







Atlas Solarimétrico do Brasil

Banco de Dados Terrestres

Atlas Solarimétrico do Brasil : banco de dados solarimétricos / coordenador Chigueru Tiba... et al.- Recife : Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p. : il., tab., mapas.

Inclui bibliografia.

1. Energia fotovoltaica. 2. Solarimetria - Banco de dados. 3. Radiação solar - Mensuração - Atlas. 4. Isolinhas de radiação solar - Mapas . I. Tiba, Chigueru.

620.91 CDU (2. ed.) UFPE  
621.31244 CDU (21. ed.) Bc2000-133

# Coordenação e Execução

Coordenador do Projeto  
*Chigueru Tiba*

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
Depto. de Energia Nuclear - DEN  
Grupo de Pesquisa em Fontes Alternativas de Energias - FAE  
Chigueru Tiba  
Naum Fraidenaich

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL / ELETROBRAS  
Maurício Moszkowicz  
Evandro Sérgio Camelