando-se a radiação incidente com a radiação emitida ou refletida pela superfície, as quais são medidas por piranômetros equivalentes, posicionados com orientação oposta (céu e solo).

Por meio do balanço de radiação líquida, é possível obter o albedo tanto para a radiação de ondas longas como de ondas curtas. Dependendo dos valores de interesse, utilizam-se dois piranômetros para radiação de ondas longas e dois piranômetros para radiação de ondas curtas.

### 2.2.7 HORAS DE SOL

O parâmetro refere-se especificamente à quantidade diária de horas em que a irradiância solar direta tem níveis superiores a 120 W/m², conforme referência estabelecida pela Organização Meteorológica Mundial – WMO (*World Meteorological Organization*)[1]. A medida não fornece informações diretas para a quantificação da produção de energia solar, mas tem aplicações em agricultura, biologia e meteorologia, sendo normalmente aferida por um **heliógrafo *laser*** ou **solarímetro de Campbell Stokes**.

Outro parâmetro de natureza semelhante, mas com efetivas aplicações em energias renováveis é a "hora solar pico", que mede as horas com irradiância superior a 1.000 W/m².

### 2.2.8 PROFUNDIDADE ÓPTICA DE AEROSSÓIS – AOD

Parâmetro adimensional associado à transparência de um meio. Indica o nível de radiação solar que não atinge a superfície devido à atmosfera, ou seja, quantifica a radiação extinta devido à absorção ou dispersão dos aerossóis. A medição é realizada para uma determinada faixa de comprimento de onda utilizando-se um **fotômetro** ou **radiômetro de filtro**, ou ainda um **fotômetro solar automático**.

A AOD é calculada a partir das referidas medições de radiação pontual e outros fatores como localização, pressão, temperatura e coluna de ozônio. Os fotômetros solares automáticos estimam a AOD a partir da medição de perfis de aerossóis opticamente ativos na atmosfera.

Os ambientes com baixos níveis de AOD são preferíveis para a produção de energia solar. Entretanto, o fotômetro é frequentemente dispensado em campanhas de monitoramento, pois se considera que as perdas associadas aos níveis de profundidade óptica

já estão embutidas nos níveis de radiação aferidos pelos piranômetros e piro-heliômetros. Desse modo, o valor da profundidade ótica acaba por não influir na estimativa de produção de energia. Ademais, a complexidade dos sensores é outro fator que praticamente inviabiliza a sua instalação em projetos de aproveitamento solar. A principal aplicação é em análises baseadas em dados de satélite.

### 2.2.9 DISTRIBUIÇÃO ESPECTRAL DA RADIAÇÃO

Os **espectro-radiômetros**, ou radiômetros de espectro permitem a avaliação da radiação solar em diferentes intervalos do espectro eletromagnético. A análise da distribuição espectral permite um estudo mais aprofundado para determinar as tecnologias apropriadas.

### 2.2.10 NEBULOSIDADE

A nebulosidade tem grande impacto nos níveis de radiação na superfície terrestre. Entretanto, de modo análogo ao que ocorre com o parâmetro AOD, as perdas associadas à nebulosidade já estão embutidas nas estimativas de energia realizadas a partir dos sensores de superfície. O parâmetro é utilizado, portanto, somente em aplicações específicas, como pesquisas, com o uso de equipamentos avançados.

A porção do céu coberto pode ser expressa em oitavos em relação à superfície total do céu (*oktas*) ou em porcentagem. No caso da estimativa em *oktas*, procede-se à medição com a divisão do céu em quadrantes, fazendo-se a estimativa separadamente, encontrando-se um valor médio.

Pode-se realizar essas medidas por captura de imagens do céu e tecnologias avançadas que calculam a evolução temporal no pós-processamento. O equipamento utilizado para aferir essas medidas é a **câmera do céu** (imagem do céu).

## 2.3 OUTROS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

A seguir, são relacionados parâmetros meteorológicos complementares, necessários em campanhas solarimétricas. Essas variáveis contribuem para a completa caracterização climática do sítio, inclusive a determinação do tipo de ano meteorológico. Seus limites e médias podem impactar tanto no projeto final da usina, como no seu desempenho.

### 2.3.1 TEMPERATURA AMBIENTE – $T_{amb}$ (°C), TEMPERATURA DA CÉLULA FOTOVOLTAICA – $T_{cel}$ (°C)

A medição da temperatura em plantas fotovoltaicas é realizada por um **termopar** ou **termistor**. A temperatura tem efeito direto sobre a eficiência dos módulos fotovoltaicos, afetados negativamente na sua capacidade de produção com o seu aumento. É, portanto, uma medida essencial na avaliação de plantas fotovoltaicas e é aconselhável o monitoramento de seus valores por, pelo menos, um ciclo anual.

### 2.3.2 VELOCIDADE – $v_w$ (m/s) E DIREÇÃO DO VENTO – $d_w$ (°)

Enquanto os limites de velocidade do vento são utilizados para o projeto estrutural do sistema, a caracterização do vento é considerada no cálculo da produção de instalações fotovoltaicas, pois a movimentação do ar ajuda no resfriamento e na atenuação dos efeitos de temperaturas extremas. A velocidade e direção do vento são medidas, respectivamente, por um anemômetro e por uma *windvane* (biruta).

Nas aplicações CSP, o vento influencia na deformação dos coletores e os efeitos de convecção sobre o receptor, alterando a sua eficiência. Para ambas as tecnologias (PV e CSP), existem limites na velocidade do vento para a adequada operação dos equipamentos.

### 2.3.3 PRECIPITAÇÃO (mm)

Apesar de não essencial na caracterização de um sítio solarimétrico, o registro de precipitação completa a caracterização climática e contribui na avaliação da correlação entre tendências dos níveis de precipitação e insolação.

## 2.4 INCERTEZA DA MEDIDA DA RADIAÇÃO SOLAR

Conforme mencionado anteriormente, a principal medida para a caracterização do recurso solar orientado para aplicações em energia fotovoltaica é a GHI. Distintas especificações do piranômetro resultam maior ou menor grau de precisão, características essas que devem ser levadas em conta, a depender do grau de exigência da aplicação.

Os piranômetros apresentam diferentes categorias de classificação, de acordo com a incerteza associada aos valores de calibração por equipamentos de referência. A qualidade do sensor é definida pela classificação ISO. Segue-se um resumo dos fatores que influenciam a incerteza da medição dos piranômetros:

FATORES DETERMINANTES NA INCERTEZA DE MEDIÇÃO DOS PIRANÔMETROS

| Fator | Descrição |
|---|---|
| Resolução | Menor variação de radiação detectável pelo instrumento |
| Sensibilidade | Razão entre o sinal de saída elétrica e o nível de irradiação incidente |
| Variação de parâmetros ambientais (umidade, vento, temperatura, pressão) | Variáveis que influenciam na sensibilidade |
| Não linearidade da resposta | Variação da sensibilidade devida à variabilidade nos diferentes níveis de irradiação |

TABELA 2.1 »

Devido à importância da GHI em uma campanha de medições, normalmente se recomenda a instalação de piranômetros de maneira redundante, i. e., duplicada. Os projetos com medidas redundantes são mais consistentes e com melhores taxas de aproveitamento de dados, uma vez que propiciam

verificações na etapa de validação e testes de consistência, evitando lacunas nos dados em caso de falhas em um dos equipamentos.

## 2.5 CLIMATOLOGIA DA RADIAÇÃO SOLAR NO ESTADO DA BAHIA

A variação da incidência do recurso solar ao longo do ano é influenciada principalmente pela latitude, que define a duração do dia e a inclinação do Sol ao longo das diferentes estações do ano. Outro fator importante é a variação da nebulosidade, que é influenciada pela umidade, por sua vez associada à variação fenológica da vegetação, à proximidade ao mar, comportamento do vento, chuvas, etc.

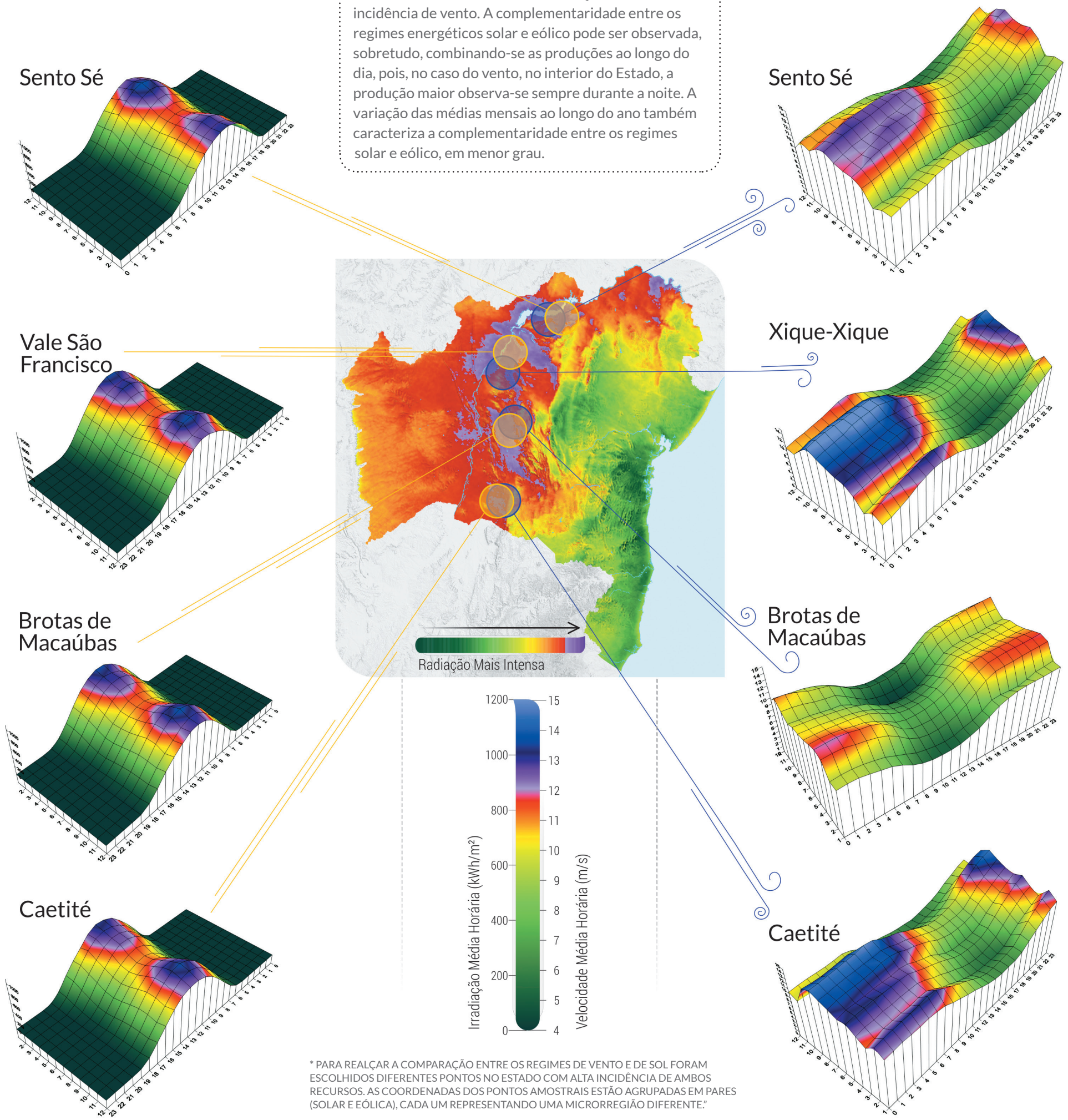
A Bahia encontra-se em uma região relativamente de baixa latitude (entre os paralelos 8º e 20º), o que reduz a variação da duração dos dias entre o verão e o inverno. A respeito da nebulosidade, na porção leste do Estado, esse parâmetro varia relativamente pouco ao longo do ano, ao contrário da porção oeste, que se mantém com céu limpo quase somente nos meses de inverno. A variação da nebulosidade no interior do Estado da Bahia ao longo do ano contribui de maneira inversa para a incidência da radiação solar, face à variação das horas de sol diárias. Por um lado, o dia é mais curto no inverno, diminuindo a incidência solar, e por outro, nesse mesmo período do inverno, o céu é mais limpo. Possivelmente, nesse sentido, a nebulosidade contribui para atenuar a variação na incidência média de radiação ao longo do ano, sendo essa variação também relativamente pequena nesta porção do Estado. O resultado da soma desses impactos opostos pode variar em diferentes microrregiões e, para a avaliação do impacto global dessas variabilidades, deve-se quantificar as diferenças no âmbito anual, focando-se na comparação entre os diferentes sítios.

Na próxima página, são apresentados gráficos ilustrando o regime diurno médio mensal da incidência de radiação solar em quatro pontos ao longo do centro do Estado. Conforme mostram estes gráficos (FIGURA 2.4), a irradiação média horária, no centro do Estado, varia aproximadamente entre 700 a 1.100 Wh/m² entre o pior e melhor mês nas faixas centrais diárias. Essa variação relativamente pequena também pode ser observada nos mapas de radiação solar sazonais e mensais que são apresentados no Capítulo 6.

Nesta figura também estão inseridos os dados de variabilidade da velocidade do vento. O objetivo é ilustrar uma possível complementaridade entre a produção de energia a partir de fontes solar e eólica. Essa complementaridade pode ser observada em especial nas chapadas do interior baiano, onde o vento é sempre maior durante a noite e, ao longo do dia é bem menor, ao contrário dos picos de radiação solar, que ocorrem próximos ao período de menor vento. Ademais, tal complementaridade pode ser observada, em menor grau, no regime anual, registrando-se nos meses de inverno os menores valores acumulados de irradiação, próximos aos picos anuais de velocidade média do vento.

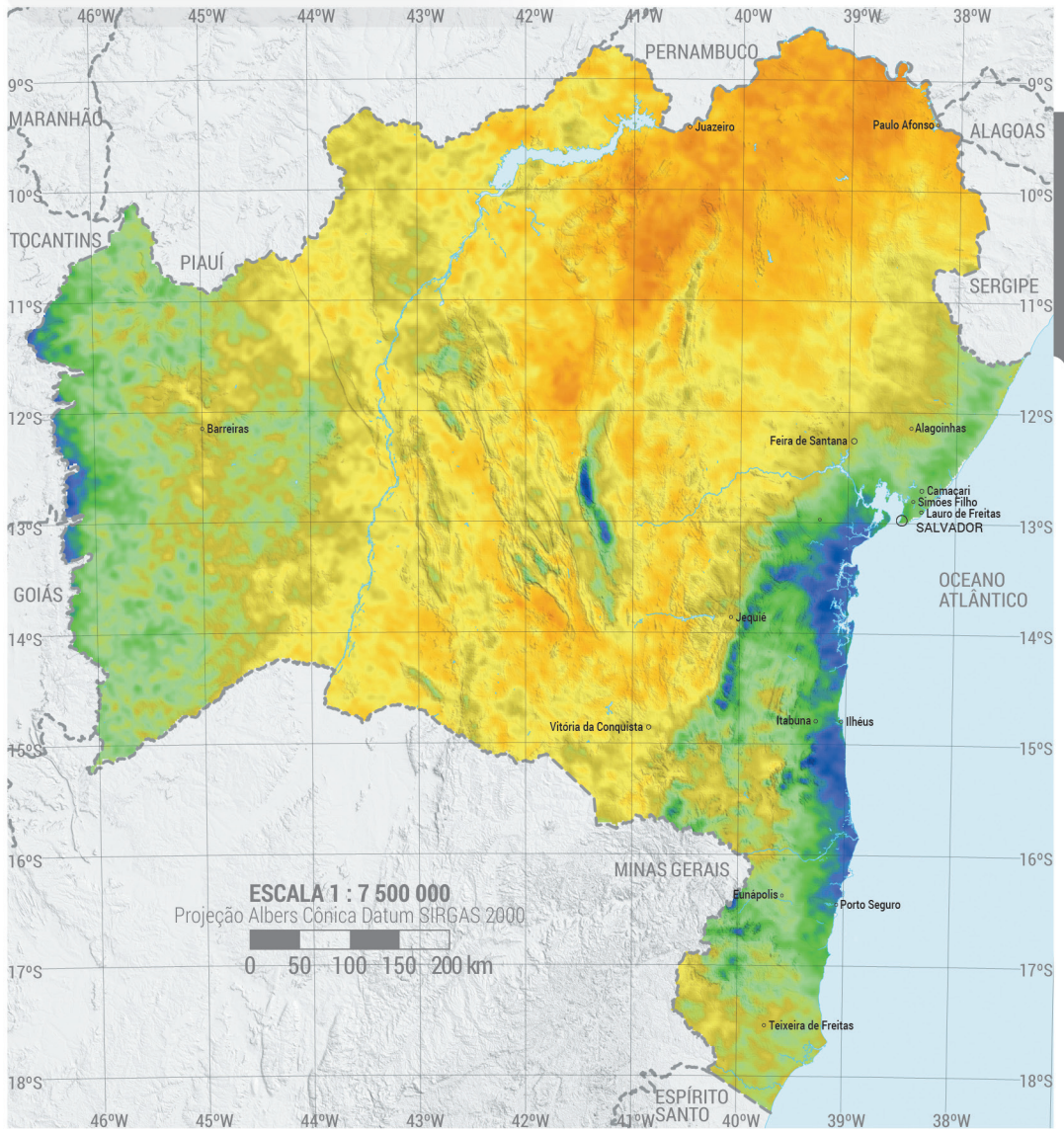
Nas páginas subsequentes, são apresentados mapas de precipitação anual e sazonal no Estado (MAPA 2.1), seguidos por mapas ilustrando a variação da nebulosidade ao longo do ano (MAPA 2.2). Ambos os parâmetros influenciam sensivelmente a incidência de radiação solar.

FIGURA 2.4 » Comparação* entre o regime diurno médio mensal da incidência de radiação solar com a incidência de vento. A complementaridade entre os regimes energéticos solar e eólico pode ser observada, sobretudo, combinando-se as produções ao longo do dia, pois, no caso do vento, no interior do Estado, a produção maior observa-se sempre durante a noite. A variação das médias mensais ao longo do ano também caracteriza a complementaridade entre os regimes solar e eólico, em menor grau.



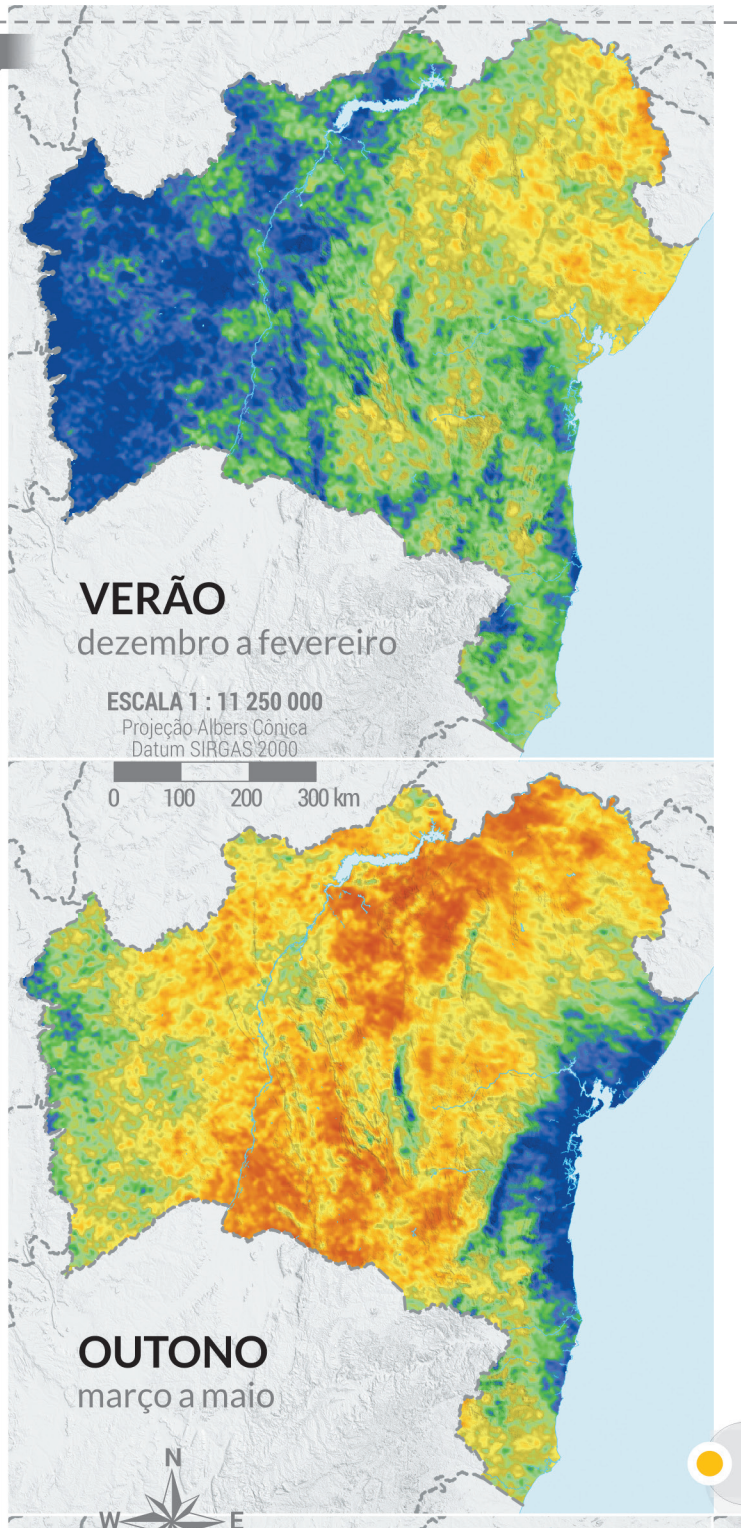

* PARA REALÇAR A COMPARAÇÃO ENTRE OS REGIMES DE VENTO E DE SOL FORAM ESCOLHIDOS DIFERENTES PONTOS NO ESTADO COM ALTA INCIDÊNCIA DE AMBOS RECURSOS. AS COORDENADAS DOS PONTOS AMOSTRAIS ESTÃO AGRUPADAS EM PARES (SOLAR E EÓLICA), CADA UM REPRESENTANDO UMA MICRORREGIÃO DIFERENTE."

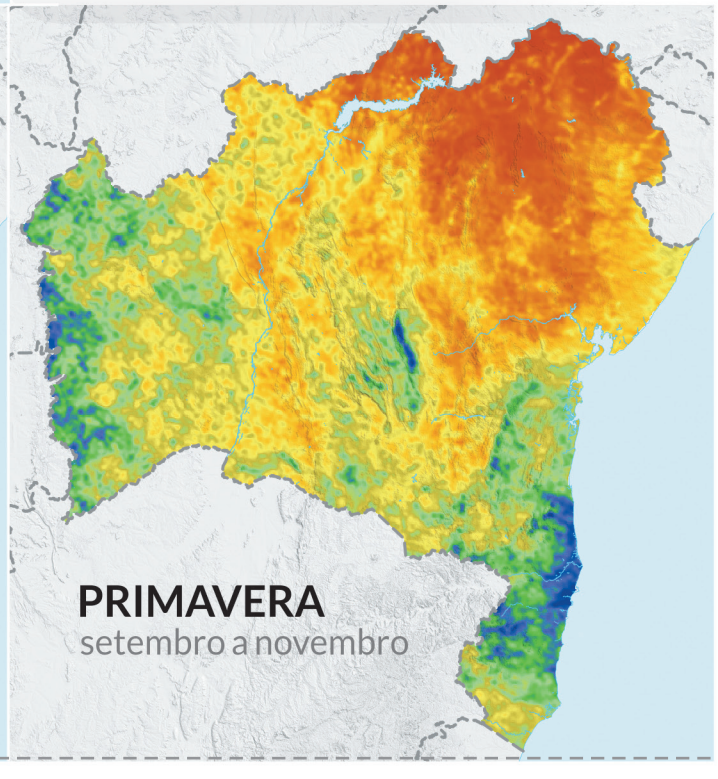
## Precipitação Acumulada Média Anual

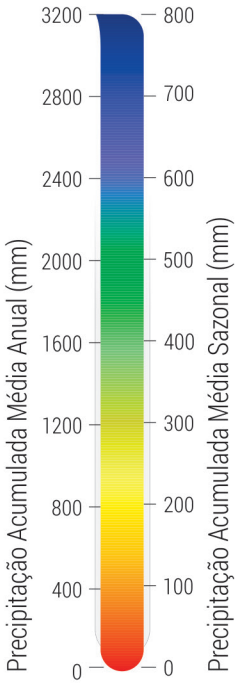



MAPA 2.1 » Precipitação acumulada média anual e sazonal no Estado da Bahia. Mapas extraídos dos dados do Modelo WRF, pela AWS Truepower, ajustados pelas Normais Climatológicas do INMET[3].

## Precipitação Acumulada Média Sazonal

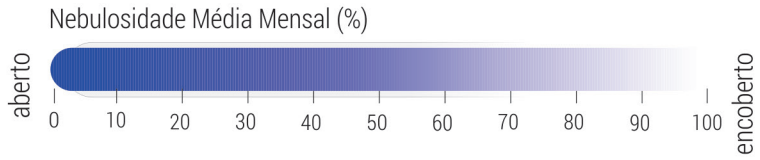


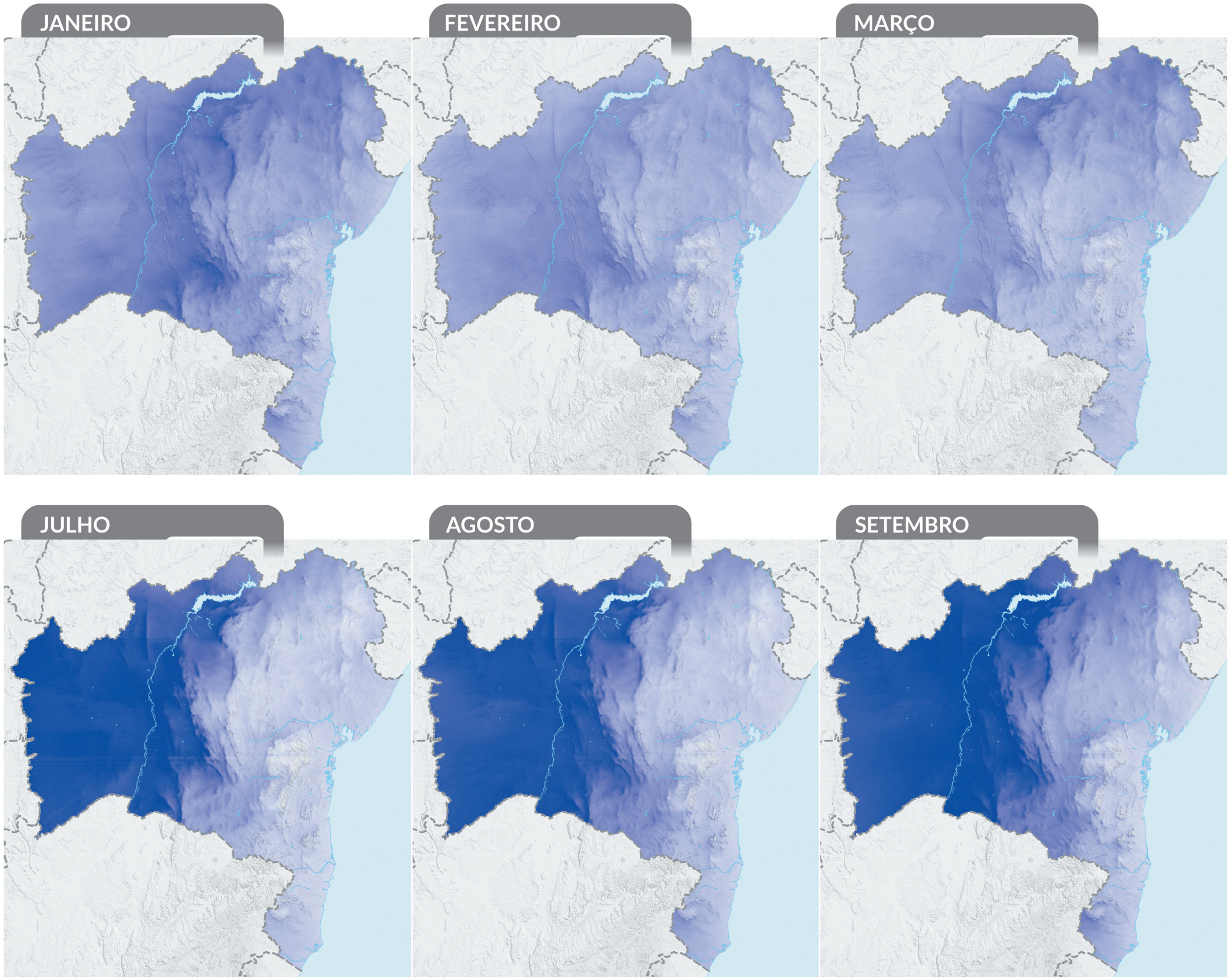


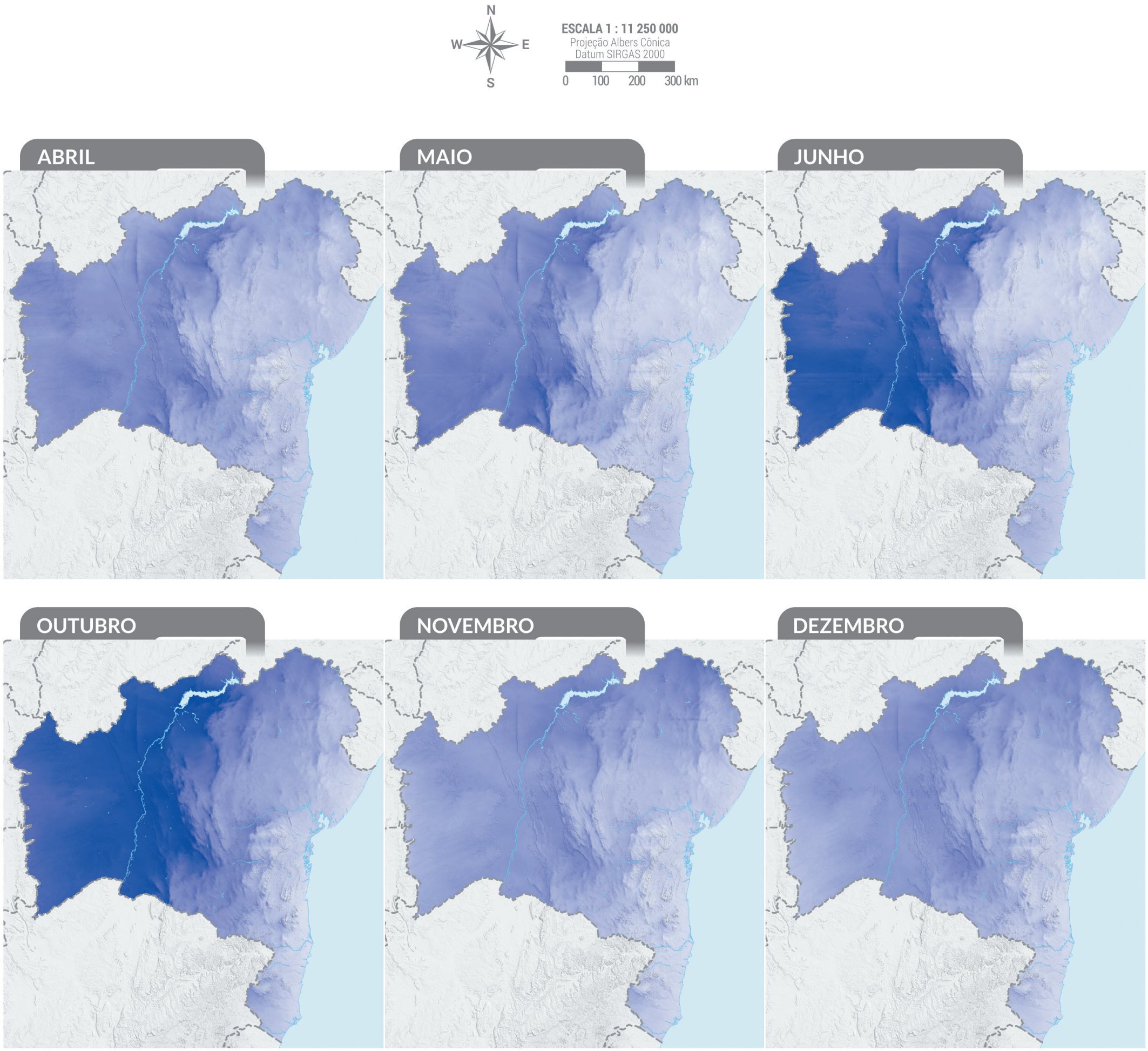



## Nebulosidade Média Mensal

MAPA 2.2 » Variação da Nebulosidade no Estado da Bahia ao longo do ano. Mapas calculados por AWS Truepower, extraídos dos dados do Modelo WRF.




N
W
E
S
ESCALA 1 : 11 250 000
Projeção Albers Cônica
Datum SIRGAS 2000
0 100 200 300 km
ABRIL
MAIO
JUNHO
OUTUBRO
NOVEMBRO
DEZEMBRO

Atlas Solar Bahia

# 3

# MEIO AMBIENTE

## 3.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

O estudo da legislação ambiental e o acompanhamento da sua dinâmica é de fundamental importância para o sucesso da implementação de um empreendimento de geração de energia elétrica. Os processos licenciatórios brasileiros normalmente são complexos, envolvem ampla documentação, prazos e exigências diversas que acabam tornando-os decisivos para a viabilidade dos projetos. A despeito da complexidade das atividades que se desempenham em atenção ao meio ambiente e das regulações específicas relacionadas a esse assunto, a geração de energia elétrica a partir do potencial solar tem avançado nos últimos anos. A fonte solar está em expansão e já é uma realidade nos leilões de energia renováveis realizados pelo Governo Federal. Grande parte desse crescimento deve-se a uma legislação ambiental favorável e aos esforços simultâneos de empreendedores, órgãos legisladores da política ambiental nacional, órgãos reguladores e de controle e fiscalização.

Os órgãos governamentais no Estado da Bahia que gerenciam os processos de licenciamento ambiental de novos empreendimentos de energia solar são, na esfera federal, o Ministério de Meio Ambiente – MME, através do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA – e, na esfera estadual, a Secretaria de Meio Ambiente – SEMA, tendo como órgão executor o Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA. A base da legislação ambiental vigente inclui o novo Código Florestal Brasileiro[7], a Política Nacional do Meio Ambiente[16], as resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA[18], [19],[20],[21] e a Política de Meio Ambiente do Estado da Bahia[6], entre outros.

Desde 2001, o licenciamento ambiental de empreendimentos de infraestrutura elétrica com pequeno potencial de impacto ambiental é regulado pela Resolução CONAMA 279, que prevê a apresentação do Relatório Ambiental Simplificado – RAS, com prazo máximo de sessenta dias para a tramitação do processo[21]. Na Bahia, a emissão das licenças de localização é realizada pelo INEMA, que conta com a colaboração da Comissão Técnica de Garantia Ambiental – CTGA – da Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração (atual Secretaria de Desenvolvimento Econômico – SDE). Tal iniciativa tem o objetivo de acelerar o processo de licenciamento inicial para habilitação de empreendimentos solares na participação de leilões de energia promovidos pelo Governo Federal. O decreto estadual nº 16.963/16[5] prevê que os empreendimentos de geração de energia solar fotovoltaica estão sujeitos ao processo de licenciamento ambiental, porém os enquadra na categoria de pequeno potencial poluidor, o que simplifica as regras de licenciamento.

## 3.2 ÁREAS DE PROTEÇÃO NO ESTADO DA BAHIA

O Estado da Bahia é caracterizado por quatro grandes biomas: Mata Atlântica na porção sudeste e leste, Cerrado a oeste, Caatinga na região central e norte do Estado e o Bioma Marinho na costa. A cobertura vegetal inclui mais de 20 tipologias, tais como florestas ombrófilas, florestas estacionais, restinga, mangues, caatinga, cerrado, cerradão, campo cerrado, veredas, entre outras. Ao longo da faixa litorânea, há uma grande diversidade costeira e marinha[26], com uma parcela abrigada no primeiro parque nacional marinho do Brasil, o Arquipélago dos Abrolhos, instituído em 1983[11]. Para proteger o seu patrimônio natural, o Estado, em conjunto com o Governo Federal, mantém 72 Unidades de Conservação – UCs – federais e estaduais, das quais 29 são de Proteção Integral. Ainda há dezenas de Unidades de Conservação municipais, algumas delas apresentadas no MAPA 3.1.

As UCs são áreas de preservação regulamentadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC[15] e classificadas em categorias de manejo, de acordo com sua importância e objetivos. Conforme as restrições impostas, as categorias são agrupadas em Unidades de Uso Sustentável – UUSs – e Unidades de Proteção Integral – UPIs. Nas UPIs, é permitido apenas o "uso indireto dos recursos naturais". Nas UUSs, permite-se a utilização parcial dos recursos, podendo se admitir, inclusive, a presença de empreendimentos de geração, desde que em conformidade com o plano de manejo.

Na TABELA 3.1 são listadas as UUSs e UPIs estaduais e federais do Estado da Bahia. A localização das UCs é representada no MAPA 3.1, do qual se excluíram apenas as Reservas Particulares do Patrimônio Natural.

### 3.2.1 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO BOQUEIRÃO DA ONÇA E MORRO DO CHAPÉU

Dado o notável potencial solar calculado sobre algumas áreas de caatinga classificadas como prioritárias para conservação, faz-se necessário observar, compreender e respeitar o histórico e as premissas que conduziram à instalação destas Unidades de Conservação.

Criado em 1998[2], com o objetivo de proteger áreas de relevante interesse por sua flora e fauna endêmicas, centenas de nascentes, raras formações geológicas e sítios arqueológicos com registros de pinturas rupestres que compõem sua destacada beleza cênica[31],[23], o Parque Estadual do Morro do Chapéu passa atualmente por processo de estudos para revisão de seus limites[2],[3],[4],[24],[27].

Quanto à Unidade de Conservação do Boqueirão da Onça, alguns dos atributos que justificam a proteção desse sítio são os endemismos de fauna e flora, a ocorrência de vastos sistemas de cavernas, sítios arqueológicos e locais de grande beleza cênica, além do fato de tratar-se de vazio demográfico com vegetação nativa bem conservada e com ocorrência de populações remanescentes de espécies ameaçadas, como a arara-azul-de-lear (*Anodorhynchus leari*)[1] e a onça pintada (*Panthera onca*)[31]. A proposta, já autorizada pelo governo estadual em 2017, considera um Parque Nacional de 348.258,91 hectares e uma Área de Proteção Ambiental – APA de 497.626,89 hectares, que serão criados no semiárido baiano, abrangendo os municípios de Sento Sé, Campo Formoso, Sobradinho, Juazeiro, Morro do Chapéu e Umburanas. Recentemente, em julho de 2017, a Secretaria do Meio Ambiente expediu a notícia de que o governo da Bahia autorizou, junto ao Ministério do Meio Ambiente, a criação do Parque Nacional do Boqueirão da Onça, o que daria seguimento aos trâmites para publicação por parte do Governo Federal[30].

### 3.2.2 TERRAS INDÍGENAS, QUILOMBOS E ASSENTAMENTOS AGRÍCOLAS

O Estado da Bahia possui hoje uma diversidade de quinze povos indígenas, com população estimada de 40 mil pessoas que habitam 29 territórios espalhados por 24 municípios em cerca de 100

comunidades locais[29]. Há também 35 Quilombos no Estado e cerca de 550 Assentamentos Agrícolas em diversos estágios de demarcação[25], sendo que alguns desses sobrepõem-se a Unidades de Uso Sustentável. O MAPA 3.1 apresenta a distribuição dessas áreas especiais, sendo os respectivos Quilombos e Terras Indígenas também relacionados na TABELA 3.1.

A construção de usinas para geração solar em terras indígenas é dependente de decreto do Presidente da República a título de realização de obra pública que interesse ao desenvolvimento nacional[13]. Conforme estabelecido pela Constituição Federal de 1988, esta competência de "demarcar, proteger e fazer respeitar todos os bens e direitos dos povos indígena"[8] (nesse caso, o uso do solo) pertence à União.

Em territórios quilombolas, a titularidade fundiária, em nome da associação de moradores, é coletiva e inalienável[9]. Tais sítios, por se tratarem de reminiscências históricas, são tombados[10], fato esse que impõe restrições a todo tipo de empreendimento com qualquer potencial para causar impactos ao quilombo, estando localizado dentro de seu perímetro ou em área vizinha[12].

Para o desenvolvimento de usinas solares em assentamentos agrícolas, é preciso observar o prazo de 10 anos, contados a partir da concessão de uso da terra aos beneficiários, para que se possa proceder à cessão do uso do solo a terceiros por aquisição ou arrendamento[14].

## 3.3 ENERGIA SOLAR E MEIO AMBIENTE

A geração de energia solar é reconhecida como uma das fontes que menos agridem o meio ambiente dentre todas as formas atuais de geração, principalmente em função de ser praticamente livre de emissão de Gases do Efeito Estufa – GEE – durante sua operação[17].

Apesar de reduzido, cabe ponderar que toda tecnologia tem um impacto ambiental, que será ponderado pelo ciclo de vida do sistema na seleção das opções mais sustentáveis, considerando-se o processo de fabricação inicial e as fases de instalação, operação e descomissionamento.

As diferentes tecnologias fotovoltaicas implicam níveis distintos de impacto associados aos materiais que despendem energia durante os processos de fabricação. A energia intensa da fase de fabricação é, portanto, compensada durante a operação, período em que não é emitido $CO_2$ nem outros gases de efeito estufa. Além disso, a fase de fabricação implica produção de componentes contaminantes, muitos dos quais necessitam de um destino ao fim da vida útil dos módulos. Tais contaminantes são componentes metálicos, polímeros, plásticos, entre outros. Existem iniciativas que agrupam diferentes fabricantes para garantir o correto descomissionamento das plantas, assegurando que os elementos nocivos não sejam abandonados sem controle e, sim, sejam separados e reciclados na medida do possível. Um exem-

ZIG KOCH

FIGURA 3.1 » Área antrópica nas proximidades do Parque Estadual da Serra dos Montes Altos, região com níveis de irradiação maiores que 2.100 MWh/m²/ano.

FIGURA 3.2 » Área de Proteção Ambiental da Lagoa de Itaparica, no município de Xique-Xique. O local atinge níveis de irradiação superiores a 2.200 MWh/m²/ano. Entretanto, é inadequado para instalações fotovoltaicas devido ao ecossistema sensível do local.

plo é a organização sem fins lucrativos PV-Cycle[28] que oferece serviços de gestão sustentável de resíduos gerados por plantas fotovoltaicas e atua em distintos países há vários anos.

Outros fatores que marcam o nível de impacto ambiental incluem a capacidade instalada, a localização da instalação (i.e., sobre terrenos ou telhados), e o tipo de instalação (ver descrição no Capítulo 4).

Destacam-se a escalabilidade e a flexibilidade da tecnologia fotovoltaica, que varia desde menos de 1 kW pico instalado até grandes plantas que, no caso do Brasil, atingem conjuntos de até 200 MW~300 MW pico.

Dentre os impactos identificados no planejamento de plantas solares sobre terreno, estão a alteração da paisagem, os deslocamentos de terra, a supressão da vegetação e alterações da drenagem do terreno devido à abertura e/ou melhoria de acessos. Todavia, a flexibilidade inerente à tecnologia permite minimizar esses aspectos, limitando, quando possível, a área ocupada a terrenos de usos não protegidos ou agrícolas. Terrenos degradados, como aterros sanitários ou terras não produtivas, podem resultar adequados para locais de instalação.

Habitualmente, os projetos de geração centralizada são elaborados visando contratos de 20 anos de venda de energia, período dentro do qual o patrimônio existente em sua área de implantação será necessariamente documentado, sinalizado e conservado, em função do próprio processo de licenciamento ambiental. Isso ocorre, especialmente, em instalações localizadas em zonas rurais remotas, em que frequentemente é necessária a devida regularização das terras.

No âmbito socioeconômico, as contrapartidas da instalação de um complexo solar incluem programas de educação e profissionalização de comunidades locais e pagamentos de arrendamentos diretamente aos proprietários das áreas onde os parques de geração são instalados – casos em que as terras não pertencem ao empreendimento. As medidas compensatórias ambientais são estabelecidas no decorrer do processo de licenciamento.

No que diz respeito a instalações localizadas sobre telhados ou coberturas industriais, não se aplica a ocupação sobre o meio, já que são aproveitados espaços sem outros usos. Ademais, as instalações alcançam menores limites de capacidade, podendo, apenas na minoria dos casos, atingir a escala de MW. Tais condições minimizam ou até eliminam a necessidade de processos específicos de licenciamento ambiental, que normalmente são incorporados ao próprio projeto da edificação.

As instalações sobre telhados para serviços a comunidades em áreas não eletrificadas causam maior impacto por causa da necessidade de baterias, que requerem uma análise própria sobre o seu ciclo de vida.

Cabe lembrar que as instalações fotovoltaicas não produzem ruído, o que simplifica a instalação perto de zonas habitadas, como telhados residenciais ou proximidades de ecossistemas sensíveis ao ruído.

| | | | UNIDADE DE CONSERVAÇÃO | DIPLOMA LEGAL |
|---|---|---|---|---|
| UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE USO SUSTENTÁVEL | ESTADUAL | 1 | APA DO RIO PRETO | D.E. nº 10.019, de 06/06/2006 |
| | | 2 | APA BACIA DO RIO DE JANEIRO | D.E. nº 7.971, de 05/06/2001 |
| | | 3 | APA DUNAS E VEREDAS DO BAIXO-MÉDIO SÃO FRANCISCO | D.E. nº 6.547, de 20/07/1997 |
| | | 4 | APA LAGOA ITAPARICA | D.E. nº 6.546, de 18/07/1997 |
| | | 5 | APA LAGO DE SOBRADINHO | D.E. nº 9.957, de 31/03/2006 |
| | | 6 | APA GRUTAS DOS BREJÕES / VEREDAS DO ROMÃO GRAMACHO | D.E. nº 32.487, de 14/11/1985 |
| | | 7 | APA DE SÃO DESIDÉRIO | D.E. nº 10.020, de 06/06/2006 |
| | | 8 | APA SERRA BRANCA / RASO DA CATARINA | D.E. nº 7.972, de 06/06/2001 |
| | | 9 | APA MARIMBUS / IRAQUARA | D.E. nº 2.216, de 15/06/1993 |
| | | 10 | ARIE SERRA DO OROBÓ | D.E. nº 8.267, de 06/06/2002 |
| | | 11 | ARIE NASCENTE DO RIO DE CONTAS | D.E. nº 7.968, de 06/06/2001 |
| | | 12 | APA SERRA DO BARBADO | D.E. nº 2.183, de 08/06/1993 |
| | | 13 | APA LAGO DE PEDRA DO CAVALO | D.E. nº 6.548, de 18/07/1997 |
| | | 14 | APA MANGUE SECO | D.E. nº 605, de 06/11/1991 |
| | | 15 | APA LITORIAL NORTE DO ESTADO DA BAHIA | D.E. nº 1.046, de 17/03/1992 |
| | | 16 | APA PLATAFORMA CONTINENTAL DO LITORAL NORTE | D.E. nº 8.553, de 06/06/2003 |
| | | 17 | APA RIO CAPIVARA | D.E. nº 2.219, de 14/06/1993 |
| | | 18 | APA JOANES / IPITANGA | D.E. nº 7.596, de 05/06/1999 |
| | | 19 | APA LAGOAS E DUNAS DO ABAETÉ | D.E. nº 351, de 23/09/1987 |
| | | 20 | APA BACIA DO COBRE / SÃO BARTOLOMEU | D.E. nº 7.970, de 06/06/2001 |
| | | 21 | APA BAÍA DE TODOS OS SANTOS | D.E. nº 7.595, de 05/06/1999 |
| | | 22 | APA DE GUAIBIM | D.E. nº 1.164, de 11/05/1992 |
| | | 23 | APA CAMINHOS ECOLÓGICOS DE BOA ESPERANÇA | D.E. nº 8.552, de 05/06/2003 |
| | | 24 | APA ILHAS DE TINHARÉ E BOIPEBA | D.E. nº 1.240, de 05/06/1992 |
| | | 25 | APA PRATIGI | D.E. nº 8.036, de 20/09/2001 |
| | | 26 | APA BAÍA DE CAMAMU | D.E. nº 8.175, de 28/02/2002 |
| | | 27 | APA COSTA DE ITACARÉ / SERRA GRANDE | D.E. nº 2.186, de 08/06/1993 |
| | | 28 | APA LAGOA ENCANTADA | D.E. nº 2.217, de 15/06/1993 |
| | | 29 | APA DA SERRA DO OURO | D.E. nº 10.194, de 28/12/2006 |
| | | 30 | APA SANTO ANTÔNIO | D.E. nº 3.413, de 01/09/1994 |
| | | 31 | APA COROA VERMELHA | D.E. nº 2.184, de 07/06/1993 |
| | | 32 | APA CARAÍVA / TRANCOSO | D.E. nº 2.215, de 15/06/1993 |
| | | 33 | APA PONTA DA BALEIA / ABROLHOS | D.E. nº 2.218, de 15/06/1993 |
| | | 34 | PU PITUAÇU | D.E. nº 14.480, de 17/05/2013 |
| | | 35 | APA LAGOAS DE GUARAJUBA | Res. CEPRAM nº 387, de 27/02/1991 |
| | FEDERAL | 36 | RESEX DE CANAVIEIRAS | Decreto S/N, de 05/06/2006 |
| | | 37 | FLONA DE CONTENDAS DO SINCORÁ | Decreto S/N, de 21/09/1999 |
| | | 38 | RESEX MARINHA DA BAÍA DE IGUAPÉ | Decreto nº 12.058, de 13/10/2009 |
| | | 39 | RESEX DE CASSURUBÁ | Decreto S/N, de 05/06/2009 |
| | | 40 | ARIE COROBOBÓ | Res. CONAMA nº 5, de 05/06/1984 |
| | | 41 | FLONA DE CRISTÓPOLIS | Decreto S/N, de 18/05/2001 |
| | | 42 | APA DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO | Decreto S/N, de 27/09/2001 |
| | | 43 | APA SERRA DA TABATINGA | Decretos nº 99.278/1990 e S/N/2002 |
| | | 44 | RESEX CORUMBAU | Decreto S/N, de 22/09/2000 |
| | PARTICULAR | | RPPN BELAS ARTES | Portaria SEMA nº 48, de 04/06/2009 |
| | | | RPPN REFÚGIO DO GUIGÓ I E II | Portaria SEMA nº 133, de 08/10/2010 |
| | | | RPPN BRONZON | Portaria SEMA nº 134, de 08/10/2010 |
| | | | RPPN BOZI | Portaria SEMA nº 135, de 08/10/2010 |
| | | | RPPN RENASCER | Portaria SEMA nº 142, de 05/11/2010 |
| | | | RPPN LEMBRANÇA | Portaria SEMA nº 143, de 10/11/2010 |
| | | | RPPN ENGELHARDT | Portaria SEMA nº 51, de 03/05/2011 |
| | | | RPPN PIANISSOLI | Portaria SEMA nº 52, de 03/05/2011 |
| | | | RPPN DEMUNER | Em levantamento |
| | | | RPPN NOVA ANGÉLICA | Em levantamento |

## SIGLAS UTILIZADAS

| | | | |
|---|---|---|---|
| APA | Área de Proteção Ambiental | PARNA | Parque Nacional |
| ARIE | Área de Relevante Interesse Ecológico | REBIO | Reserva Biológica |
| ESEC | Estação Ecológica | RESEX | Reserva Extrativista |
| FLONA | Floresta Nacional | REVIS | Refúgio da Vida Silvestre |
| MONA | Monumento Natural | RPPN | Reserva Particular do Patrimônio Natural |
| PAE | Projeto de Assentamento Agroextrativista | PU | Parque Urbano |
| | | PE | Parque Estadual |

| | | | UNIDADE DE CONSERVAÇÃO | DIPLOMA LEGAL |
|---|---|---|---|---|
| UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL | ESTADUAL | A | ESEC RIO PRETO | D.E. nº 9.441, de 06/06/2005 |
| | | B | PE DO MORRO DO CHAPÉU | D.E. nº 7.413, de 18/08/1998 |
| | | C | MONA CACHOEIRA DO FERRO DOIDO | D.E. nº 7.412, de 18/08/1998 |
| | | D | PE DAS SETE PASSAGENS | D.E. nº 7.808, de 25/05/2000 |
| | | E | MONA DOS CANIONS DO SUBAÉ | D.E. nº 10.018, de 06/06/2006 |
| | | F | ESEC WENCESLAU GUIMARÃES | D.E. nº 6.228, de 22/02/1997 |
| | | G | PE DA SERRA DO CONDURU | D.E. nº 6.227, de 22/02/1997 |
| | | H | REVIS DA SERRA DOS MONTES ALTOS | D.E. nº 12.487, de 30/11/2010 |
| | | I | PE PONTA DA TULHA | D.E. nº 16.487, de 22/12/2015 |
| | | J | PE SERRA DOS MONTES ALTOS | D.E. nº 12.486, de 29/11/2010 |
| | FEDERAL | K | ESEC SERRA GERAL DO TOCANTINS | Decreto S/N, de 27/09/2001 |
| | | L | PARNA DAS NASCENTES DO RIO PARNAÍBA | Decreto S/N, de 16/07/2002 |
| | | M | ESEC RASO DA CATARINA | Portaria MMA nº 373, de 11/12/2001 |
| | | N | MONA DO RIO SÃO FRANCISCO | Decreto S/N, de 05/06/2009 |
| | | O | PARNA DA CHAPADA DIAMANTINA | Decreto nº 91.655, de 17/09/1985 |
| | | P | PARNA DE BOA NOVA | Decreto S/N, de 11/06/2010 |
| | | Q | PARNA DE SERRA DAS LONTRAS | Decreto S/N, de 11/06/2010 |
| | | R | REBIO DE UNA | Decreto nº 85.463, de 10/12/1980 |
| | | S | PARNA DO ALTO CARIRI | Decreto S/N, de 11/06/2010 |
| | | T | PARNA PAU BRASIL | Decreto S/N, de 11/06/2010 |
| | | U | REVIS DO RIO DOS FRADES | Decreto S/N, de 21/12/2007 |
| | | V | PARNA HISTÓRICO DO MONTE PASCOAL | Decreto nº 242, de 29/11/1961 |
| | | W | PARNA DO DESCOBRIMENTO | Decreto S/N, de 20/04/1999 |
| | | X | PARNA MARINHO DOS ABROLHOS | Decreto nº 88.218, de 06/04/1983 |
| | | Y | PARNA GRANDE SERTÃO VEREDAS | Decreto S/N, de 21/05/2004 |
| | | Z | REVIS DE BOA NOVA | Decreto S/N, de 11/06/2010 |
| | | AA | REVIS DAS VEREDAS DO OESTE BAIANO | Decreto S/N, de 13/12/2002 |
| | | AB | REVIS DE UNA | Decreto S/N, de 21/12/2007 |

| TERRA INDÍGENA | | MUNICÍPIO |
|---|---|---|
| TI01 | VARGEM ALEGRE | Serra do Ramalho |
| TI02 | FAZENDA REMANSO | Muquém de São Francisco |
| TI03 | BARRA | |
| TI04 | IBOTIRAMA | Ibotirama |
| TI05 | TUMBALALÁ | Abaré, Curaçá |
| TI06 | KANTARURÉ | Glória |
| TI07 | BREJO DO BURGO | Glória, Paulo Afonso, Rodelas |
| TI08 | PANKARARÉ | |
| TI09 | MASSACARA | Euclides da Cunha |
| TI10 | FAZENDA SÍTIO | Banzaê |
| TI11 | KIRIRI | Banzaê, Quijingue, Ribeira do Pombal, Tucano |
| TI12 | FAZENDA BAHIANA | Camamu |
| TI13 | TUPINAMBÁ DE OLIVENÇA | Buerarema, Ilhéus, Una |
| TI14 | CARAMURU / PARAGUASSU | Camacan, Itaju do Colônia, Pau Brasil |
| TI15 | MATA MEDONHA | Santa Cruz Cabrália |
| TI16 | COROA VERMELHA | Porto Seguro, Santa Cruz Cabrália |
| TI17 | ALDEIA VELHA | Porto Seguro |
| TI18 | IMBIRIBA | |
| TI19 | BARRA VELHA | Itamaraju, Porto Seguro, Prado |
| TI20 | ÁGUAS BELAS | Prado |
| TI21 | TUPINAMBÁ DE BELMONTE | Belmonte |
| TI22 | COMEXATIBÁ | Prado |
| EM ESTUDO | TUXÁ | Rodelas |
| | QUIXABA | Glória |
| | FAZENDA SEMPRE VERDE | Muquém de São Francisco |
| | FAZENDA JENIPAPEIRO | Santa Rita de Cássia |

| QUILOMBOS | | MUNICÍPIO |
|---|---|---|
| Q01 | ARAÇÁ, CARIACÁ, PATO, PEDRAS, RETIRO | Bom Jesus da Lapa |
| Q02 | MANGAL E BARRO VERMELHO | |
| Q03 | NOVA BATALHINHA | |
| Q04 | PIRANHAS | |
| Q05 | LAGOA DAS PIRANHAS | |
| Q06 | SÃO FRANCISCO DO PARAGUAÇU | Cachoeira |
| Q07 | KAONGE, DENDÊ, ENGENHO DA PONTE E OUTRAS | |
| Q08 | MATA DO SAPÊ | Macaúbas |
| Q09 | PARATECA E PAU D'ARCO | Malhada |
| Q10 | SALAMINA E PUTUMUJU | Maragogipe |
| Q11 | FAZENDA JATOBÁ | Muquém de São Francisco |
| Q12 | AGRESTE | Seabra |
| Q13 | OLHOS D'ÁGUA DO BASÍLIO | |
| Q14 | TIJUAÇU | Senhor do Bonfim |
| Q15 | DANDÁ | Simões Filho |
| Q16 | VELAME | Vitória da Conquista |
| Q17 | SACUTIABA E RIACHO DA SACUTIABA | Wanderley |
| Q18 | BARRA DO PARATECA | Carinhanha |
| Q19 | BARRA E BANANAL | Rio de Contas |
| Q20 | BARREIRO DO RIO PARDO | Vitória da Conquista |
| Q21 | CAPÃO DAS GAMELAS | Seabra |
| Q22 | CURRAL DE PEDRA | Abaré |
| Q23 | FAZENDA PORTEIRAS | Entre Rios |
| Q24 | FOJO | Itacaré |
| Q25 | ILHA DE MARÉ | Salvador |
| Q26 | IÚNA | Lençóis |
| Q27 | JETIMANA e BOA VISTA | Camamu |
| Q28 | JIBÓIA | Antônio Gonçalves e Filadélfia |
| Q29 | LAGOA SANTA | Ituberá e Nilo Peçanha |
| Q30 | MORRO REDONDO | Seabra e Ibitiara |
| Q31 | PORTO DO CAMPO | Camamu |
| Q32 | QUIZANGA, GUERÉM, BAIXÃO DO GUAÍ, TABATINGA E OUTROS | Maragogipe e Nazaré |
| Q33 | RIO DOS MACACOS | Simões Filho / Salvador |
| Q34 | SAMBAÍBA | Macaúbas e Tanque Novo |
| Q35 | VICENTES | Xique-Xique |

TABELA 3.1 » Unidades de Conservação estaduais e federais no Estado da Bahia, Terras Indígenas e Quilombos.

# Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Assentamentos e Quilombos

MAPA 3.1 »

BASE CARTOGRÁFICA: FEPAM, SEMA, IBGE

- Unidades de Proteção Integral federais
- Unidades de Proteção Integral estaduais
- Unidades de Proteção Integral municipais
- Unidades de Uso Sustentável federais
- Unidades de Uso Sustentável estaduais
- Unidades de Uso Sustentável municipais
- UC's não categorizadas no SNUC
- Terras Indígenas
- Quilombos
- Assentamentos rurais
- Área de interesse para criação de UC na região do Boqueirão da Onça*
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Sedes municipais

* FONTE: ICMBIO[22]

ESCALA 1 : 3 750 000
Projeção Albers Cônica
Datum SIRGAS 2000
0 25 50 75 100km

SENAI CIMATEC | SISTEMA FIEB
Federação das Indústrias do Estado da Bahia

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

BAHIA GOVERNO DO ESTADO

Apoio: CAMARGO SCHUBERT

Atlas Solar Bahia

# 4

# TECNOLOGIA

# 4.1 HISTÓRICO

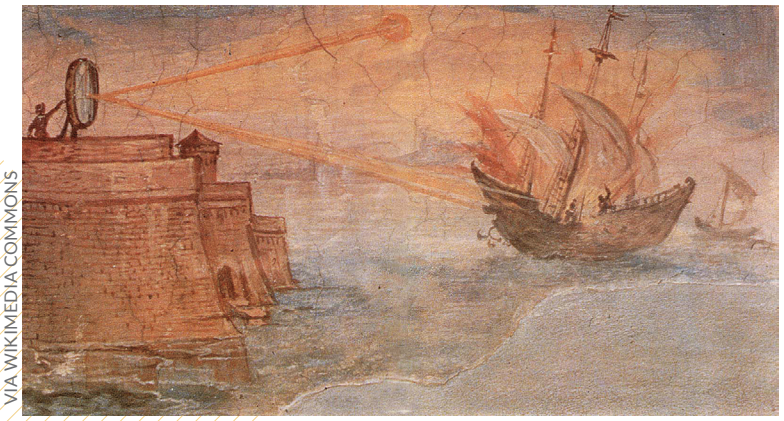
## 4.1.1 HISTÓRICO DA TECNOLOGIA SOLAR

Os primeiros registros documentados com referências ao aproveitamento da energia solar originam-se na Mesopotâmia, datando de aproximadamente 2000 a.C., e descrevem sacerdotes utilizando o interior de tigelas de ouro polido como espelhos parabólicos para acender o fogo em cerimônias religiosas. Essa prática teria sido posteriormente adotada na antiguidade também por chineses, gregos e romanos[8]. Outra famosa citação na Antiguidade sobre o uso da energia solar é a suposta história do "espelho de Arquimedes" (FIGURA 4.1A).

O aproveitamento da energia solar com fins arquitetônicos já era conhecido no séc. V a.C. por Sócrates, que deixou referências sobre técnicas para controlar a temperatura em ambientes por meio da orientação de janelas e aberturas em relação à posição do Sol[5]. Registros sobre aplicações semelhantes foram documentados pelos romanos, que também utilizavam materiais transparentes, beneficiando-se do "efeito estufa". Este fenômeno decorre de uma propriedade desses materiais, caracterizada por permitir a passagem das radiações emitidas em ondas curtas e por bloquear as radiações emitidas por ondas longas, na faixa infravermelha, geradas quando a luz se transforma em calor ao atingir paredes e outras superfícies[5].

Durante a Idade Média, conhecimentos provenientes da Antiguidade, sobre ótica de espelhos curvos e lentes, foram preservados pelo matemático egípcio Ali Al-Hasan Al-Haitham, que posteriormente influenciou Leonardo Da Vinci, no Renascimento. Da Vinci aperfeiçoou conceitos envolvendo concentradores solares parabólicos, mas a sua principal contribuição nesta área foi despertar o interesse por aplicações industriais para a energia do sol[8].

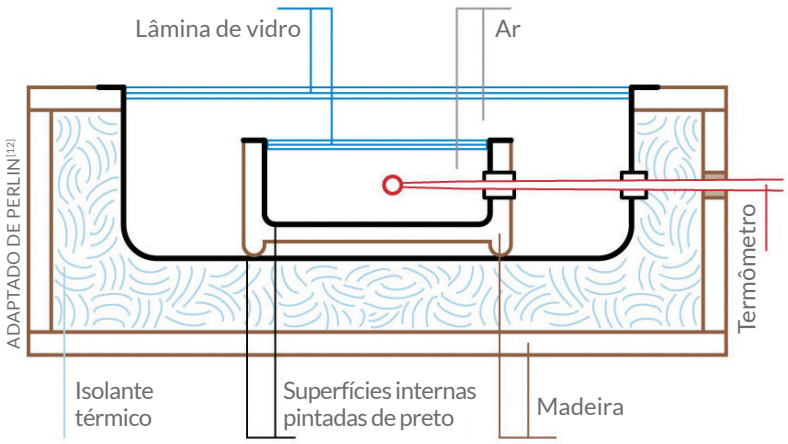
Esse interesse ganhou grande impulso no decorrer da revolução industrial, incitado pela preocupação com o suprimento de longo prazo de carvão, o principal combustível da época, e cujos estoques na natureza eram sabidamente finitos. Na busca por alternativas, Augustin Mouchot (1825-1911) foi um dos pioneiros nos experimentos para transformar a radiação solar em energia mecânica. Ele construiu uma máquina solar, apresentada a Napoleão III em 1866, utilizando pela primeira vez um refletor cônico para concentrar os raios solares em uma caldeira, a qual, por sua vez, alimentava uma máquina a vapor. O projeto da caldeira de Mouchot incluía uma camada de vidro para intensificar o aquecimento. A concepção da caldeira baseava-se no mesmo princípio do "efeito estufa" (FIGURA 4.1B), o qual viria a fundamentar o projeto de aquecedores de água para telhados usados até os dias de hoje[8].



GIULIO PARIGI / DOMÍNIO PÚBLICO / VIA WIKIMEDIA COMMONS

FIGURA 4.1A »

Espelho de Arquimedes, representado por Giulio Parigi (1571-1635). A história fictícia, citada por autores medievais, conta que uma versão em larga escala dos "espelhos ardentes" teria sido construída por Arquimedes, no séc. III a.C., para incendiar barcos inimigos na defesa da Baía de Siracusa durante a Segunda Guerra Púnica[8].




ADAPTADO DE PERLIN[12]

FIGURA 4.1B »

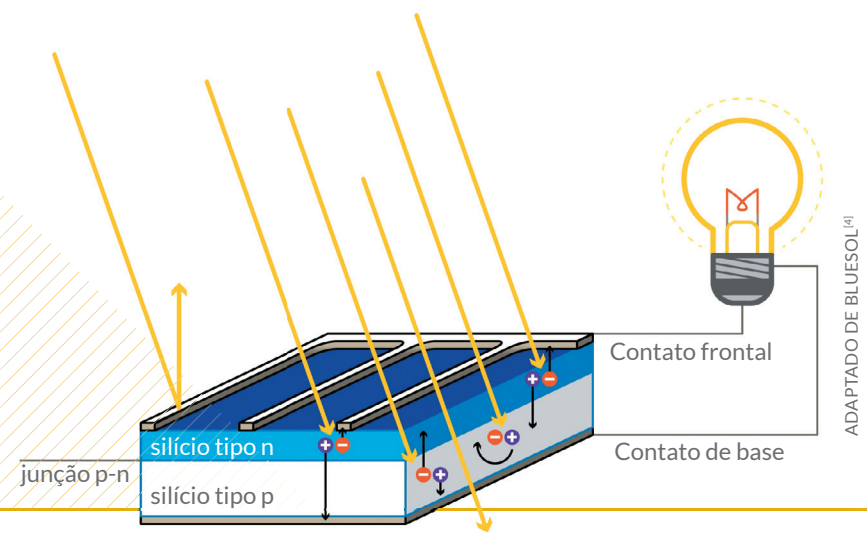
O princípio do "efeito estufa" foi estudado por Horace de Saussure (1740-1799) por meio da "Câmara de Calor", construída a fim de determinar a eficiência dos coletores de calor para a retenção da energia do Sol.

Durante o final do séc. XIX e início do séc. XX, foram feitos inúmeros experimentos para aperfeiçoar a tecnologia de transformação da energia solar em energia mecânica com base nos princípios termodinâmicos. Entre os experimentos mais conhecidos estão: o concentrador solar acoplado a uma imprensa (FIGURA 4.1C), construído por Mouchot e um de seus assistentes, Abel Pifre (1852–1928); o concentrador de múltiplos espelhos planos arranjados em semicírculo por William Adams (1836-1915); o conceito de concentrador cilíndrico de John Ericson (1803-1889), aperfeiçoado por Henry Willsie e John Boyle com circuitos independentes de amônia e água; e o concentrador de baixa pressão de Frank Shuman (1862-1918) e Charles Boys (1855-1944). Esses experimentos foram testados em diferentes partes do mundo, tais como projetos de irrigação no Egito e oeste dos EUA. O interesse por essa tecnologia foi, entretanto, praticamente abandonado com o início da Primeira Guerra Mundial, quando a atenção voltou-se para questões militares, levando à ascendência do petróleo como principal combustível para transporte[8].

Em meados do séc. XIX, ocorriam paralelamente as primeiras descobertas sobre a produção direta de energia elétrica a partir da luz, inaugurando uma nova e inovadora vertente de pesquisas sobre o aproveitamento solar. Em 1860, o eletricista Willoughby Smith (1828-1891) percebeu que a condutividade do selênio era sensível à luz; na década de 1870, William Adams e Richard Day comprovaram que era possível iniciar uma corrente elétrica no selênio pela simples ação ótica; e o primeiro módulo "fotoelétrico" foi criado por Charles Fritts (1850-1903) na década de 1880. A proposta do conceito de fótons foi elaborada em um artigo de Albert Einsten[12] de 1905, permitindo uma explicação científica para o efeito fotoelétrico. A partir dos estudos sobre o fenômeno fotoelétrico, começam o desenvolvimento de aplicações práticas e a pesquisa de materiais fotovoltaicos. Até hoje em crescente evolução, a pesquisa busca o melhor aproveitamento da propriedade de alguns materiais semicondutores de gerar eletricidade quando expostos à energia da luz.

FIGURA 4.1D »

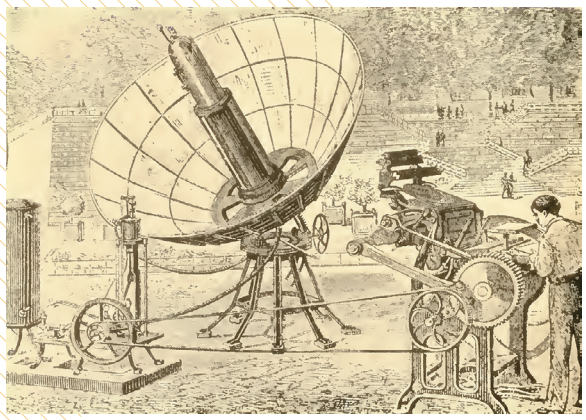
Efeito fotovoltaico e junção p-n em célula fotovoltaica de silício. O módulo de silício foi inventado pela primeira vez no Bell Laboratories, em 1954.




ADAPTADO DE BLUESOL[4]

FIGURA 4.1C »

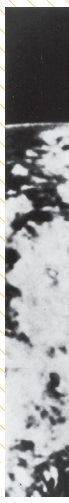
Desenho do Concentrador Solar de Mouchot (centro) aquecendo uma caldeira para um pequeno motor a vapor (esquerda), o qual move uma Imprensa de Pifre (direita). O sistema foi exposto em Paris em 1880.



THE SMITHSONIAN INSTITUTION[13]

FIGURA 4.1E »

O Satélite *Vanguard I*, projetado pelo *Naval Research Laboratory* em Washington e lançado em 17 de março de 1958 (ativo até 1964) foi o primeiro satélite a ser alimentado por 6 conjuntos de células solares montados sobre o seu corpo esférico.



O módulo de selênio tinha a inconveniência de se deteriorar rapidamente, além da baixa eficiência, desvantagens essas só superadas muitas décadas depois, quando os módulos de silício foram inventados na *Bell Laboratories* por Calvin Fuller (1902-1994) e Gerald Pearson (1905-1987), em 1954 (FIGURA 4.1D). A energia produzida pelos módulos de silício era ainda cara, e a sua primeira aplicação prática ocorreu somente em 1958 na indústria espacial (FIGURA 4.1E), em que o custo ou a capacidade de geração em larga escala não eram fatores determinantes para a escolha do sistema energético. No caso dos satélites, os módulos fotovoltaicos tinham grande vantagem em relação a sistemas alimentados por outras fontes de energia, pois permitiam a operação por mais tempo, de modo que a energia solar consolidou-se como principal fonte para alimentar sensores orbitais e sondas espaciais[12].

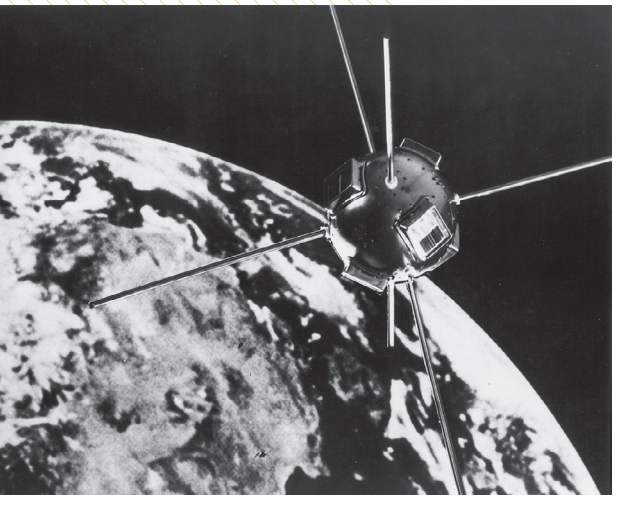
A história da tecnologia fotovoltaica desde a década de 1960 descreve esforços para encontrar aplicações terrestres para essa tecnologia, em paralelo com a busca pelo aumento da eficiência dos módulos e pela redução dos custos. As primeiras aplicações viáveis encontradas foram ao longo da década de 1970 na alimentação de equipamentos de baixo consumo em locais remotos, tais como: boias de navegação da indústria petrolífera, transmissores para monitoramento de oleodutos, protetores catódicos anticorrosivos para minas de gás, equipamentos para sinalização de intersecções ferroviárias e rodoviárias e repetidores de micro-ondas para sinais de televisão, rádio e telefone de longa distância (FIGURA 4.1F). Na década de 1980, um programa com bombas d'água alimentadas por módulos fotovoltaicos foi implementado em larga escala para mitigar os efeitos de uma severa seca no Kenya[12].

A emergência de políticas de sustentabilidade a começar na década de 1990 difunde, com o auxílio de incentivos governamentais, o uso de módulos fotovoltaicos em residências em todo o mundo, e eventualmente a redução dos custos associada à evolução tecnológica, no século XXI, faz com que a fonte se torne competitiva mesmo em locais já eletrificados.

FIGURA 4.1F »

Estação de rádio-base alimentada por geradores fotovoltaico, eólico e bateria.

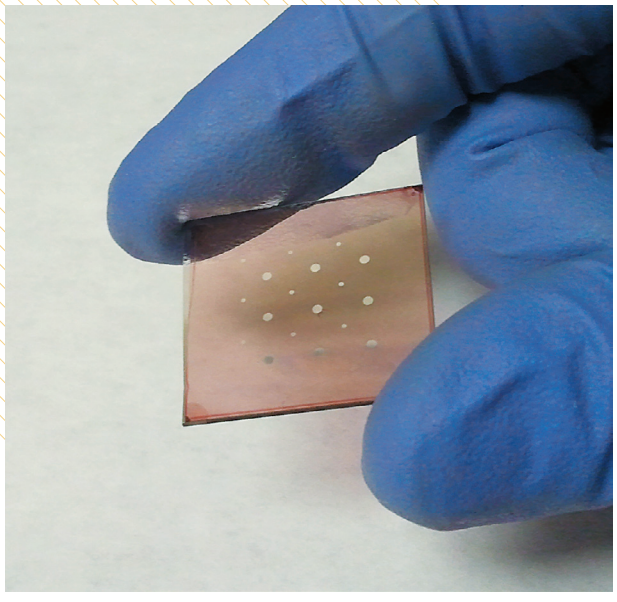
MMILLO / CC-BY-SA-3.0 / VIA WIKIMEDIA COMMONS



U. S. NAVAL RESEARCH[15]

FIGURA 4.1G »

Teste de laboratório com célula fotovoltaica orgânica.

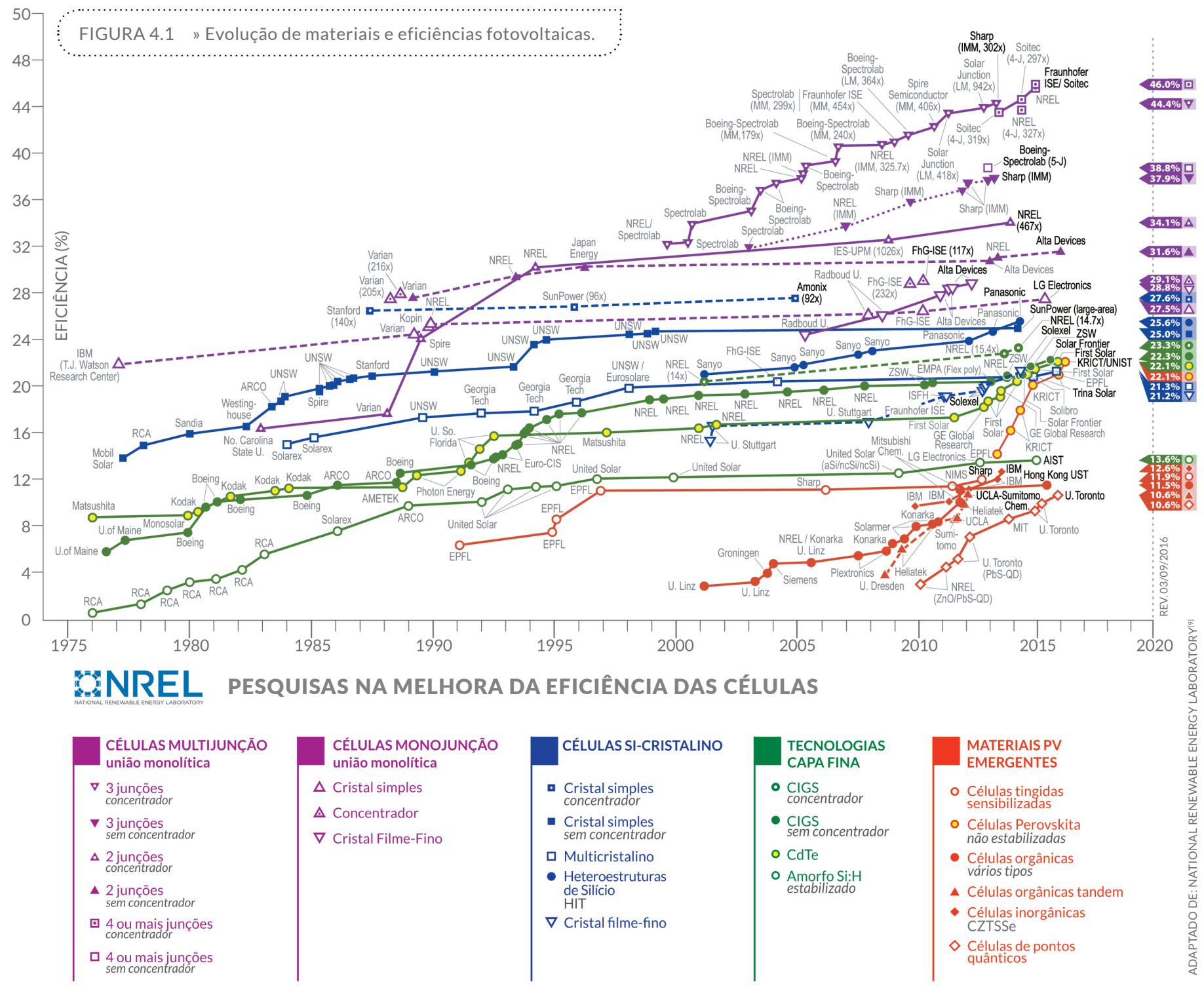


AROMATICMOLECULESSMELL / CC BY 3.0 / VIA WIKIMEDIA COMMONS

As linhas de pesquisa mais recentes com semicondutores focam em materiais fotovoltaicos orgânicos – OPV (*Optical Photovoltaics*). Essas células (FIGURA 4.1G) ainda não estão em fase comercial, apesar de recentes ganhos obtidos em eficiência e vida útil, pontos-chave para torná-las viáveis. As principais possibilidades para aplicações que norteiam as pesquisas são em pequenos equipamentos domésticos ou acessórios, tais como óculos, lâmpadas, mochilas, entre outros. Considerando as propriedades de transparência e a possibilidade de tingimento, frequentes nestes materiais, cresce também o interesse por eles na área de construção, na utilização em janelas e outros elementos arquitetônicos. Sob uma perspectiva ambiental, cabe destacar que os materiais OPV têm mais baixo impacto no processo de produção, com níveis de contaminantes significativamente menores em comparação com os processos de fabricação do silício cristalino e das tecnologias de filme fino já consolidadas.

O *National Research Energy Laboratory* – NREL, órgão que pertence ao Departamento de Energia dos Estados Unidos, é um dos líderes na pesquisa em energia solar, e publica desde 1976 detalhes sobre a evolução dos semicondutores, em especial, o gráfico dos materiais e eficiências reproduzido na FIGURA 4.2.

FIGURA 4.1 » Evolução de materiais e eficiências fotovoltaicas.



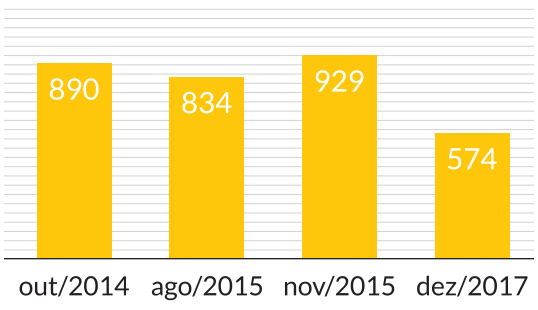

ADAPTADO DE: NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY[9]

### 4.1.2 HISTÓRICO DO BRASIL

Entre as iniciativas para divulgar a energia solar no Brasil estão o Atlas Solarimétrico do Brasil (2001)[14] e o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006)[10], recentemente atualizado (2ª edição, 2017)[11]. Ainda que os esforços em pesquisas já existissem no país há várias décadas, foi somente a partir de 2010 que aconteceram as iniciativas mais relevantes no sentido de fomentar a indústria e tornar a energia solar comercialmente atraente. Essas iniciativas foram direcionadas tanto à produção de energia solar no modo centralizado como no modo distribuído, estando algumas delas relacionadas a seguir:

• abril/2012: a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL – estabelece condições para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e para o sistema de compensação de energia elétrica;

GRÁFICO 4.1 » Capacidade Instalada de Geração Solar Contratada nos Leilões Promovidos pelo Ministério de Minas e Energia – MME entre 2014 e 2017.




| TOTAL | 3.227 MW |
|---|---|

FONTE: CCEE[6]

• outubro/2014: ocorre a primeira contratação de energia solar em leilão de geração centralizada, totalizando 890 MW; no ano seguinte, são contratados mais 1.763 MW;

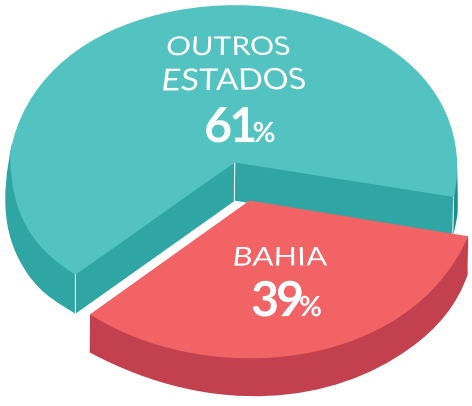
• abril/2015: o Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ – publica o Convênio ICMS 16[7], que isenta o pagamento de tributo estadual (ICMS) sobre o excedente de energia elétrica gerada por sistemas de geração distribuída; até o início de 2017, 21 estados brasileiros já haviam aderido ao Convênio, entre eles, a Bahia, através do convênio ICMS 130/2015, a partir do dia 26 de novembro de 2015;

• dezembro/2015: a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANNEL – institui, por meio da Portaria nº 538[1], o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica – ProGD, permitindo que o excedente da energia gerada em unidades consumidoras seja vendido no mercado livre de energia;

• novembro/2016: linhas de financiamento promovidas pelo governo federal são estendidas à compra de equipamentos para energia fotovoltaica e aquecimento solar[2];

• maio/2017: o Banco Nacional de Desenvolvimento – BNDES – aprova primeiro financiamento para geração solar fotovoltaica centralizada, para a usina de Pirapora, MG[3].

GRÁFICO 4.2 » Capacidade Instalada de Geração Solar Total Contratada nos Leilões de 2014 e 2017.




## 4.2 TECNOLOGIAS ATUAIS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR

A primeira distinção entre as tecnologias de energia solar se faz pelo critério de aplicação ou utilização da energia gerada, diferenciando-se os usos térmico e elétrico.

### 4.2.1 GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA

O aproveitamento térmico do sol pode ser considerado dos usos mais antigos dessa energia. Diferentes métodos para cozinhar alimentos ou aquecer água aproveitando o sol com materiais disponíveis na natureza, ainda sem grandes complexidades tecnológicas, foram utilizados pelo homem ao longo da história da humanidade. Um exemplo, mais recente, com uso de tecnologias conhecidas na Antiguidade é a concentração da luz por meio de lentes. Na fase atual de desenvolvimento, os sistemas solares térmicos envolvem, principalmente, a produção de Água Quente Sanitária – AQS – em edificações residenciais e industriais.

Os principais tipos de módulos solares térmicos baseiam-se nos conceitos das placas solares planas e dos tubos de vácuo.

STAN ZUREK / GFDL / CC-BY-SA-3.0 / CC BY-SA 2.5-2.0-1.0 / VIA WIKIMEDIA COMMONS

FIGURA 4.2 » Placas solares térmicas tipo termossifão.

**Placas solares planas** são placas que, tipicamente, funcionam por meio de um sistema com termossifão: os raios solares aquecem a água do painel que se eleva à sua parte mais alta, onde o tanque de armazenamento de água quente está localizado (FIGURA 4.3).

GREENSOLARVACUUM / CC BY-SA 3.0 / VIA WIKIMEDIA COMMONS

FIGURA 4.3 » Placas solares térmicas com tubos a vácuo (*Green Solar*).

Os **coletores solares a vácuo** são construídos alojando-se condutores de fluidos dentro de tubos de vácuo de vidro. O vácuo criado entre o vidro protetor e a superfície absorvente impede a perda de calor. A estrutura cilíndrica também favorece a eficiência do vácuo. Quando o fluido é aquecido pelo sol, a variação da densidade o propulsiona à parte superior, levando à próxima fase de troca de calor.

## 4.2.2 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O crescimento constante do consumo de eletricidade, bem como as limitações dos recursos fósseis, têm incentivado o desenvolvimento de novas tecnologias para suprir a demanda por energia elétrica. Considerando as aplicações para produção de eletricidade entre as tecnologias de aproveitamento da radiação solar, a solar fotovoltaica e a heliotérmica têm presença mais significativa e encontram-se em fase avançada de implantação comercial.

**• Tecnologia Heliotérmica**

A tecnologia heliotérmica, também conhecida por CSP ou tecnologia termoelétrica, consiste no aproveitamento solar para obtenção de energia térmica e a posterior conversão em energia elétrica. No primeiro processo, de concentração térmica, um dos aspetos críticos é a precisão dos equipamentos, da qual depende a concentração eficiente dos raios solares. Outra característica sensível são os fluidos utilizados, que precisam ser dimensionados de modo que haja equilíbrio entre o rendimento do sistema e os custos. Na fase seguinte, a energia térmica acumulada no fluido em altas temperaturas é utilizada em um ciclo termodinâmico, tipicamente comportando-se como a descrição teórica do Ciclo Rankine (FIGURA 4.5). Este é um ciclo termodinâmico reversível que funciona convertendo calor em trabalho. O calor é fornecido à caldeira por uma fonte externa, ou seja, no caso da aplicação heliotérmica, a partir dos fluidos que transportam o calor captado nos concentradores. O trabalho obtido é transformado, na última fase, em energia elétrica por meio de uma turbina acoplada a um gerador elétrico.

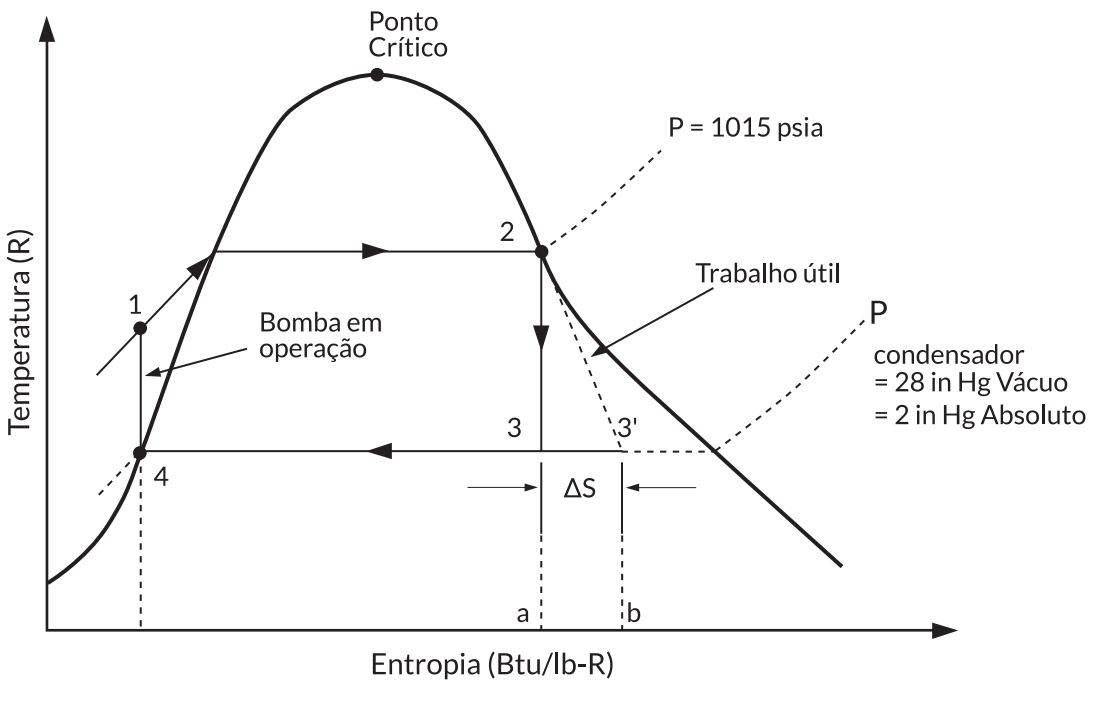
As tecnologias heliotérmicas já em fase comercial classificam-se de acordo com a forma de concentração da radiação, que pode ser pontual ou linear. Distinguem-se assim as usinas que utilizam uma torre de concentração (pontual) das usinas que utilizam coletores cilindro-parabólicos ou refletores lineares de Fresnel (ambas lineares).

Apesar de verificados avanços recentes na redução dos custos, eles são ainda uma das principais barreiras que impedem maior disseminação desta tecnologia. Além dos custos de investimento, operação e manutenção relativamente altos, há ainda restrições na seleção de locais aptos a receber essas usinas, tais como níveis mínimos de irradiação, tipologia do terreno (inclinação, refletividade) e disponibilidade de água para manutenção e funcionamento dos sistemas.

**• Tecnologia Solar Fotovoltaica**

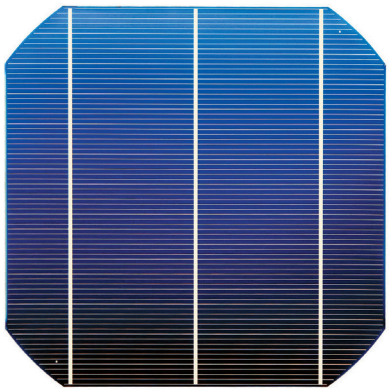
A tecnologia fotovoltaica caracteriza-se pela obtenção de eletricidade a partir do efeito fotoelétrico em materiais semicondutores. Trata-se da tecnologia de aproveitamento solar mais disseminada atualmente. O estado-da-arte desta indústria envolve desenvolvimento e testes com materiais utilizados para os módulos, produzidos a partir do silício-cristalino (monocristalino e policristalino) e, com menor penetração no mercado, o silício amorfo. Nesse caso, os módulos de silício são diferenciados de acordo com o processo de produção. O silício-amorfo enquadra-se na categorias de filme-fino, juntamente com outros materiais em franco desenvolvimento, tais como

FIGURA 4.4 » Diagrama do Ciclo Rankine.




ADAPTADO DE: MAXDZ8 / BASEADO EM DRIC DOLPHIN / DOMÍNIO PÚBLICO / VIA WIKIMEDIA COMMONS

FIGURA 4.5 » Três tipos de painéis fotovoltaicos.

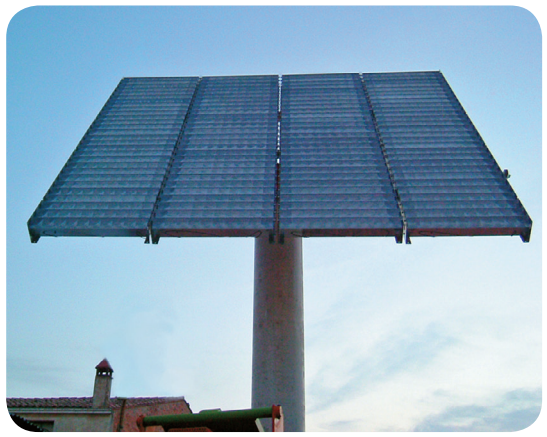


WHISTLINGBIRD / CC BY-SA 4.0 / VIA WIKIMEDIA COMMONS

A. célula fotovoltaica de silício cristalino

FIELDSKEN KEN FIELDS / CC BY-SA 3.0 / GFDL / VIA WIKIMEDIA COMMONS

B. filme-fino



ANNA / GFDL / CC-BY-SA-3.0 / VIA WIKIMEDIA COMMONS

C. módulos de concentrador fotovoltaico com rastreador

o selenieto de gálio, índio e cobre (CIGS) e o telureto de cádmio (TeCd).

• **Tipos de Instalações Fotovoltaicas**

Além da distinção entre os tipos de módulos utilizados na geração elétrica, é necessário considerar outros critérios de classificação de plantas solares. A partir de uma análise de parques solares em operação, dois critérios importantes para o planejamento de novas usinas podem ser descritos:

**Escala de potência/capacidade do sistema**: a tecnologia solar é caraterizada pela flexibilidade na escala das usinas, de modo que o tipo de planta fotovoltaica é comumente diferenciado entre o centralizado e o distribuído. O tipo centralizado é em escala significativamente elevada (potências da ordem de MW) e o distribuído é em escalas menores, envolvendo instalações situadas nas proximidades dos pontos de consumo. Nesse sentido, a geração distribuída pode ser implantada em zonas habitadas, urbanas ou rurais, assim como em zonas industriais. É comum também utilizar-se a classificação de escala industrial, intermediária entre as outras e com ordem de grandeza entre centenas de quilowatts até vários megawatts.

**Tipo de conexão do sistema:** em termos de conexão à rede, em áreas urbanas e industriais a eletricidade é comumente obtida da rede elétrica, que conecta os pontos de consumo com grandes centros de produção por meio das redes e centros de transformação. Em zonas rurais, dependendo da extensão da rede, a solução de acesso à eletricidade pode requerer sistemas isolados, em que a energia gerada nos panéis pode ser tanto consumida como acumulada,

SOLARWRITER / CC BY-SA 3.0 / GFDL / VIA WIKIMEDIA COMMONS

FIGURA 4.6 » Parque Solar Ituverava, em Tabocas do Brejo Velho, composto por cerca de 850 mil painéis solares distribuídos em uma área de 546 hectares. Quando estiver em plena operação, o parque será capaz de produzir mais de 550 GWh. Ituverava é, atualmente, o segundo maior parque solar em operação da América do Sul*.

* FONTE: ENEL GREEN POWER, DADOS DE SETEMBRO DE 2017.

conforme o projeto do sistema, que pode ser isolado ou autônomo.

Mesmo os equipamentos projetados para sistemas isolados, normalmente de menor porte, mostram uma tendência ao crescimento da potência nominal com o avanço da tecnologia. Como categoria adicional, cabe mencionar as soluções dos sistemas de "microrredes", em que diferentes pontos de consumo e produção são interconectados para otimizar a eficiência e melhorar o equilíbrio da rede. Esse tipo de solução frequentemente combina diferentes fontes de energia, geralmente renováveis, visando compensar a variabilidade na distribuição da produção e da demanda elétrica.

## 4.3 CRITÉRIOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS PARA INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS

Os critérios adotados para a instalação de plantas solares fotovoltaicas destinadas à inserção no sistema elétrico (geração centralizada) são consideravelmente distintos daqueles para a instalação de um pequeno número de painéis solares, para consumo doméstico ou mesmo industrial (geração distribuída).

### 4.3.1 GERAÇÃO CENTRALIZADA

Mesmo com os incentivos governamentais, a geração solar centralizada compete com as demais fontes de energias renováveis. Para tornar uma usina competitiva, é necessário ganho de escala, instalando-se um grande número de painéis. Seguem alguns pontos a considerar:

• **Irradiação solar:** a energia gerada no local será determinada, primordialmente, pelo valor da irradiação acumulada anual, combinado com a eficiência do painel solar.

• **Áreas protegidas ou conflitivas:** enquanto o impacto ambiental causado por um painel solar isolado pode ser considerado desprezível, a modificação da paisagem gerada por uma planta solar da ordem de alguns megawatts é um aspecto determinante. Plantas centralizadas são inviáveis em áreas protegidas e, mesmo nas áreas sem proteção legal, pode haver conflitos com comunidades locais. À vista disso, são necessários estudos sobre impactos sociais e ambientais do projeto.

• **Proximidade de conexão:** a construção da linha até o ponto de conexão deve ser considerada como um custo associado ao projeto. Quanto menor for a distância até uma subestação com capacidade para absorver a eletricidade gerada, menor será o custo e mais competitiva será a usina.

• **Inclinação do terreno:** se o local possuir topografia complexa, mais custoso será o processo de construção e haverá também limitações no aproveitamento do terreno, com menor densidade de potência instalada por unidade de superfície.

• **Proximidade à linha costeira:** o ambiente marinho acelera a degradação dos painéis, diminuindo mais rapidamente o seu rendimento. Locais secos são preferíveis.

• **Uso do solo:** as áreas já utilizadas para alguma atividade tão ou mais lucrativa que a geração elétrica, ou as áreas de valor superior ao lucro econômico esperado, devem ser descartadas na pesquisa por locais para geração centralizada.

### 4.3.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Para a geração distribuída, existe normalmente pouca flexibilidade na escolha dos locais para instalação, limitados pela disponibilidade, por exemplo, uma residência ou edificação industrial. Todavia, devem ser considerados os seguintes aspectos:

• **Orientação e inclinação dos painéis:** normalmente, na geração distribuída, a estrutura dos painéis é fixa e idealmente deve ser projetada para o melhor rendimento possível nas coordenadas geográficas locais. Isso se faz por meio da adequada orientação dos painéis, mediante ajustes que podem elevar o custo da instalação, ou torná-la mais complexa, caso haja mais de uma linha de painéis gerando sombras mutuamente. Alternativamente, a opção mais simples e econômica é dispor os painéis paralelamente ao telhado. Em determinados casos, todavia, a orientação e/ou conformação da edificação podem dificultar a instalação dos painéis, se exigido um nível mínimo de eficiência.

• **Baterias:** para sistemas de geração não conectados à rede, são necessárias baterias para armazenar a energia gerada ao longo do dia e consumi-la nos momentos de demanda. Ainda que os painéis situem-se em uma área não utilizável, como é o caso dos telhados, as baterias e os controles do circuito elétrico necessitarão de espaço útil dentro da edificação com condições mínimas de segurança.

• **Legislação local:** no sistema elétrico de alguns países, a geração distribuída pode ser conectada livremente à rede ou com algum custo marginal. Essa possibilidade proporciona duas vantagens: a primeira é a dispensa da necessidade de baterias, pois nos períodos em que o sistema não está gerando (i. e., durante a noite) é possível consumir a eletricidade diretamente da rede; a segunda vantagem é a possibilidade da venda do excesso de produção à companhia de distribuição. O Brasil, durante os últimos anos, tem evoluído consideravelmente na legislação para geração distribuída. Alguns desses avanços são mostrados no decorrer deste capítulo.

Os benefícios da geração distribuída necessitam ser criteriosamente estudados quando do planejamento do Sistema Elétrico. Se a geração doméstica diminuir a necessidade de centrais de geração centralizada de diferentes tecnologias, poderá eventualmente também reduzir o custo da eletricidade nesse sentido. Por outro lado, essa mudança poderia aumentar a demanda por geração secundária ou de reserva, ou seja, aquela apta a suprir a demanda quando a geração distribuída estiver inativa, o que poderia acarretar um aumento dos custos da energia de reserva. A consequência final pode ser, paradoxalmente, o aumento dos custos, se o aumento do preço da energia de reserva for maior que a economia com a diminuição da geração primária. Para uma análise conjuntural, deve-se mencionar ainda a possibilidade de um próximo passo no mercado de geração distribuída, que é a inserção da armazenagem de energia como solução frente a esse possível cenário de custos crescentes da energia de reserva.

SHIRLEY STOLZE (ACERVO COELBA)

FIGURA 4.7 » Usina Solar do Estádio de Pituaçu, com capacidade instalada de 404 kW e composta por 2.292 módulos fotovoltaicos.

Atlas Solar Bahia

# 5

# METODOLOGIA

O mapeamento do potencial solar da Bahia foi realizado pela AWS Truepower a partir do sistema de modelagem *WRF-Solar*, o mais avançado no mercado para o mapeamento do recurso solar, ajustado ou validado por dados solarimétricos provenientes de 27 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 11 estações solarimétricas de propriedade de empreendedores com projetos em desenvolvimento ou construção na Bahia, e uma estação solarimétrica do projeto SONDA – INPE. O modelo meteorológico utilizado foi o Modelo de Pesquisa de Previsão do Tempo – WRF (*Weather Research and Forecasting Model)*, adaptado pela AWST para as condições deste projeto e processado nos *clusters* de computadores do *Campus* Integrado de Manufatura e Tecnologias – CIMATEC, em Salvador. A AWST fez auditoria nos dados, analisando, processando, validando e selecionando aqueles adequados à utilização para este trabalho.

## 5.1 O MODELO WRF

O mapeamento do potencial solar da Bahia utilizou metodologia semelhante à adotada para o mapeamento eólico realizado em 2013[1] (projeto elaborado pela C&S em associação técnica com a AWST), com a configuração específica referente à resolução final do mapeamento solar, que é de 2 km x 2 km.

Para o processo de mapeamento, utilizou-se o modelo meteorológico de mesoescala WRF versão 3.6.1, com o núcleo *Advanced Research WRF* – ARW. Esse modelo foi selecionado devido à sua ampla aceitação e utilização pela comunidade científica e seu estado da arte na previsão numérica do tempo. O WRF foi idealizado em sua maior parte pelo Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas – NCAR (*National Center for Atmospheric Research*) dos Estados Unidos[10]. Trata-se de um modelo totalmente compressível e não hidrostático que utiliza coordenadas verticais que acompanham o terreno, sendo o limite superior uma superfície de pressão constante.

Para a execução das simulações computacionais de mesoescala, a AWST utilizou o centro de supercomputação do CIMATEC, em Salvador. Foram utilizados ao todo 40 "nodos" de 20 processadores cada um, totalizando 400 processadores para simular um ano aleatório, representativo de um período de longo prazo de 15 anos. As simulações foram processadas durante o mês de junho/2017.

Para o desenvolvimento deste projeto, foi aplicada uma configuração específica no modelo WRF, própria para a previsão meteorológica solar, chamada WRF-Solar versão 1.2.0. Esta configuração permite aperfeiçoar a representação da interação nuvem-aerossol-sistema[6]. As melhorias incluem novas parametrizações de aerossóis e um algoritmo de rápida transferência radiativa que permite estimar a irradiância solar com alta resolução temporal e baixo custo computacional. Diversos trabalhos ressaltaram os benefícios desses aperfeiçoamentos na previsão solar, reduzindo erros nas simulações com céu claro onde se torna primordial aferir devidamente os impactos dos aerossóis[6]. Uma das novidades é que este modelo pela primeira vez possibilita extrair diretamente as componentes de radiação direta e difusa.

As condições inicias e de contorno foram obtidas através do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas em Médio Prazo – ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)* com o modelo e reanálise global ERA-Interim de 80 km de resolução espacial e 60 níveis verticais.

A configuração do modelo consiste em três domínios de 32 km, 8 km e 2 km de resolução horizontal. A escala de interesse para a realização do atlas solar corresponde à de menor tamanho de malha, com resolução horizontal de 2 km x 2 km. A TABELA 5.1 indica as principais caraterísticas das resoluções possíveis para a simulação.

| Domínio | Resolução ($km^2$) | Ponto de malha | Tamanho ($km^2$) |
|---|---|---|---|
| D01 | 32 x 32 | 112 x 103 | 3584 x 3296 |
| D02 | 8 x 8 | 273 x 257 | 2184 x 2056 |
| D03 | 2 x 2 | 641 x 613 | 1282 x 1226 |

TABELA 5.1 »

No que concerne às opções físicas da simulação, foi empregado o seguinte conjunto de esquemas de parametrizações:

TABELA 5.2 » Esquemas de parametrizações empregados na simulação WRF-Solar.

| Opção Física | Configuração ou Esquema de Parametrização |
|---|---|
| Camada Superficial – SL | *MM5 Monin-Obukhov Scheme – M&O ou MYNN*[7] |
| Radiação Térmica – LW | *Rapid Radiative Transfer Model – RRTM*[4] |
| Radiação Solar – SW | *Rapid Radiative Transfer Model – RRTM*[4] |
| Microfísica – MP | *Thompson Scheme*[9] |
| Solo – LSM | *Unified Noah Land Surface Nidek – NO el MP – Land Surface Model*[8] |
| Camada Limite Planetária – PBL | *Mellor–Yamada Nakanishi Niino – MYNN*[7] *– Level 2.5 and Level 3 Schemes* |
| Cumulus – CP | *Grell 3D Ensemble*[3] |

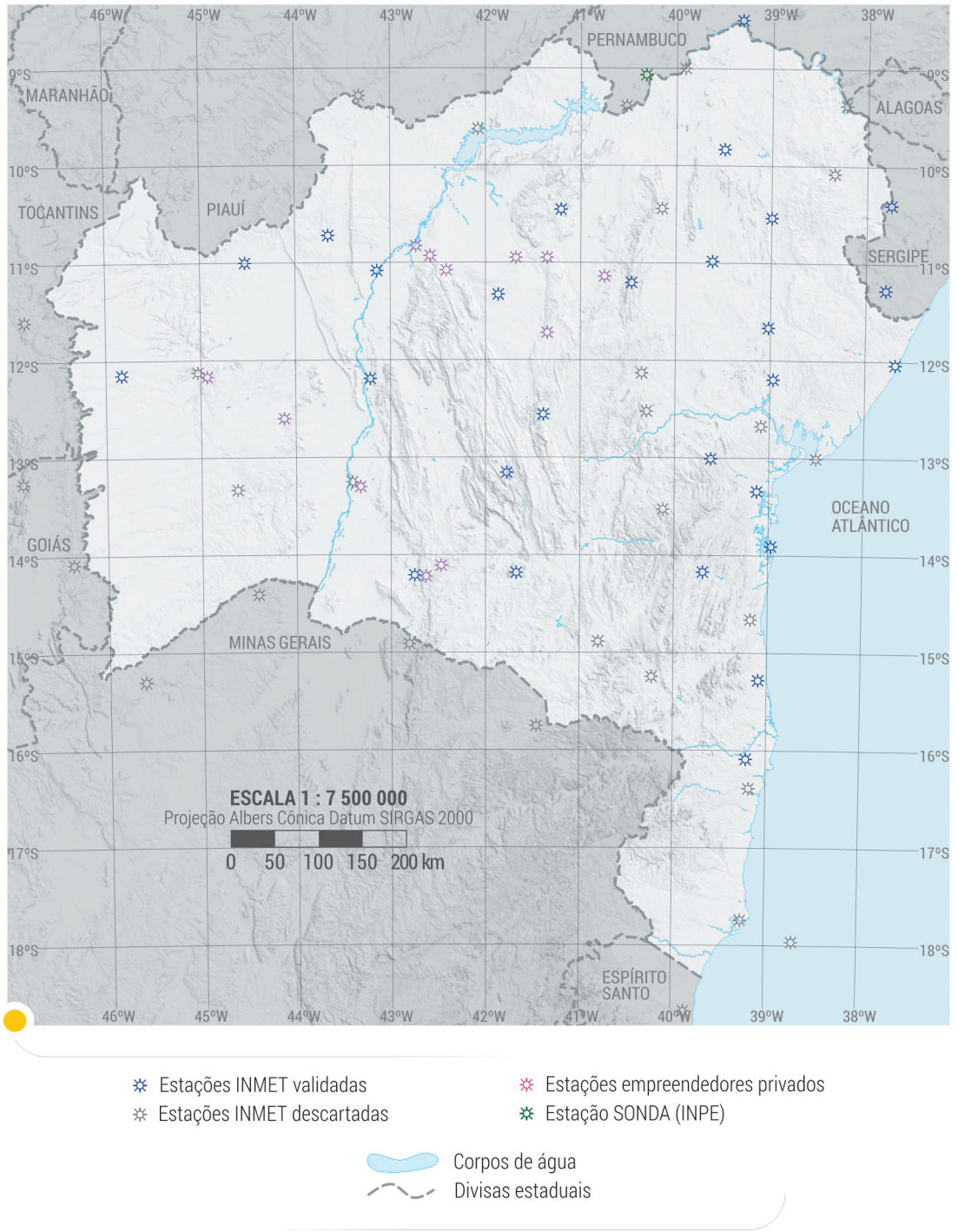
Não foi considerada nenhuma parametrização de cúmulos para os demais domínios, seguindo as indicações do modelo de não utilizar esquemas de convecção para domínios inferiores a 10 km de resolução espacial. Entre outros critérios, foi ativada uma opção que permite considerar dados de aerossóis no esquema de radiação RRTM-G. A resolução inclui 40 níveis verticais.

## 5.2 MEDIÇÕES SOLARIMÉTRICAS

Com a finalidade de ajustar ou validar os valores estimados pelo modelo meteorológico WRF, foram considerados dados provenientes de diversas estações meteorológicas e solarimétricas. Um grande número de estações permite a seleção das campanhas com melhor qualidade e o ajuste dos valores resultantes com maior precisão.

Ao todo, foram pesquisados dados provenientes de 56 estações automáticas da rede do INMET, localizadas no Estado da Bahia ou nas proximidades das divisas, em estados vizinhos, 12 estações solarimétricas de empreendedores privados do setor energético, que colaboraram com este projeto, e 1 estação do Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – SONDA – do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, localizada em Petrolina, próxima à divisa do Estado de Pernambuco. As estações automáticas do INMET possuem a vantagem de acumular um histórico de vários anos, sendo que algumas delas registram dados desde 2000. Por outro lado, as estações solarimétricas privadas possuem a vantagem de atender às exigências da Empresa de Pesquisa Energética – EPE – para os projetos que concorrem nos certames de energia, o que resulta em medições solarimétricas com padrões de qualidade superior. A localização das estações consideradas no estudo é apresentada no MAPA 5.1.

A AWST realizou a auditoria nos dados de todas as estações meteorológicas do INMET, bem como a verificação dos processos de medição nas estações solarimétricas privadas, tais como sensores utilizados, configuração das estações e rastreabilidade. Em todas as séries de dados foram aplicados algoritmos de identificação de falhas, não conformidades e medidas corretivas quando aplicáveis.




MAPA 5.1 » Localização das estações meteorológicas e solarimétricas utilizadas para validação do mapeamento solar.

As estações solarimétricas que são utilizadas no ajuste dos mapas devem fornecer medições de alta qualidade e representativas do longo prazo. Isso normalmente é obtido por meio de medições consistentes, i. e., com poucas falhas, e pertinentes a períodos de vários anos. Dentre as estações disponíveis, cumpriram essas premissas as estações automáticas da rede do INMET, dentre as quais se selecionaram aquelas com mais de cinco anos de dados e com boa taxa de disponibilidade. As estações fornecidas pelos empreendedores privados foram consideradas posteriormente para a validação ou estimativa de erro dos mapas, uma vez já realizado o ajuste. A estação do projeto SONDA, de Petrolina, serviu a essa metodologia de maneira análoga.

### 5.2.1 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS DO INMET – EMA

O INMET, órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, é responsável pelo fornecimento da informação meteorológica no país, produzida por uma rede de mais de 500 estações distribuídas por todo o território nacional.

A Rede de estações INMET dispõe de estações automáticas, convencionais e radiossonda. Para este estudo especificamente, foram considerados os dados das Estações Meteorológicas Automáticas – EMA – que registram dados horários de medições, realizadas entre 2000 e 2016. Das 56 estações pesquisadas, apenas duas delas possuíam histórico de dados de duração inferior a 8 anos.

As estações EMA são compostas por um *datalogger* conectado a sensores ambientais. O *datalogger* registra valores, de minuto em minuto, de diferentes parâmetros meteorológicos, tais como pressão atmosférica, temperatura, umidade relativa, precipitação, irradiância, direção e velocidade do vento, entre outros. A cada hora, os valores registrados são integrados e transmitidos ao centro de processamento do INMET. Alguns dos equipamentos utilizados em uma estação típica da rede EMA estão relacionados na TABELA 5.3.

As estações estão instaladas em áreas livres de obstruções naturais e construções, ocupando uma área mínima de 14 m por 18 m. A FIGURA 5.1 mostra uma estação automática do INMET com configuração típica[5].

A manutenção da rede é programada com frequência mensal. O INMET adota, há mais de 10 anos, o Sistema de Qualidade ISO 9001 para auxiliar no acompanhamento e os processos de manutenção.

O conjunto de dados recebidos por hora das estações EMA já é validado internamente no INMET. Para este trabalho, os dados previamente tratados foram submetidos a uma segunda validação por parte da AWST, resultando em disponibilidade da variável GHI relativamente alta, com 70% das estações com mais de 80% de dados válidos.

Validaram-se, portanto, para o mapeamento solar da Bahia, 27 das 56 estações EMA inicialmente pesquisadas. O principal critério foi a taxa de disponibilidade das séries de dados, de modo a garantir a consistência na representação do perfil de radiação em cada um dos locais. Os valores médios anuais das estações EMA validados são apresentados na TABELA 5.4. Para o cálculo dessas médias, somente foram considerados os meses com disponibilidade superior a 90%.

| Equipamento | Variável Medida | Modelo | Fabricante |
|---|---|---|---|
| *datalogger* | – | QML201 | Vaisala |
| piranômetro | irradiância global | CM 6B* | Kipp & Zonen |
| anemômetros | velocidade do vento | WAA151 | Vaisala |
| sensor de direção (*wind vane*) | direção do vento | WAV151 | Vaisala |
| sensor de temperatura | temperatura | QMT102 | Vaisala |

TABELA 5.3 » Alguns dos equipamentos utilizados em uma estação típica da rede EMA do INMET**.

INMET[5]

FIGURA 5.1 » Configuração típica de estação EMA.

| Estação | GHI (kWh/m²/ano) | Temperatura (°C) | Velocidade do Vento (m/s) |
|---|---|---|---|
| Cabrobó | 2.151 | 27,0 | 3,6 |
| Luís Eduardo Magalhães | 2.249 | 23,6 | 2,6 |
| Feira de Santana | 1.879 | 24,5 | 2,5 |
| Santa Rita de Cássia | 2.264 | 26,2 | 1,7 |
| Itabaianinha | 1.968 | 24,5 | 2,8 |
| Carira | 2.094 | 24,4 | 2,9 |
| Irecê | 2.182 | 23,9 | 2,9 |
| Lençóis | 1.831 | 24,8 | 1,1 |
| Guanambi | 2.273 | 25,9 | 3,9 |
| Barra | 2.207 | 27,4 | 1,8 |
| Piatã | 1.962 | 19,7 | 2,5 |
| Conde | 2.041 | 25,6 | 1,9 |
| Buritirama | 2.151 | 26,3 | 1,9 |
| Brumado | 1.985 | 25,2 | 1,7 |
| Amargosa | 1.840 | 23,1 | 2,7 |
| Uauá | 2.066 | 25,3 | 3,6 |
| Queimadas | 1.771 | 25,7 | 3,3 |
| Una | 1.805 | 23,8 | 1,3 |
| Maraú | 1.968 | 25,2 | 2,1 |
| Ibotirama | 2.250 | 27,3 | 2,0 |
| Jacobina | 1.774 | 24,1 | 1,9 |
| Serrinha | 1.820 | 24,4 | 2,8 |
| Euclides da Cunha | 1.901 | 24,3 | 3,2 |
| Delfino | 1.954 | 23,9 | 2,6 |
| Valença | 1.885 | 23,5 | 1,4 |
| Ipiaú | 1.787 | 23,9 | 1,5 |
| Belmonte | 1.835 | 23,3 | 1,6 |

TABELA 5.4 » Resumo das médias anuais das estações EMA validadas.

* CLASSIFICAÇÃO ISO 9060 DA SECOND STANDARD. ** DADOS FORNECIDOS PELO INMET.

### 5.2.2 ESTAÇÕES SOLARIMÉTRICAS PRIVADAS

Complementarmente às informações fornecidas pelo INMET, a AWST analisou dados fornecidos por um conjunto de estações solarimétricas de superfície operadas por empreendedores do setor energético, que autorizaram a utilização dos seus dados para este estudo. Essas estações têm históricos de dados com pelo menos um ano de duração, registrados entre 2013 e 2016. Por serem projetadas especificamente para subsidiar o desenvolvimento de projetos de energia solar, atendendo às especificações da EPE para a participação em leilões promovidos pelo Ministério das Minas e Energia – MME, essas estações dispõem de ampla documentação, incluindo detalhes de instalação e comissionamento, imagens, especificações técnicas dos sensores, certificados de calibração e dados brutos. A classe dos instrumentos utilizados nas estações solarimétricas é, em geral, superior à dos instrumentos utilizados nas estações EMA do INMET, e o programa de prevenção de falhas é mais rígido, para atender às exigências da EPE, de taxa de disponibilidade mínima de 90% e duração máxima de períodos de falha ou sem dados de 15 dias consecutivos[2].

Todas as estações solarimétricas analisadas foram equipadas com sensores de radiação solar, temperatura e velocidade do vento. Em geral, elas dispõem de dois piranômetros para medir a irradiância. Algumas delas ainda dispõem, complementarmente, de sensores de precipitação, umidade relativa e densidade do ar.

As estações solarimétricas são geralmente instaladas em uma treliça com altura aproximada de 3 m. A FIGURA 5.2 mostra uma configuração típica de estação solarimétrica projetada conforme recomendações da EPE.

Os relatórios de manutenção de cada estação foram verificados quanto a modificações nas configurações ao longo das medições, bem como quanto à frequência das operações de limpeza dos piranômetros.

Uma equipe multidisciplinar, incluindo profissionais experientes de meteorologia da AWST realizou a análise e validação dos dados registrados, examinando sua integridade e qualidade, e identificando possíveis falhas e erros de medição, tratando, deste modo, os dados brutos fornecidos pelos *dataloggers*.

AWS TRUEPOWER

FIGURA 5.2 » Configuração típica de estação solarimétrica padrão EPE.

Foram aplicadas ferramentas e metodologias internas da AWS Truepower para identificar possíveis problemas de registro ou desvios nos resultados. Alguns dos aspectos abordados foram a identificação de registros inválidos devido a eventos intitulados *ramp* (resultantes de períodos de cobertura por nuvens) ou outros incidentes, a identificação de dados faltantes e a verificação de valores de GHI excessivos ou com diferença muito grande entre os dois piranômetros.

Foram validados, para este estudo, dados de 11 das 12 estações, consistindo naquelas com período de medições superior a um ciclo climatológico completo de 12 meses. A variação mensal média da irradiação GHI para cada estação solarimétricas é apresentado no GRÁFICO 5.1.

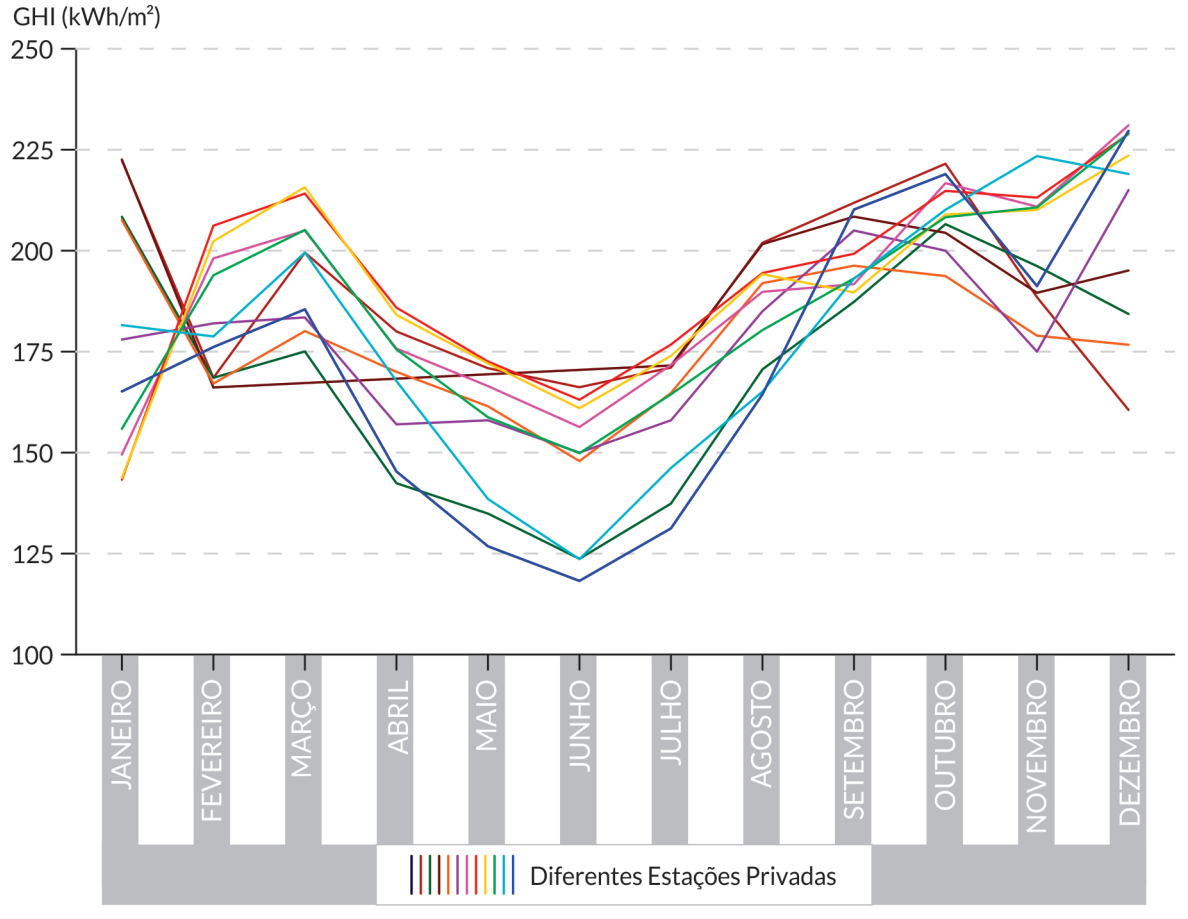



GRÁFICO 5.1 » Variação mensal da irradiação global horizontal para estações privadas.

## 5.3 VALIDAÇÃO DOS MAPAS E INCERTEZAS

O mapeamento da irradiação solar utilizando modelos de mesoescala permite caracterizar a distribuição espacial qualitativa do recurso. Porém, para obter os melhores resultados quantitativos, é necessário ajustar os mapas a partir das medições de irradiância em superfície. Conforme descrito no Item 5.2, o ajuste final dos mapas utilizou uma seleção das estações meteorológicas automáticas do INMET.

O ajuste consiste em uma correção do viés da modelagem. Considera-se a diferença entre o valor estimado pelo modelo no ponto da estação e o valor da irradiação de longo prazo, medida na estação. O valor médio da diferença é o *bias* a corrigir. Após a correção do *bias*, as diferenças nos pontos das estações do INMET para a irradiação global horizontal resultaram nos valores apresentados na TABELA 5.5.

A raiz do erro quadrático médio – RMSE (*root-mean-square error*), que é um indicador da incerteza do modelo, calculado a partir dos resultados da tabela anterior, é 5,4%. O valor é adequado, dadas as limitações da resolução espacial, de 2 km x 2 km.

Uma vez realizado o ajuste, os mapas foram validados para os dados das estações dos empreendedores privados e da estação do projeto SONDA. Os resultados da validação estão resumidos na tabela a seguir:

| Estação | Medição (kWh/m² ano) | Atlas (kWh/m² ano) | Diferença (%) |
|---|---|---|---|
| Cabrobó | 2.151 | 2.120 | -1,5% |
| Luis Eduardo Magalhães | 2.249 | 2.116 | -5,9% |
| Feira de Santana | 1.879 | 1.874 | -0,3% |
| Santa Rita de Cássia | 2.264 | 2.152 | -4,9% |
| Itabaianinha | 1.968 | 1.825 | -7,2% |
| Carira | 2.094 | 1.949 | -6,9% |
| Irecê | 2.182 | 2.185 | 0,1% |
| Lençóis | 1.831 | 1.822 | -0,5% |
| Guanambi | 2.273 | 2.203 | -3,1% |
| Barra | 2.207 | 2.227 | 0,9% |
| Piatã | 1.962 | 2.050 | 4,5% |
| Conde | 2.041 | 1.938 | -5,0% |
| Buritirama | 2.151 | 2.196 | 2,1% |
| Brumado | 1.985 | 2.070 | 4,3% |
| Amargosa | 1.840 | 1.720 | -6,5% |
| Uauá | 2.066 | 2.083 | 0,8% |
| Queimadas | 1.771 | 1.918 | 8,3% |
| Una | 1.805 | 1.695 | -6,1% |
| Maraú | 1.968 | 1.832 | -6,9% |
| Ibotirama | 2.250 | 2.177 | -3,2% |
| Jacobina | 1.774 | 1.960 | 10,5% |
| Serrinha | 1.820 | 1.933 | 6,2% |
| Euclides da Cunha | 1.901 | 1.986 | 4,5% |
| Delfino | 1.954 | 2.093 | 7,1% |
| Valença | 1.885 | 1.681 | -10,8% |
| Ipiaú | 1.787 | 1.739 | -2,7% |
| Belmonte | 1.835 | 1.697 | -7,5% |

TABELA 5.5 » Comparação dos valores medidos e resultantes do Atlas para as estações da rede do INMET.

| Município da Estação | Medição (kWh/m² ano) | Atlas (kWh/m² ano) | Diferença (%) |
|---|---|---|---|
| Caetité | 2.063 | 2.026 | -1,8% |
| Jacobina | 2.147 | 2.096 | -2,4% |
| Morro do Chapéu | 2.225 | 2.165 | -2,7% |
| Itaguaçu da Bahia | 2.279 | 2.219 | -2,7% |
| Xique-Xique | 2.313 | 2.221 | -3,9% |
| São Gabriel | 2.263 | 2.246 | -0,7% |
| Barreiras | 2.147 | 2.111 | -1,6% |
| Bom Jesus da Lapa | 2.136 | 2.175 | 1,8% |
| Morro do Chapéu | 2.015 | 1.964 | -2,5% |
| Xique-Xique | 2.263 | 2.238 | -1,1% |
| Guanambi | 2.330 | 2.201 | -5,5% |
| Petrolina | 1.945 | 2.120 | 9,0% |

TABELA 5.6 » Comparação dos valores medidos e resultantes do Atlas para as estações de empreendedores privados.

Os valores da TABELA 5.6, todavia, podem oferecer distorções, devido ao fato de que há medições com curto período de tempo, não representativas do longo prazo. Isso poderia explicar, parcialmente, a maior presença de valores negativos do que positivos. Contudo, o RMSE para as 12 estações consideradas é de 3,6%, comparável em ordem de grandeza e inferior ao obtido com as estações utilizadas no ajuste do mapa de irradiação global horizontal.

Atlas Solar Bahia

# 6

# MAPAS SOLARES

6.1 Irradiação Global Horizontal Sazonal 50

6.2 Irradiação Global Horizontal Anual 51

6.3 Irradiação Global Horizontal Mensal 52

6.4 Irradiação Difusa Horizontal Sazonal 54

6.5 Irradiação Difusa Horizontal Anual 55

6.6 Irradiação Difusa Horizontal Mensal 56

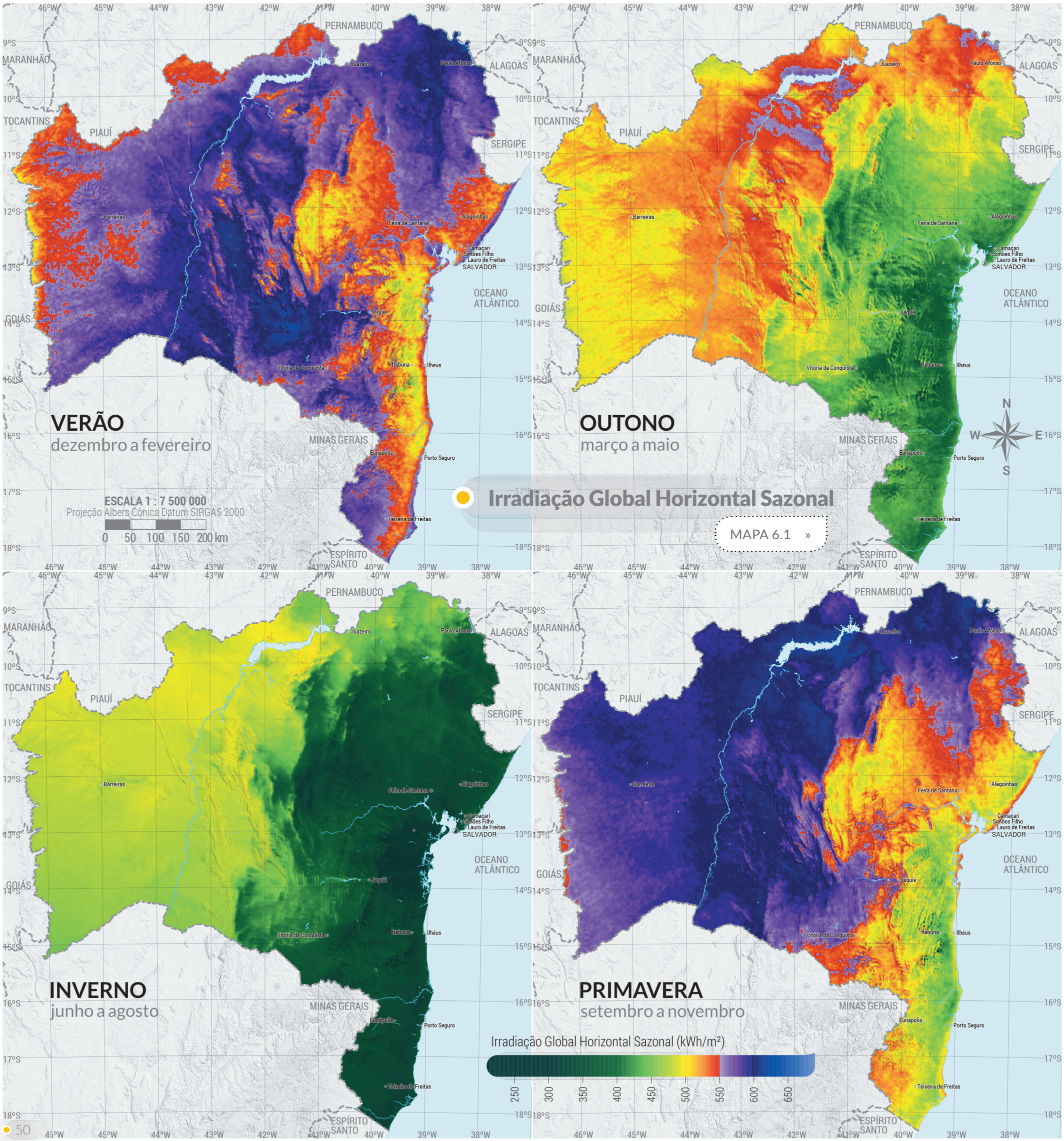
6.7 Irradiação Normal Direta Sazonal 58

6.8 Irradiação Normal Direta Anual 59

6.9 Irradiação Normal Direta Mensal 60

6.10 Temperatura Média Anual 62

6.11 Velocidade do Vento a 10 m de Altura 63




Irradiação Global Horizontal Sazonal

MAPA 6.1 »

# Atlas Solar Bahia

## Irradiação Global Horizontal Anual

MAPA 6.2 »

Irradiação Global Horizontal Anual (kWh/m²)

1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200 2400 2600

Calculado por AWS Truepower a partir do modelo de mesoescala WRF-Solar com núcleo ARW ajustado para medições solarimétricas, com resolução horizontal final de 2,5 km x 2,5 km.

BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, SIT-BA, IBGE[4],[5], EPE[2], INEMA, MMA[7], ANEEL[1] E GOOGLE EARH[3]

- n Conj. de n usinas fotovoltaicas em operação
- n Conj. de n usinas fotovoltaicas em construção
- n Conj. de n usinas eólicas em operação
- Usinas hidrelétricas em operação
- Pequenas centrais hidrelétricas em operação
- Usinas térmicas em operação
- Subestações em operação – transmissão
- Subestações em operação – distribuição (≥ 34,5 kV)
- Subestação planejadas – transmissão
- LT 500 kV em operação
- LT 500 kV planejada ou licitada
- LT 230 kV em operação
- LT 230 kV planejada
- LT 138 kV em operação
- LT 69 kV em operação
- LT 34,5 kV em operação
- Lago de Sobradinho
- Corpos de água
- Rios
- Áreas de proteção integral e terras indígenas
- Portos
- Ancoradouros
- Aeroportos
- Rodovias pavimentadas
- Rodovias implantadas
- Rodovias em leito natural
- Ferrovias
- Sedes municipais
- Divisas estaduais

ESCALA 1 : 3 750 000
Projeção Albers Cônica
Datum SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km

SENAI CIMATEC | SISTEMA FIEB
Federação das Indústrias do Estado da Bahia

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA

SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

BAHIA GOVERNO DO ESTADO

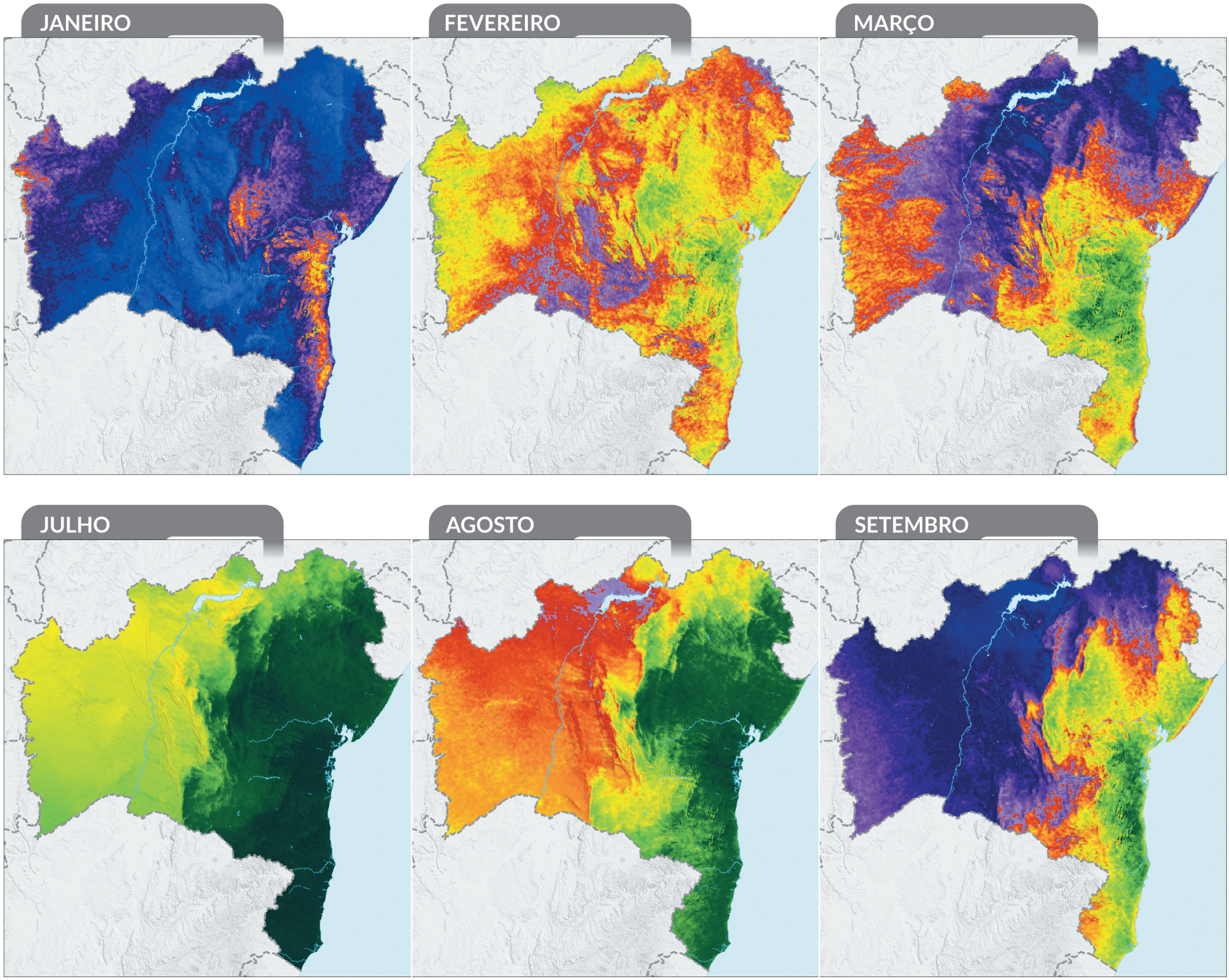
Apoio:

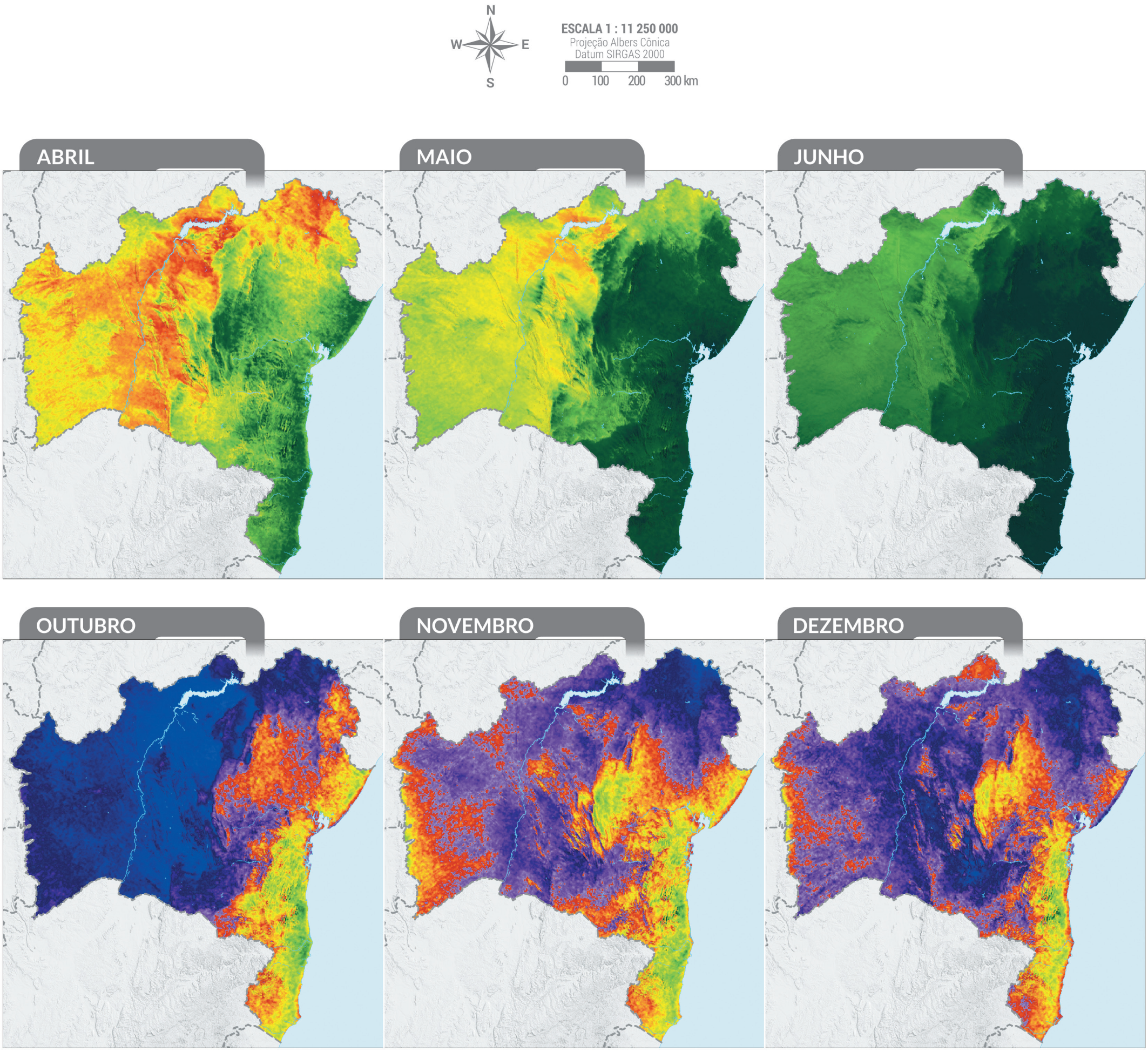
AWS TRUEPOWER

CAMARGO SCHUBERT

## Irradiação Global Horizontal Mensal

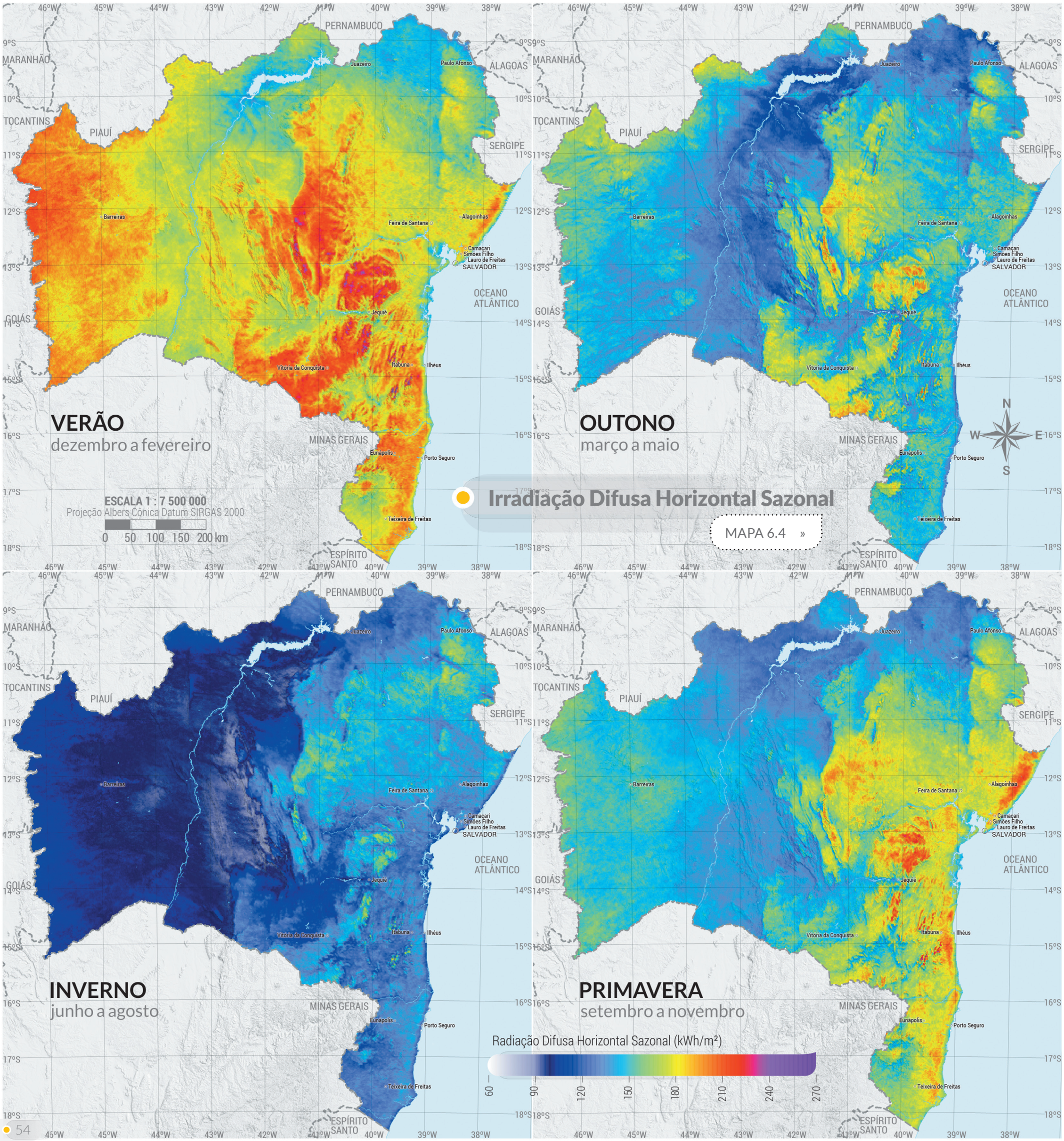
MAPA 6.3 »




N
W
E
S
ESCALA 1 : 11 250 000
Projeção Albers Cônica
Datum SIRGAS 2000
0 100 200 300 km
ABRIL
MAIO
JUNHO
OUTUBRO
NOVEMBRO
DEZEMBRO

# Irradiação Difusa Horizontal Sazonal

MAPA 6.4 »



# Atlas Solar Bahia

## Irradiação Difusa Horizontal Anual

MAPA 6.5 »

Irradiação Difusa Horizontal Anual (kWh/m²)

240 — 360 — 480 — 600 — 720 — 840 — 960 — 1080

Calculado por AWS Truepower a partir do modelo de mesoescala WRF-Solar com núcleo ARW ajustado para medições solarimétricas, com resolução horizontal final de 2,5 km x 2,5 km.

BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, SIT-BA, IBGE[4],[5], EPE[2], INEMA, MMA[7], ANEEL[1] E GOOGLE EARH[3]

- n Conj. de n usinas fotovoltaicas em operação
- n Conj. de n usinas fotovoltaicas em construção
- n Conj. de n usinas eólicas em operação
- Usinas hidrelétricas em operação
- Pequenas centrais hidrelétricas em operação
- Usinas térmicas em operação
- Subestações em operação – transmissão
- Subestações em operação – distribuição (≥ 34,5 kV)
- Subestação planejadas – transmissão
- LT 500 kV em operação
- LT 500 kV planejada ou licitada
- LT 230 kV em operação
- LT 230 kV planejada
- LT 138 kV em operação
- LT 69 kV em operação
- LT 34,5 kV em operação
- Lago de Sobradinho
- Corpos de água
- Rios
- Áreas de proteção integral e terras indígenas
- Portos
- Ancoradouros
- Aeroportos
- Rodovias pavimentadas
- Rodovias implantadas
- Rodovias em leito natural
- Ferrovias
- Sedes municipais
- Divisas estaduais

ESCALA 1 : 3 750 000
Projeção Albers Cônica
Datum SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km

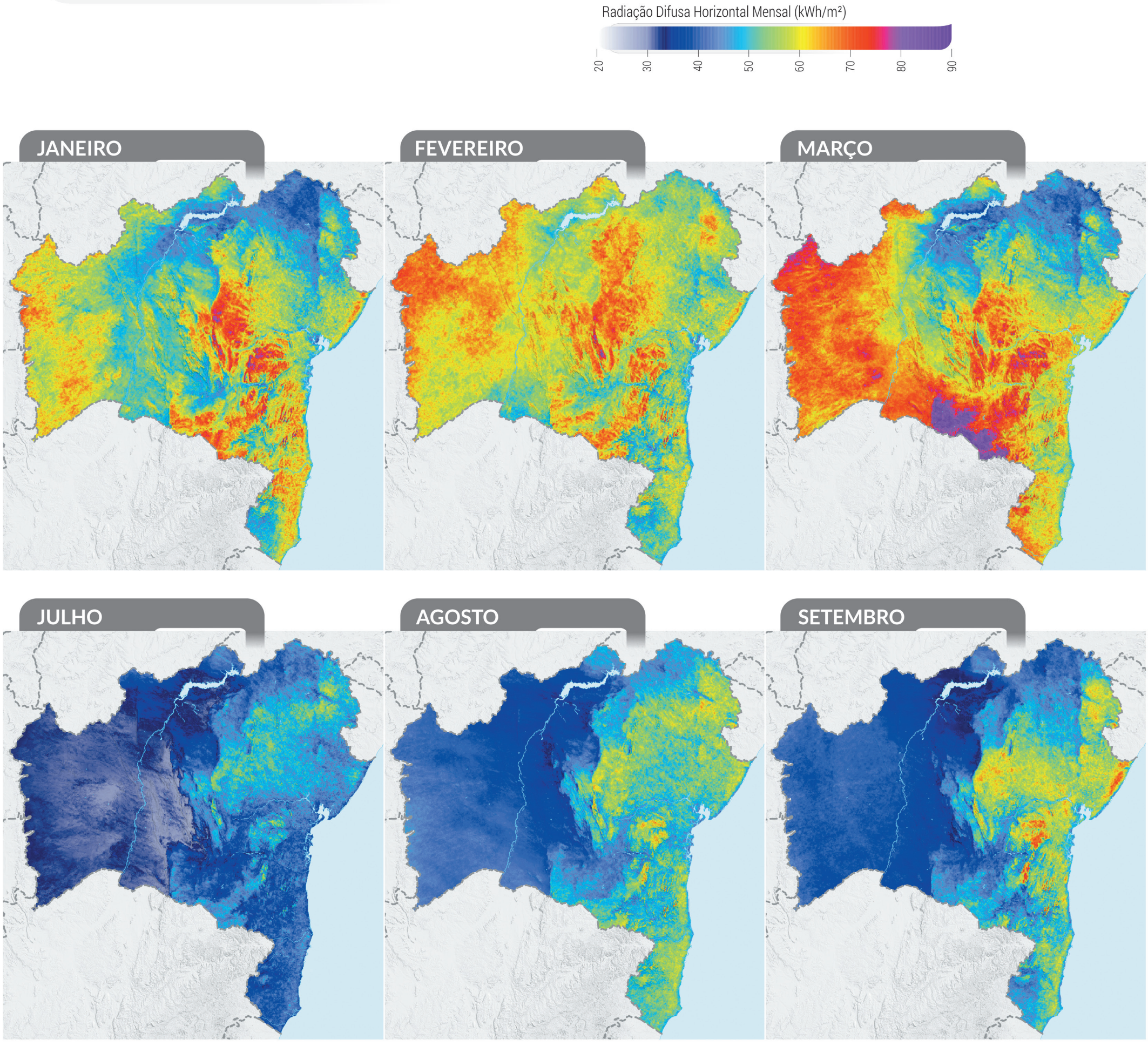
SENAI CIMATEC — SISTEMA FIEB
Federação das Indústrias do Estado da Bahia

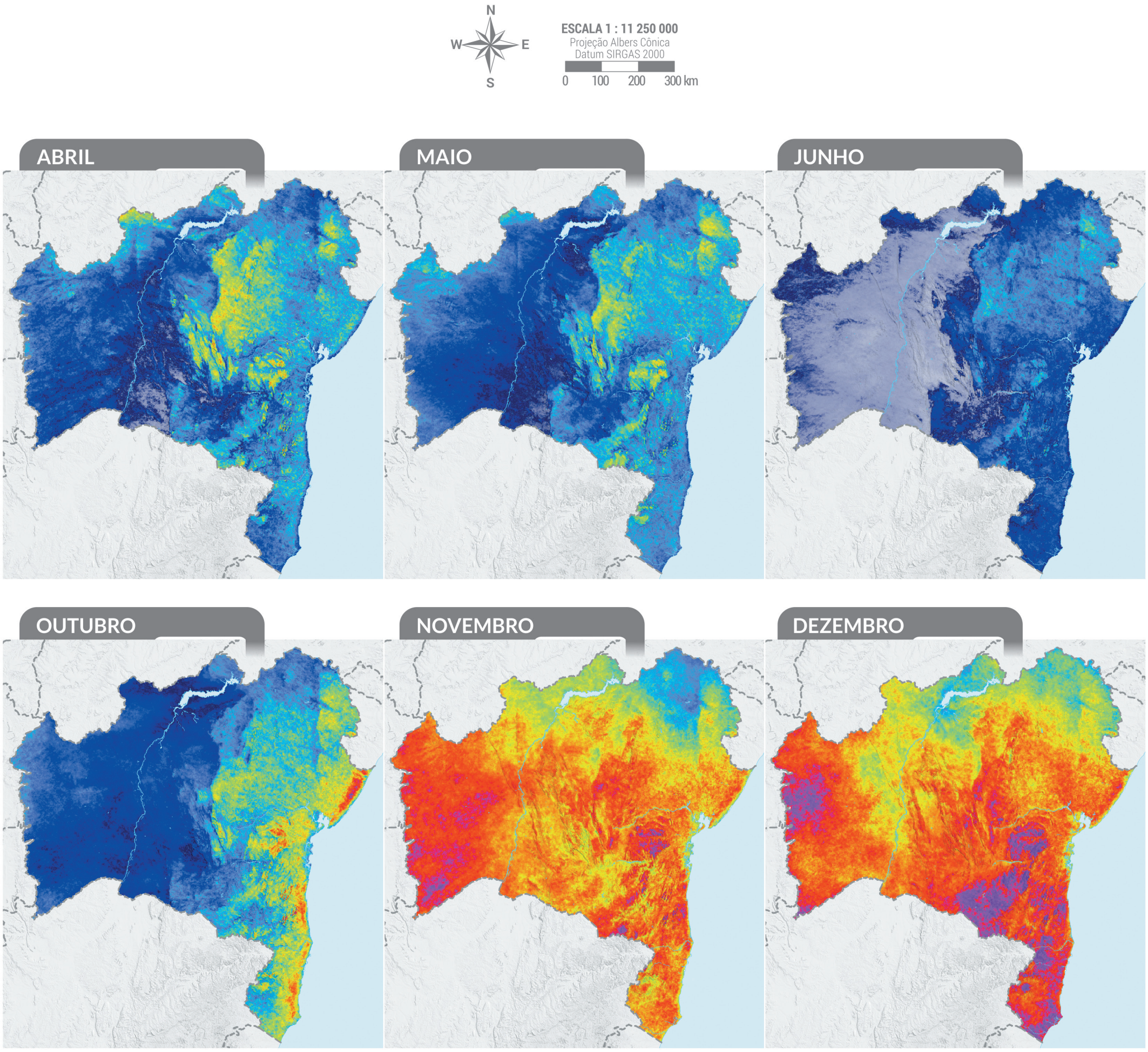
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
BAHIA GOVERNO DO ESTADO

Apoio:
AWS TRUEPOWER
CAMARGO SCHUBERT

## Irradiação Difusa Horizontal Mensal

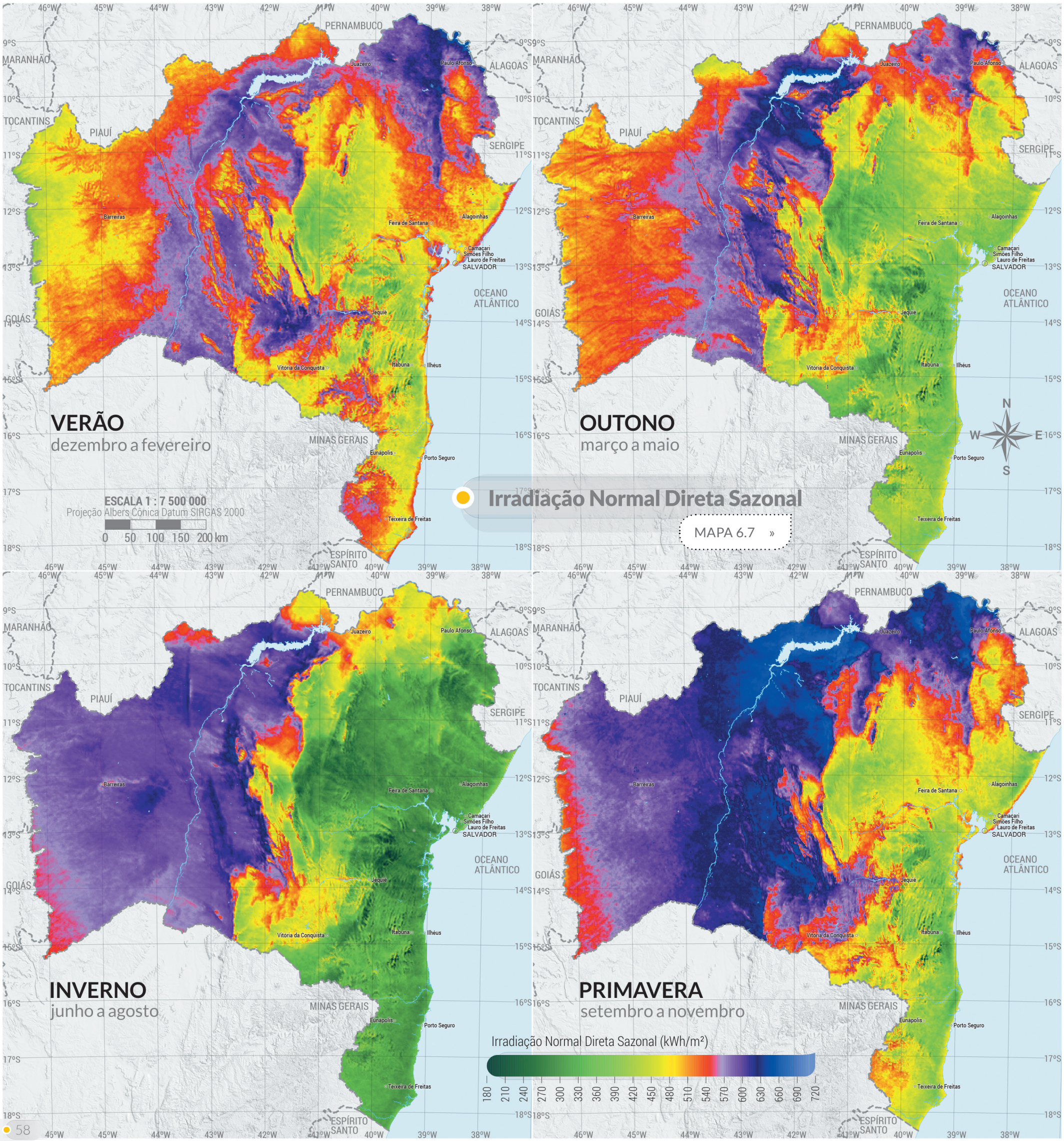
MAPA 6.6 »




N
W
E
S
ESCALA 1 : 11 250 000
Projeção Albers Cônica
Datum SIRGAS 2000
0 100 200 300 km
ABRIL
MAIO
JUNHO
OUTUBRO
NOVEMBRO
DEZEMBRO

# Irradiação Normal Direta Sazonal

MAPA 6.7 »



# Atlas Solar Bahia

## Irradiação Normal Direta Anual

MAPA 6.8 »

Irradiação Normal Direta Anual (kWh/m²)

720 840 960 1080 1200 1320 1440 1560 1680 1800 1920 2040 2160 2280 2400 2520 2640 2760 2880

Calculado por AWS Truepower a partir do modelo de mesoescala WRF-Solar com núcleo ARW ajustado para medições solarimétricas, com resolução horizontal final de 2,5 km x 2,5 km.

BASE CARTOGRÁFICA: CHESF, COELBA, SIT-BA, IBGE[4],[5], EPE[2], INEMA, MMA[7], ANEEL[1] E GOOGLE EARH[3]

- n Conj. de n usinas fotovoltaicas em operação
- n Conj. de n usinas fotovoltaicas em construção
- n Conj. de n usinas eólicas em operação
- Usinas hidrelétricas em operação
- Pequenas centrais hidrelétricas em operação
- Usinas térmicas em operação
- Subestações em operação – transmissão
- Subestações em operação – distribuição (≥ 34,5 kV)
- Subestação planejadas – transmissão
- LT 500 kV em operação
- LT 500 kV planejada ou licitada
- LT 230 kV em operação
- LT 230 kV planejada
- LT 138 kV em operação
- LT 69 kV em operação
- LT 34,5 kV em operação
- Lago de Sobradinho
- Corpos de água
- Rios
- Áreas de proteção integral e terras indígenas
- Portos
- Ancoradouros
- Aeroportos
- Rodovias pavimentadas
- Rodovias implantadas
- Rodovias em leito natural
- Ferrovias
- Sedes municipais
- Divisas estaduais

ESCALA 1 : 3 750 000
Projeção Albers Cônica
Datum SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km

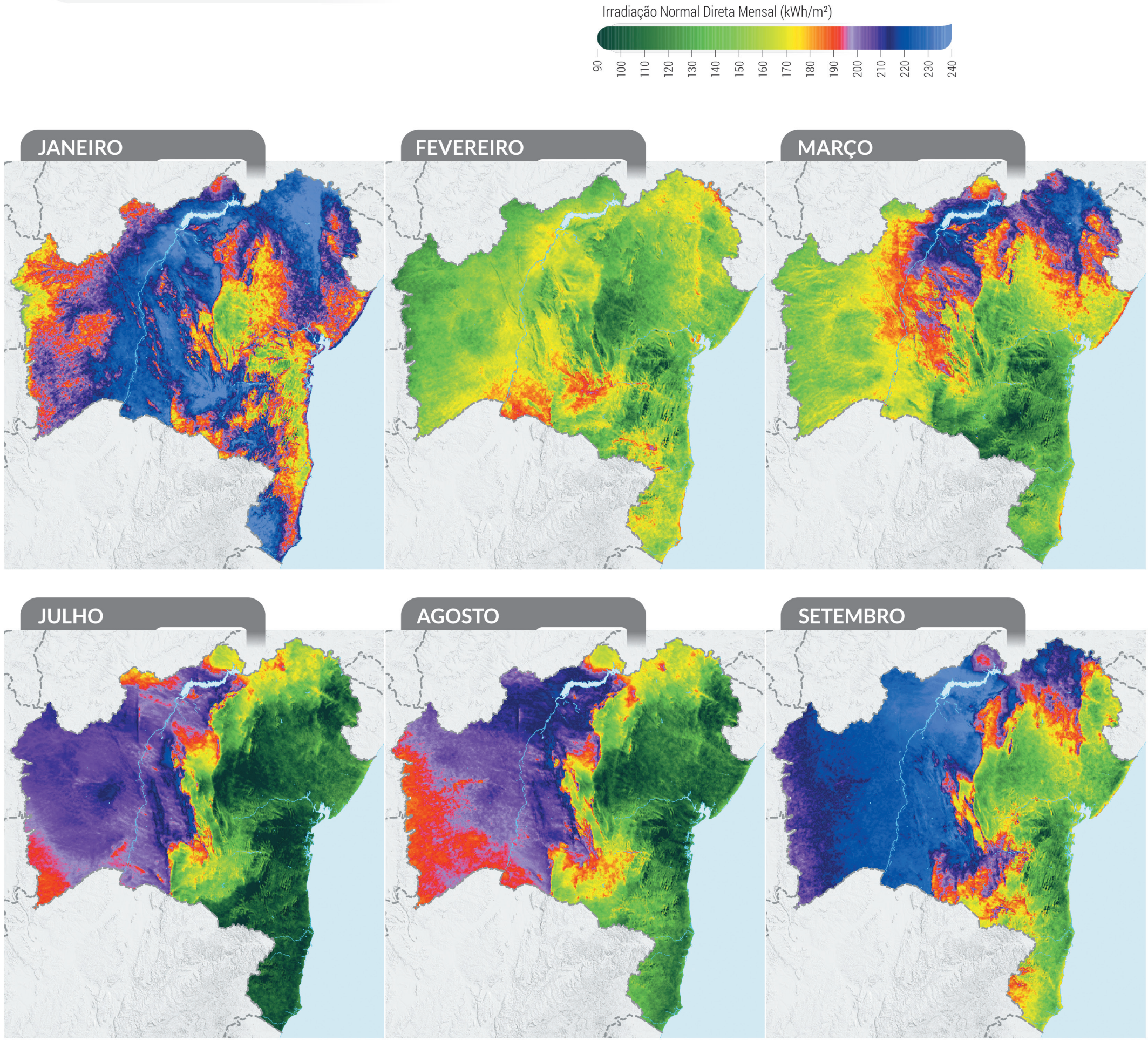
SENAI CIMATEC | SISTEMA FIEB
Federação das Indústrias do Estado da Bahia

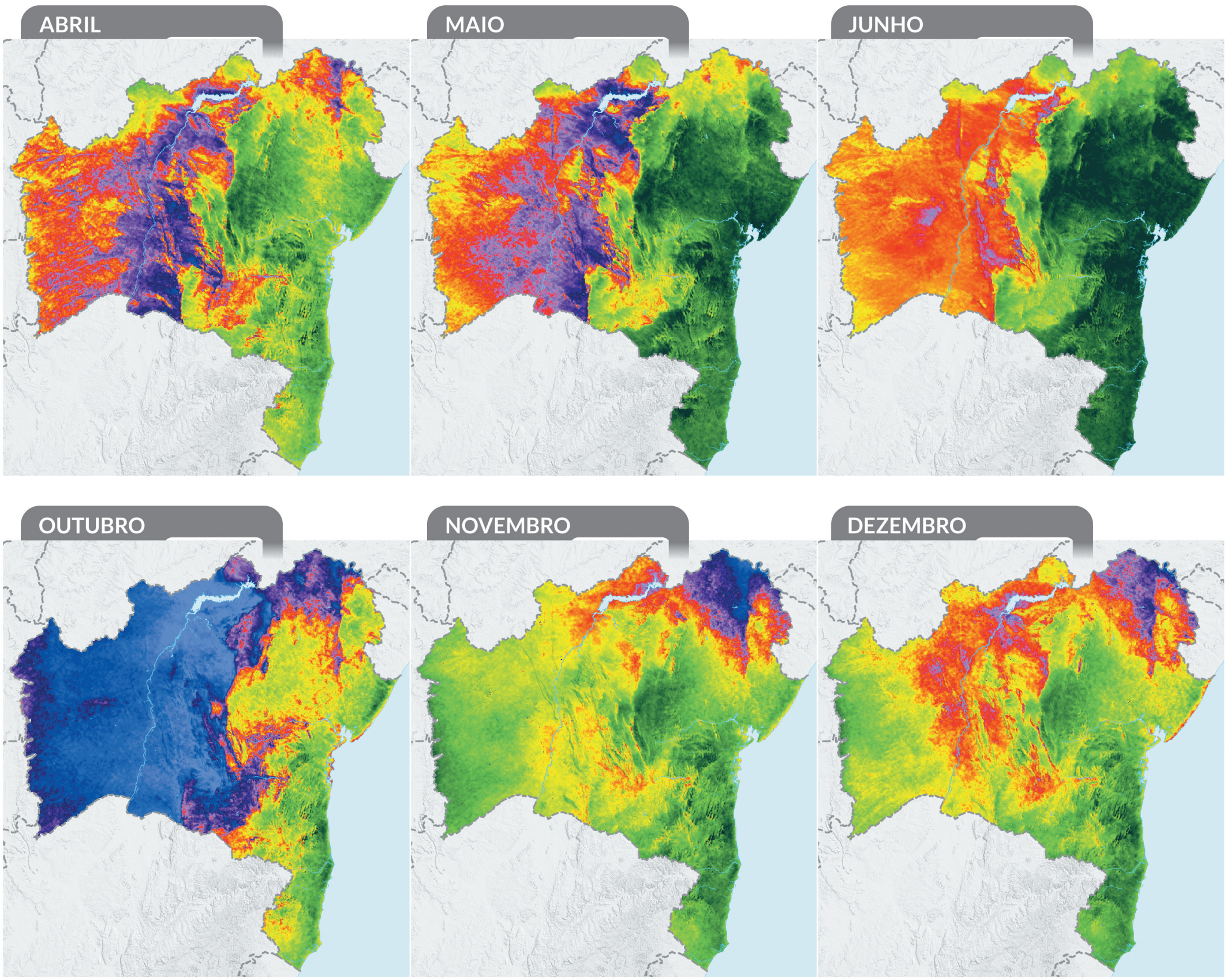
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
BAHIA GOVERNO DO ESTADO

Apoio:
AWS TRUEPOWER
CAMARGO SCHUBERT

## Irradiação Normal Direta Mensal

MAPA 6.9 »




N
W
E
S
ESCALA 1 : 11 250 000
Projeção Albers Cônica
Datum SIRGAS 2000
0 100 200 300 km
ABRIL
MAIO
JUNHO
OUTUBRO
NOVEMBRO
DEZEMBRO

# Atlas Solar Bahia

## Temperatura Média Anual

MAPA 6.10 »

Temperatura Anual a 2 m de altura (°C)

14 16 18 20 22 24 26 28

BASE CARTOGRÁFICA: SIT-BA, IBGE[4],[5] E GOOGLE EARH[3]

Calculado por AWS Truepower a partir do modelo de mesoescala WRF-Solar com núcleo ARW ajustado para normais climatológicas[6], com resolução horizontal final de 2,5 km x 2,5 km.

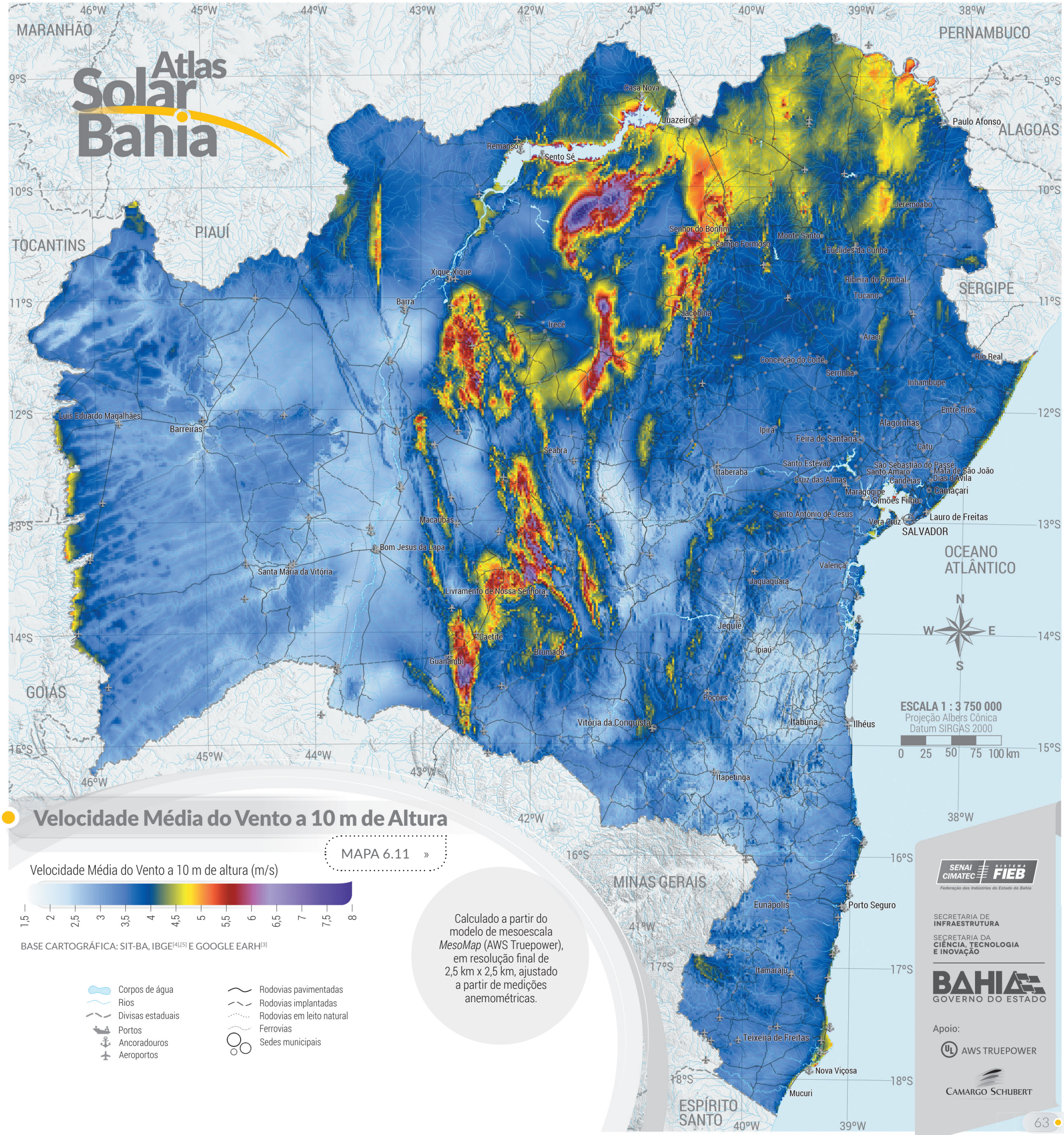
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais
- Portos
- Ancoradouros
- Aeroportos
- Rodovias pavimentadas
- Rodovias implantadas
- Rodovias em leito natural
- Ferrovias
- Sedes municipais

ESCALA 1 : 3 750 000
Projeção Albers Cônica
Datum SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km

SENAI CIMATEC | SISTEMA FIEB
Federação das Indústrias do Estado da Bahia

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
BAHIA GOVERNO DO ESTADO

Apoio:
AWS TRUEPOWER
CAMARGO SCHUBERT


Atlas Solar Bahia
MARANHÃO
PERNAMBUCO
ALAGOAS
PIAUÍ
TOCANTINS
SERGIPE
GOIÁS
MINAS GERAIS
ESPÍRITO SANTO
OCEANO ATLÂNTICO
SALVADOR
Casa Nova
Juazeiro
Paulo Afonso
Remanso
Sento Sé
Jeremoabo
Senhor do Bonfim
Campo Formoso
Monte Santo
Euclides da Cunha
Xique-Xique
Ribeira do Pombal
Tucano
Barra
Jacobina
Irecê
Araci
Rio Real
Conceição do Coité
Serrinha
Inhambupe
Entre Rios
Luís Eduardo Magalhães
Barreiras
Alagoinhas
Ipirá
Feira de Santana
Catu
Seabra
Santo Estêvão
São Sebastião do Passé
Santo Amaro
Mata de São João
Itaberaba
Cruz das Almas
Dias d'Ávila
Candeias
Maragogipe
Camaçari
Simões Filho
Santo Antônio de Jesus
Vera Cruz
Lauro de Freitas
Macaúbas
Bom Jesus da Lapa
Santa Maria da Vitória
Valença
Livramento de Nossa Senhora
Jaguaquara
Jequié
Caetité
Brumado
Ipiaú
Guanambi
Poções
Vitória da Conquista
Itabuna
Ilhéus
Itapetinga
Eunápolis
Porto Seguro
Itamaraju
Teixeira de Freitas
Nova Viçosa
Mucuri
9°S
10°S
11°S
12°S
13°S
14°S
15°S
16°S
17°S
18°S
46°W
45°W
44°W
43°W
42°W
41°W
40°W
39°W
38°W
N
S
W
E
ESCALA 1 : 3 750 000
Projeção Albers Cônica
Datum SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km
Velocidade Média do Vento a 10 m de Altura
MAPA 6.11 »
Velocidade Média do Vento a 10 m de altura (m/s)
1,5 2 2,5 3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 7,5 8
BASE CARTOGRÁFICA: SIT-BA, IBGE[4],[5] E GOOGLE EARH[3]
Corpos de água
Rios
Divisas estaduais
Portos
Ancoradouros
Aeroportos
Rodovias pavimentadas
Rodovias implantadas
Rodovias em leito natural
Ferrovias
Sedes municipais
Calculado a partir do modelo de mesoescala MesoMap (AWS Truepower), em resolução final de 2,5 km x 2,5 km, ajustado a partir de medições anemométricas.
SENAI CIMATEC
SISTEMA FIEB
Federação das Indústrias do Estado da Bahia
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
BAHIA
GOVERNO DO ESTADO
Apoio:
AWS TRUEPOWER
CAMARGO SCHUBERT

Atlas Solar Bahia

# 7

# ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS

## 7.1 POTENCIAL FOTOVOLTAICO DO ESTADO DA BAHIA

O potencial fotovoltaico do Estado da Bahia foi calculado a partir da integração dos mapas de incidência de radiação solar, utilizando-se técnicas de geoprocessamento e cálculo de desempenho baseado nas mais recentes tecnologias fotovoltaicas consolidadas comercialmente.

A metodologia descrita a seguir busca estimar perspectivas realistas para implantação de projetos no Estado, considerando conjuntamente o maior número de premissas e informações disponíveis.

### 7.1.1 INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO CENTRALIZADA

No processo de cálculo do potencial fotovoltaico do Estado da Bahia, foram adotadas as seguintes considerações:

1. Foram utilizadas curvas médias de desempenho de equipamentos fotovoltaicos consolidados comercialmente para uso em usinas centralizadas, considerando diferentes tecnologias.

2. Normalmente, uma usina solar moderna atinge uma densidade de potência, dentro do seu próprio terreno, da ordem de 20~30 MW/km². Entretanto, nem todas as áreas do Estado teoricamente adequadas serão efetivamente utilizadas para instalações fotovoltaicas, pois há diversas outras necessidades socioeconômicas para o uso da terra. Além do mais, deve-se prever espaço para instalações de serviço e restrições ambientais dentro da usina. Estimou-se, portanto, que plantas solares poderiam ocupar, em média, **20% da superfície total realizável** por usinas comerciais em terrenos com condições ótimas, denominando-se essa proporção **fator de aproveitamento da superfície.** Isso corresponde, por exemplo, a uma densidade viável de módulos fotovoltaicos de 4 MW/km² para a tecnologia de silício cristalino sem rastreador solar. Como o Atlas tem uma resolução de 2 km x 2 km, cada *pixel* em condições ótimas teria, a partir das premissas acima, uma capacidade de 16 MW.

| Tecnologia | Sistema | Densidade de Potência Efetiva (MW/km²) |
|---|---|---|
| Silício cristalino | Fixo | 4,0 |
| Silício cristalino | Rastreador um eixo | 3,2 |
| Filme-fino | Fixo | 3,6 |
| Filme-fino | Rastreador um eixo | 2,8 |

TABELA 7.1 »

3. Pode-se definir a **densidade de potência efetiva** como a densidade de potência da planta multiplicada pelo fator de aproveitamento da superfície. Para o silício cristalino, essa densidade efetiva é de 4,0 MW/km². Para outras tecnologias, adotam-se outras proporções, pois a densidade de potência dos painéis é menor, conforme a TABELA 7.1.

4. Para a determinação das áreas realizáveis, ou "ótimas", foram aplicadas técnicas de geoprocessamento para excluir as seguintes áreas:

- Áreas protegidas;
- Áreas agrícolas;
- Áreas de formações florestais;
- Corpos d'água (lagos, reservatórios), com exceção do lago de Sobradinho; a não exclusão da área de Sobradinho deve-se à perspectiva gerada por recentes desenvolvimentos na indústria fotovoltaica com protótipos de usinas flutuantes, que oferecem algumas vantagens em relação às usinas em solo (FIGURA 7.1);
- Áreas a uma distância menor de 20 km da costa.
- Áreas com inclinação do terreno maior que 3%. Ainda que terrenos com inclinações maiores sejam tecnicamente realizáveis, possuem maior custo da instalação. Deve-se também considerar que a declividade de 3%, no caso do presente estudo, refere-se a um modelo digital de elevação de 2 km x 2 km, desconsiderando valores maiores que podem ocorrer na microescala.

A TABELA 7.2 mostra o potencial fotovoltaico por faixas de irradiação anual:

TABELA 7.2 »

### POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CENTRALIZADA POR FAIXAS DE INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO: POTÊNCIA INSTALÁVEL

| Faixa de Irradiação Anual (kWh/m²) | Superfície | | | Silício Cristalino | | Filme-Fino | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (km²) | % Total | % Útil | Fixo (MW) | Rastreador (MW) | Fixo (MW) | Rastreador (MW) |
| < 1.800 | 33.344 | 5,9% | 10,2% | 133.376 | 106.701 | 120.038 | 93.363 |
| 1.800 – 1.900 | 54.444 | 9,6% | 16,7% | 217.776 | 174.221 | 195.998 | 152.443 |
| 1.900 – 2.000 | 37.944 | 6,7% | 11,6% | 151.776 | 121.421 | 136.598 | 106.243 |
| 2.000 – 2.100 | 46.200 | 8,2% | 14,2% | 184.800 | 147.840 | 166.320 | 129.360 |
| 2.100 - 2.200 | 129.184 | 22,9% | 39,6% | 516.736 | 413.389 | 465.062 | 361.715 |
| **> 2.200** | **25.256** | **4,5%** | **7,7%** | **101.024** | **80.819** | **90.922** | **70.717** |
| Áreas excluídas | 238.876 | 42,3% | | | | | |

A produção potencial líquida esperada para cada uma das faixas de irradiaçã anual e tecnologia é:

TABELA 7.3 »

## POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CENTRALIZADA POR FAIXAS DE INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO: ENERGIA ANUAL LÍQUIDA

| Faixa de Irradiação Anual (kWh/m²) | Silício Cristalino | | | | Filme-Fino | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fixo | | Rastreador | | Fixo | | Rastreador | |
| | GWh/ano | % | GWh/ano | % | GWh/ano | % | GWh/ano | % |
| < 1.800 | 182.342 | 8,9% | 173.240 | 9,0% | 167.982 | 8,9% | 155.315 | 8,9% |
| 1.800 – 1.900 | 314.245 | 15,3% | 297.451 | 15,4% | 289.553 | 15,3% | 266.723 | 15,4% |
| 1.900 – 2.000 | 230.317 | 11,2% | 217.454 | 11,2% | 212.232 | 11,2% | 195.002 | 11,2% |
| 2.000 – 2.100 | 295.014 | 14,4% | 277.641 | 14,3% | 271.960 | 14,4% | 249.083 | 14,3% |
| 2.100 - 2.200 | 858.779 | 41,8% | 807.157 | 41,7% | 792.560 | 41,9% | 725.003 | 41,7% |
| **> 2.200** | **172.412** | **8,4%** | **161.994** | **8,4%** | **159.231** | **8,4%** | **145.619** | **8,4%** |

Para a estimativa do potencial economicamente viável, que seja capaz de competir com outras fontes renováveis dentro do ambiente de contratação por leilões, foram computadas apenas as áreas de alto rendimento. Considerando, portanto, apenas o nível anual de irradiação anual superior a 2.200 kWh/m², além de todas as demais premissas enumeradas anteriormente, o potencial solar para geração centralizada no Estado da Bahia é de aproximadamente 100 GW para a tecnologia com silício cristalino e estrutura fixa. É importante frisar que outras faixas de irradiação anual podem ser tecnicamente viáveis. O potencial calculado para cada uma dessas faixas é apresentado nas TABELAS 7.2 e 7.3.

### 7.1.2 INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Com o objetivo de subsidiar o planejamento de instalações em pequena escala na forma de geração distribuída, apresenta-se complementarmente uma estimativa sobre o potencial solar descentralizado no Estado. As premissas são distintas das adotadas no item anterior, conforme descrição a seguir:

- Os critérios são menos restritivos. Por exemplo, não há problemas com declividades ou áreas protegidas, pois praticamente qualquer edifício pode receber um ou diversos painéis solares para autoconsumo.

SOLARWRITER / CC BY-SA 3.0 / GFDL / VIA WIKIMEDIA COMMONS

FIGURA 7.1 » Instalação fotovoltaica flutuante sobre uma lagoa de irrigação na região do Vale de Napa, Califórnia (EUA); entre as vantagens proferidas por desenvolvedores desse sistema estão a ausência de obstáculos, a melhor eficiência devido à temperatura próxima à lâmina d'água, a redução da evaporação e a redução do crescimento de algas e outros organismos (devido à redução da temperatura).

• O nível de irradiação anual mínimo para tornar uma instalação viável é consideravelmente menor. Adotou-se, portanto, o nível igual ou superior a 1.800 kWh/m² como suficiente para que o investimento seja lucrativo, sempre que as condições legais forem atendidas.

• Os painéis solares em áreas urbanas podem ter densidade superior àqueles em instalações centralizadas. A prioridade é pelo aproveitamento do espaço disponível, normalmente ocupado por estruturas fixas, o que limita o aproveitamento ótimo do recurso. Pode-se considerar como representativo da densidade em áreas urbanas o intervalo entre 30 e 40 MW/km², para tecnologia de silício cristalino.

• A área aproveitável em relação à área total, por outro lado, é menor que os 20% considerados nas áreas sem restrições para geração centralizada. Isso ocorre porque os telhados onde serão instalados os módulos são apenas uma fração da superfície total, e nem todos eles podem ser utilizados. Portanto, da superfície urbana total, pode-se considerar como aproveitável uma fração da ordem de 0,15%, o que resulta na densidade efetiva para a geração distribuída de 0,045-0,060 MW/km². De maneira simplificada, considerou-se neste estudo o valor médio de 0,05 MW/km².

• O rendimento dos painéis urbanos é inferior ao rendimento em usinas centralizadas, devido à presença de obstáculos, às orientações naturais dos telhados e às inclinações dos painéis, que não são ótimas. Consideraram-se, portanto, perdas médias adicionais associadas à instalação em zonas urbanas de 3%.

Considerando as premissas anteriores aplicadas sobre as grandes áreas urbanas do Estado da Bahia (descartados os pequenos povoados), tem-se uma superfície total da ordem de 3.500 km², resultando em uma capacidade estimada de 177 MW. A produção anual estimável com essa potência seria de 262 GWh, ou um pouco mais de 1% do consumo elétrico total do Estado da Bahia no ano 2016[2].

## 7.2 POSSIBILIDADES DE INSERÇÃO DA FONTE SOLAR NA MATRIZ ENERGÉTICA DA BAHIA

Provavelmente, o maior obstáculo à penetração em larga escala da energia solar na matriz energética da Bahia é a localização das áreas de maior incidência de radiação, que poderiam ser economicamente competitivas com outras fontes de energia, mas situam-se distantes dos centros de consumo, i. e., grandes cidades e polos industriais. Ademais, nessas áreas de grande potencial, a infraestrutura de acesso e a rede de subestações com capacidade de escoamento ainda são limitadas.

O MAPA 7.1 mostra a superposição das melhores áreas eólicas, estudadas no Atlas Eólico de 2013[1], com as melhores áreas de irradiação solar, resultado do presente estudo.

Essas áreas de intersecção localizam-se em uma região central do Estado, estendendo-se de norte a sul. Algumas regiões são excepcionalmente promissoras em potencial energético para ambas as tecnologias, o que pode impulsionar o desenvolvimento de novas instalações, por diferentes motivos:

• As fontes eólica e solar, no interior da Bahia, se complementam no regime diurno. A geração simultânea com o uso das duas tecnologias torna possível reduzir a variação no fornecimento de energia, se comparada com a geração com o uso de uma delas isoladamente. Da mesma forma, mas em menor intensidade, conforme discutido no Capítulo 2, há uma tendência à complementaridade na produção por essas fontes no regime anual.

• A proximidade de usinas, sejam da mesma ou de diferentes fontes, permite otimizar o uso das subestações e a rede de transmissão. Ressalta-se aqui o caso em que a distribuição da geração é complementar, como explicado no ponto anterior.

• A existência de áreas ótimas para ambas as tecnologias eólica e solar pode favorecer a instalação de parques híbridos que façam uso de novas tecnologias atualmente em desenvolvimento. Esses avanços tecnológicos já permitem que usinas solares compartilhem até mesmo os inversores e transformadores dos aerogeradores.

• A proximidade geográfica entre as áreas promissoras para o desenvolvimento de grandes projetos solares e eólicos pode auxiliar no planejamento da expansão do Sistema Elétrico baiano. O Sistema está sendo ampliado para permitir o escoamento da energia produzida pelos grandes projetos eólicos recentemente contratados em leilões de energia.

# Atlas Solar Bahia

## Áreas de Intersecção Entre Mapas Solar e Eólico

MAPA 7.1 »

- $GHI_{anual}$ > 2.200 kWh/m²
- $GHI_{anual}$ > 2.200 kWh/m² e $v_{média}$ > 7 m/s
- $v_{média, vento}$ > 7 m/s a 100 m de altura

- n Conj. de n usinas fotovoltaicas em operação
- n Conj. de n usinas fotovoltaicas em construção
- n Conj. de n usinas eólicas em operação
- Usinas hidrelétricas em operação
- Pequenas centrais hidrelétricas em operação
- Usinas térmicas em operação
- Subestações em operação – transmissão
- Subestações em operação – distribuição (≥ 34,5 kV)
- Subestação planejadas – transmissão
- LT 500 kV em operação
- LT 500 kV planejada ou licitada
- LT 230 kV em operação
- LT 230 kV planejada
- LT 138 kV em operação
- LT 69 kV em operação
- LT 34,5 kV em operação
- Lago de Sobradinho
- Corpos de água
- Rios
- Áreas de proteção integral e terras indígenas
- Portos
- Ancoradouros
- Aeroportos
- Rodovias pavimentadas
- Rodovias implantadas
- Rodovias em leito natural
- Ferrovias
- Sedes municipais
- Divisas estaduais

ESCALA 1 : 3 750 000
Projeção Albers Cônica
Datum SIRGAS 2000
0 25 50 75 100km

SENAI CIMATEC | SISTEMA FIEB
Federação das Indústrias do Estado da Bahia

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
BAHIA GOVERNO DO ESTADO

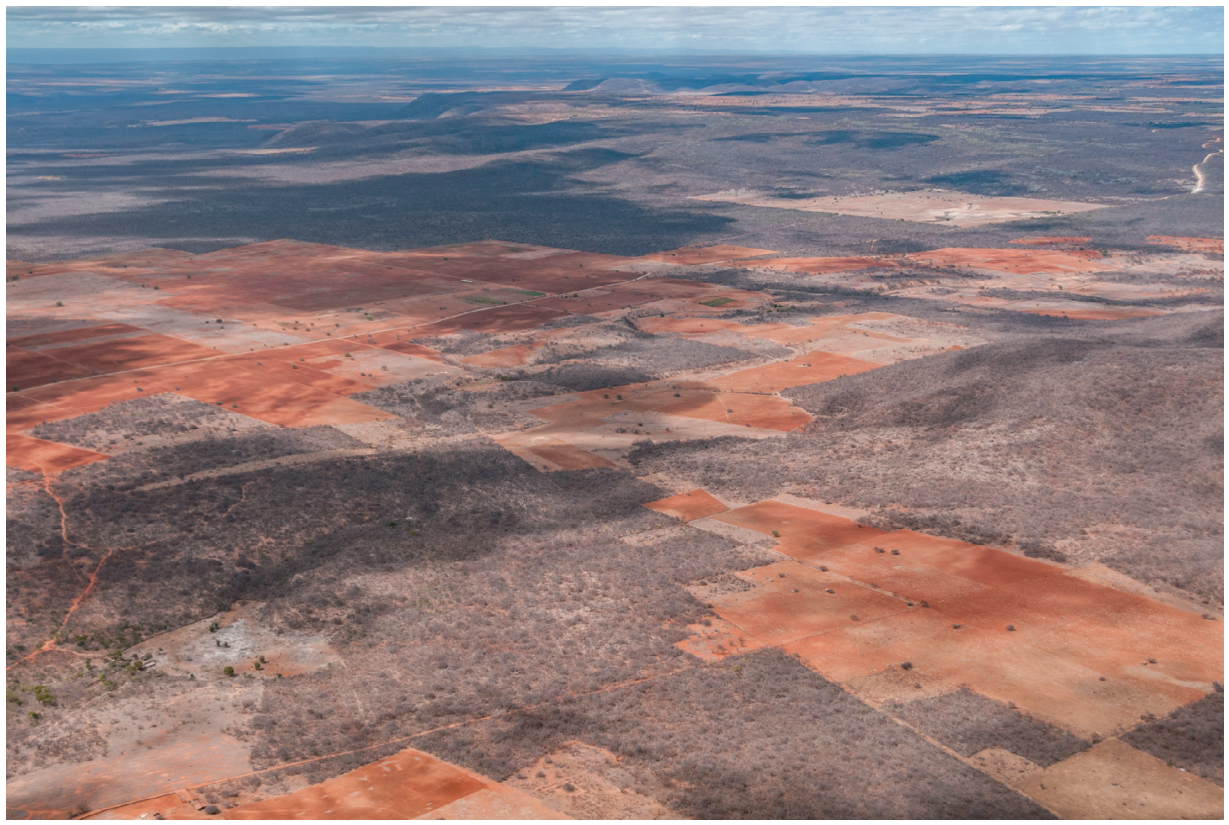
Apoio:
AWS TRUEPOWER
CAMARGO SCHUBERT

### 7.2.1 DISTRIBUIÇÃO DA INCIDÊNCIA SOLAR NO ESTADO DA BAHIA

O Estado da Bahia é vasto e, praticamente, todo o seu território é privilegiado em níveis de irradiação solar. Conforme discutido anteriormente, a diferença entre a produção de energia devida à diferença do recurso entre várias regiões pode não ser o principal fator na definição de um local para um projeto. Outros fatores como proximidade de linhas de transmissão ou de centros consumidores são também determinantes, especialmente no ambiente competitivo dos leilões de energia.

A despeito disso, não se pode deixar de mencionar, pelos mapas apresentados no Capítulo 6, a predominância da incidência de radiação solar no oeste e norte do Estado, bem como o potencial promissor dessas regiões. A região ao longo do Vale do Rio São Francisco é a mais privilegiada, com extensas áreas de planície com irradiação anual superior a 2.200 kWh/m². Enquanto a irrigação, já existente em muitos lugares, pode eventualmente se beneficiar localmente da energia solar, as conexões elétricas das usinas do São Francisco, no norte do Estado, podem servir para escoar a energia produzida por geração centralizada. A infraestrutura de conexão elétrica que está sendo ampliada para escoar a energia das eólicas que proliferam nas chapadas a leste do Rio São Francisco pode, eventualmente, também servir para viabilizar projetos de geração solar centralizada. É importante mencionar que no oeste baiano, onde há vastas áreas com níveis anuais de irradiação superiores a 2.100 kWh/m², a energia fotovoltaica distribuída já é uma solução adotada em alguns pontos para a eletrificação rural, podendo ser utilizada, da mesma forma, nos pequenos centros urbanos, vilas e irrigação de áreas agrícolas.

As FIGURAS 7.2 a 7.6 ilustram algumas possibilidades de utilização da fonte solar no Estado da Bahia.



FOTOS ZIG KOCH

FIGURA 7.2 » Região de cobertura vegetal de caatinga com áreas antropizadas, na região do Vale do Rio São Francisco, no município de São Gabriel; a área ilustrada recebe alta incidência tanto de radiação solar como de ventos.

FIGURA 7.3 » Geração solar distribuída, utilizada como eletrificação rural em Campo Formoso-BA.

## 7.3 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mapas apresentados aqui são bastante detalhados e resultado de uma metodologia inovadora e pela primeira vez aplicada em um atlas solar no Brasil.

Este levantamento do potencial aproveitável de energia solar reflete o que se pode esperar de uma tecnologia ainda não muito conhecida ou percebida em sua magnitude no país. Tem relevância singular, especialmente por abranger um estado como a Bahia, de grande extensão territorial e, possivelmente, o melhor e maior potencial energético dentre os estados brasileiros.

As premissas adotadas são baseadas em critérios realistas, buscado-se proporcionar uma análise conservadora acerca do potencial efetivamente realizável e considerando o maior número possível de aspectos técnicos e socioeconômicos. A Bahia é um estado com extensa região semiárida, e em algumas excelentes áreas agrícolas não se justifica a instalação de parques solares, pois inviabilizariam o uso de valiosas terras férteis. Por essa razão, tais áreas foram excluídas do cálculo do potencial. De maneira análoga, foram excluídas as áreas cobertas por florestas, não sendo admissível o desflorestamento para implantação de painéis solares.

FOTOS ZIG KOCH

FIGURA 7.4 » Centros consumidores ao longo do Vale do Rio São Francisco, como é o caso da cidade de Juazeiro, poderão eventualmente beneficiar-se do recurso solar da região, que é o mais abundante do Estado. Observa-se ao fundo a cidade de Petrolina, PE, no outro lado da margem do rio.

Excluídas as áreas de restrição, estimou-se que apenas 20% do realizável pode ser utilizado para desenvolvimento de usinas. Essa premissa, mesmo conservadora, ainda poderá ser eventualmente reavaliada. Há um número ainda complexo de restrições a se ponderar, como a presença de sítios arqueológicos ainda não mapeados, áreas com problemas de regularização fundiária, exploração de recursos minerais etc.

Ademais, deve-se considerar, por exemplo, que para o recurso solar, a diferença de energia não é tão grande entre diferentes regiões do Estado, de modo que a infraestrutura já existente é também de singular relevância, especialmente para o planejamento de curto prazo. A partir da experiência da AWST em outros países, é possível afirmar que o desenvolvimento de uma área com menor potencial pode ser preferível, se atender a condições mínimas de infraestrutura.

Com relação aos valores absolutos de irradiação solar, o potencial da Bahia supera várias vezes o consumo atual de energia do Estado. Qualquer região do território poderá tecnicamente ser viável para o desenvolvimento de um projeto. Mesmo após se impor um grande número de restrições, o potencial continua sendo promissor, e poderá ser aproveitado dentro dos limites de inserção no sistema elétrico regional.

FIGURA 7.5 » A área do lago de Sobradinho recebe altos níveis de irradiância solar e parte dela poderia eventualmente ser utilizada para usinas fotovoltaicas flutuantes.

FOTOS ZIG KOCH

FIGURA 7.6 » Área de irrigação no nordeste do Estado, com índice de irradiação anual superior a 2.000 kWh/m²; a atividade de irrigação poderia eventualmente se utilizar da energia fotovoltaica para o bombeamento da água.

# REFERÊNCIAS

## 1. O ESTADO DA BAHIA


[1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <www.aneel.gov.br> Acesso em: 20 dez. 2017.

[2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico.** Disponível em: <sigel.aneel.gov.br/> Acesso em: 5 maio 2017.

[3] CAMARGO-SCHUBERT; AWS TRUEPOWER. **Bahia: Atlas Eólico.** Salvador: SECTI : SEINFRA : CIMATEC/ SENAI, 2013. 96 p.

[4] COMPANHIA DOCAS DO ESTADO DA BAHIA – CODEBA. **Complexo Portuário.** Disponível em: <www.codeba.com.br> Acesso em: 4 set. 2017.

[5] CONSULTATIVE GROUP ON INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH – CGIAR. **SRTM 90 m Digital Elevation Data.** Disponível em <srtm.csi.cgiar.org> Acesso em: 4 abr. 2017.

[6] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **WebMap EPE.** Disponível em: <gisepe.epe.gov.br> Acesso em: 1º set. 2017.

[7] GOOGLE. **Google Earth Pro 7.3.1.4505.** Disponível em: <earth.google.com> Acesso em: 25 jul. 2017.

[8] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Base Cartográfica Vetorial Contínua 1 : 250.000.** Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br> Acesso em: 1º jul. 2017.

[9] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estimativas Populacionais para os municípios brasileiros em 01.07.2017.** Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em: 2 dez. 2017.

[10] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estimativas Populacionais para os municípios brasileiros em 01.07.2016.** Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em: 3 maio 2017.

[11] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malha Municipal Digital 2016.** Disponível em: <geoftp.ibge.gov.br> Acesso em: 4 jun. 2017.

[12] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2010-2014.** Disponível em: <ftp.ibge.gov.br> Acesso em: 6 ago. 2017.

[13] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Divisão Territorial Brasileira.** Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em: 6 jul. 2017.

[14] NATIONAL AERONAUTICCS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **Landsat Science.** Disponível em: <landsat.gsfc.nasa.gov> Acesso em: 4 abr. 2017.

[15] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA – ONS. **Boletins da Operação.** Disponível em: <ons.org.br> Acesso em: 20 dez. 2017.

[16] PROGRAMA DE PARCERIAS DE INVESTIMENTOS – PPI. **Projetos.** Disponível em: <www.projetocrescer.gov.br> Acesso em: 5 set. 2017.

[17] SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DA BAHIA – SEINFRA. **Balanço Energético da Bahia, Série: 1995 - 2011.** Salvador: CODEN, 2012.

[18] SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DA BAHIA – SEINFRA. **Balanço Energético da Bahia, Série: 1999 - 2015.** Salvador: CODEN, 2016.

[19] SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA – SEI; COMPANHIA DE ELETRICIDADE DA BAHIA – COELBA. **Consumo de Energia Elétrica por Classe nos Municípios, Bahia.** Disponível em: <www.sei.ba.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2017.


## 2. RADIAÇÃO SOLAR E CLIMATOLOGIA


[1] COMISSION FOR INSTRUMENTS AND METHODS OF OBSERVATION. **Abridged Final Report of the Tenth Session, Recommendation 16 (CIMO-X)**. Bruxelas: World Meteorological Organization – WMO, 1989. Disponível em: <library.wmo.int>.

[2] ESRI. **ArcGIS Desktop**. Disponível em: <www.esri.com> Acesso em: 8 dez. 2017.

[3] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990.** Brasília.

[4] PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** São José dos Campos: INPE, 2017.

## 3. MEIO AMBIENTE


[1] AMARAL, A. C. A. et al. **Plano de ação nacional para a conservação da arara-azul-de-lear.** 2. ed. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio, 2012. 144 p.

[2] BAHIA. Decreto nº 7.413, de 17 de agosto de 1998. Cria o Parque Estadual do Morro do Chapéu. Disponível em: <www.meioambiente.ba.gov.br> Acesso em: 27 nov. 2017.

[3] BAHIA. Decreto nº 12.744, de 12 de abril de 2011. Revoga o Decreto nº 7.413, de 17 de agosto de 1998, que dispõe sobre a necessidade de definição da poligonal do Parque Estadual Morro do Chapéu e dá outras providências. Disponível em: <www.meioambiente.ba.gov.br> Acesso em: 27 nov. 2017.

[4] BAHIA. Decreto nº 12.810, de 5 de fevereiro de 2011. Torna sem efeito as disposições do Decreto 12.744, de 12 de abril de 2011. Disponível em: <www.meioambiente.ba.gov.br> Acesso em: 27 nov. 2017.

[5] BAHIA. Decreto nº 16.963, de 17 de agosto de 2016. Altera o Regulamento da Lei nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006, e da Lei nº 11.612, de 8 de outubro de 2009, aprovado pelo Decreto nº 14.024, de 06 de junho de 2012, e dá outras providências. Disponível em: <www.car.ba.gov.br> Acesso em: 11 ago. 2017.

[6] BAHIA. Lei nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia e dá outras providências. Disponível em: <www.seia.ba.gov.br> Acesso em: 12 nov. 2017.

[7] BRASIL. Código Florestal Brasileiro. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 18 nov. 2017.

[8] BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, de 10 de maio de 1988. Artigo 231, Capítulo VIII, dos Índios. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2017.

[9] BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, de 10 de maio de 1988. Artigo 216, Seção II, da Cultura. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2017.

[10] BRASIL. Decreto nº 4.887, de 20 de novembro de 2003. Regulamenta o procedimento para identificação, reconhecimento, delimitação, demarcação e titulação das terras ocupadas por remanescentes das comunidades dos quilombos de que trata o art. 68 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias. Disponível em: <www.plamalto.gov.br> Acesso em: 11 ago. 2017.

[11] BRASIL. Decreto nº 88.218, de 4 de junho de 1983. Cria o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 11 out. 2017.

[12] BRASIL. Decreto-Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937. Lei do Tombamento. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 10 out. 2017.

[13] BRASIL. Lei nº 6.001, de 19 de dezembro de 1973. Dispõe sobre o Estatuto do Índio. Disponível em: <www2.planalto.gov.br> Acesso em: 19 nov. 2017.

[14] BRASIL. Lei nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 10 out. 2017.

[15] BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 10 out. 2017.

[16] BRASIL. Lei nº 99.274, de 6 de junho de 1990. Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente, sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 12 ago. 2017.

[17] CESARETTI, M. A. **Análise comparativa entre fontes de geração elétrica segundo critérios socioambientais e econômicos.** Santo André, 2010. 138 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do ABC.

[18] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <www.mma.gov.br> Acesso em: 27 nov. 2017.

[19] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 6, de 16 de setembro de 1987. Edita regras gerais para o licenciamento ambiental de obras de grande porte, especialmente aquelas nas quais a União tenha interesse relevante como a geração de energia elétrica. Disponível em: <www.mma.gov.br> Acesso em: 8 nov. 2017.

[20] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Institui o Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA. Disponível em: <www.mma.gov.br> Acesso em: 27 nov. 2017.

[21] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 279, de 27 de junho de 2001. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental. Disponível em: <www.mma.gov.br> Acesso em: 27 nov. 2017.

[22] INSTITUTO CHICO MENDES – ICMBIO. Disponível em: <institutochicomendes.org.br> Acesso em: 27 nov. 2017.

[23] INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA BAHIA – INEMA. **Parque Estadual do Morro do Chapéu.** Disponível em: <www.inema.ba.gov.br> Acesso em: 27 nov. 2017.

[24] INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA BAHIA – INEMA. **Uso e Cobertura do Solo.** Salvador. 1 mapa: color.; Escala 1 : 125.000. Disponível em: <www.inema.ba.gov.br> Acesso em: 27 nov. 2017.

[25] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **i3GEO MMA 3.4.** Disponível em: <mapas.mma.gov.br> Acesso em: 20 out. 2017.

[26] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA; GERÊNCIA DE BIODIVERSIDADE AQUÁTICA E RECURSOS PESQUEIROS. **Panorama da Conservação dos Ecossistemas Costeiros e Marinhos no Brasil. Brasília**. 148 p.

[27] MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DA BAHIA – MPBA. Recomendação nº 1 de 14 de abril de 2011. Recomenda a revogação do Decreto Estadual 12.744/2011, o qual extinguiu o Parque Estadual Morro do Chapéu. Disponível em: <www.mpba.mp.br> Acesso em: 11 ago. 2013.

[28] PV-CYCLE. Disponível em: <http://www.pvcycle.org/> Acesso em: 26 nov. 2017.

[29] SAMPAIO, J. A. L. **História e Presença dos Povos Indígenas na Bahia.** Associação Nacional de Ação Indigenista. Disponível em: <www.anai.org.br> Acesso em: 28 nov. 2017.

[30] SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMA. **Governador Rui Costa autoriza junto ao MMA a criação do Parque do Boqueirão da Onça.** Disponível em: <www.meioambiente.ba.gov.br> Acesso em: 26 nov. 2017.

[31] SILVA, J. M. C. DA et al. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação.** Brasília: MMA/UFPE, 2003. 382 p.

## 4. TECNOLOGIA

[1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Portaria nº 538, de 15 de dezembro de 2015. Cria o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica – ProGD. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br> Acesso em: 1º jul. 2017.

[2] AMBIENTE ENERGIA. **Novo Construcard inclui equipamentos de energia fotovoltaica.** Disponível em: <https://www.ambienteenergia.com.br> Acesso em: 26 out. 2017.

[3] BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO – BNDES. **BNDES aprova primeiro financiamento para geração de energia solar, no valor de R$ 529,039 milhões.** Disponível em: <www.bndes.gov.br> Acesso em: 26 out. 2017.

[4] BLUESOL. Disponível em: <blog.bluesol.com.br> Acesso em: 13 nov. 2017.

[5] BUTTI, K.; PERLIN, J. **A Golden Thread – 2500 Years of Solar Architecture and Technology.** 1. ed. Palo Alto, EUA: Chechire Books, 1980. 253 p.

[6] CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Leilões.** Disponível em: <http://www.ccee.org.br> Acesso em: 7 jan. 2018.

[7] CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA. Convênio ICMS nº 16, de 22 de abril de 2015. Autoriza conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Disponível em: <www.confaz.fazenda.gov.br> Acesso em: 1º jul. 2017.

[8] KRYZA, F. **The Power of Light – The Epic Story of Man's Quest to Harness the Sun.** Digital ed. New York: McGraw Hill, 2003. 299 p.

[9] NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY – NREL. **Photovoltaic Research.** Disponível em: <www.nrel.gov> Acesso em: 31 out. 2017.

[10] PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** São José dos Campos: INPE, 2006. 60 p.

[11] PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80 p.

[12] PERLIN, J. **From Space to Earth – The Story of Solar Electricity.** 1. ed. Ann Harbour, EUA: Aatec Publications, 1999. 224 p.

[13] THE SMITHSONIAN INSTITUTION. **Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution Showing the Operations, Expenditures and Condition of the Institute for the Year Ending Jun 30 1915.** Washington, D.C, EUA: Government Printing Press, 1915.

[14] TIBA, C. et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil – Banco de Dados Terrestres.** 1. ed. Recife: Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2000.

[15] U. S. NAVAL RESEARCH. **NRL Research Images.** Disponível em: <https://www.nrl.navy.mil> Acesso em: 26 out. 2017.

## 5. METODOLOGIA


[1] CAMARGO-SCHUBERT; AWS TRUEPOWER. **Bahia: Atlas Eólico.** Salvador: SECTI : SEINFRA : CIMATEC/ SENAI, 2013. 96 p.

[2] DEE – SEG/SGE/STE; DEA/SMA; PR/PCJ. **Empreendimentos Fotovoltaicos – Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia Elétrica.** Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2017. Instrução EPE-DEE-RE-065/2013-r4.

[3] G. A. GRELL; D. DÉVÉNYI. A generalized approach to parameterizing convectioncombining ensemble and data assimilation techniques. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 14, p. 38–1–38–4, jul. 2002.

[4] IACONO, M. J. et al. Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, n. D13103, jul. 2008.

[5] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET.** Brasília: INMET, 2011. 11 p. Nota Técnica nº 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET.

[6] JIMENEZ, P. A. et al. WRF–Solar: Description and Clear-Sky Assessment of an Augmented NWP Model for Solar Power Prediction. **Bulletin of the American Meteorological Society,** v. 97, n. 7, p. 1249–1264, jul. 2016.

[7] NAKANISHI, M.; NIINO, H. An Improved Mellor–Yamada Level-3 Model: Its Numerical Stability and Application to a Regional Prediction of Advection Fog. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 119, n. 2, p. 397–407, maio 2006.

[8] TEWARI, M. et al. Implementation and verification of the unified NOAH land surface model in the WRF model. In: 20th Conference On Weather Analysis And Forecasting/16th Conference On Numerical Weather Prediction. Boulder, CO, EUA: American Meteorological Society, 2004. p. 11–15.

[9] THOMPSON, G. et al. Explicit Forecasts of Winter Precipitation Using an Improved Bulk Microphysics Scheme. Part II: Implementation of a New Snow Parameterization. **Monthly Weather Review**, v. 136, n. 12, p. 5095–5115, mar. 2008.

[10] WILLIAM C. SKAMAROCK et al. **A Description of the Advanced Research WRF Version 3.** Boulder, CO, EUA: National Center for Atmospheric Research – NCAR, 2008. Technical Report NCAR/TN–475+STR.


## 6. MAPAS SOLARES


[1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico.** Disponível em: <sigel.aneel.gov.br/> Acesso em: 5 maio 2017.

[2] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **WebMap EPE.** Disponível em: <gisepe.epe.gov.br> Acesso em: 6 set. 2017.

[3] GOOGLE. **Google Earth Pro 7.3.1.4505.** Disponível em: <earth.google.com> Acesso em: 25 jul. 2017.

[4] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Base Cartográfica Vetorial Contínua 1 : 250.000.** Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br> Acesso em: 5 jul. 2017.

[5] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malha Municipal Digital 2016.** Disponível em: <geoftp.ibge.gov.br> Acesso em: 3 jun. 2017.

[6] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990.** Brasília: INMET, 2009.

[7] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Dados Georreferenciados – Cadastro Nacional de Unidades de Conservação.** Disponível em: <mapas.mma.gov.br> Acesso em: 25 fev. 2013.


## 7. ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS


[1] CAMARGO-SCHUBERT; AWS TRUEPOWER. **Bahia: Atlas Eólico.** Salvador: SECTI : SEINFRA : CIMATEC/ SENAI, 2013. 96 p.

[2] SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA – SEI; COMPANHIA DE ELETRICIDADE DA BAHIA – COELBA. **Consumo de Energia Elétrica por Classe nos Municípios, Bahia.** Disponível em: <www.sei.ba.gov.br> Acesso em: 9 ago. 2017.

SENAI CIMATEC | SISTEMA FIEB
Federação das Indústrias do Estado da Bahia

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA

SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

BAHIA GOVERNO DO ESTADO

Apoio: UL AWS TRUEPOWER

CAMARGO SCHUBERT

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-67342-03-0
9 788567 342030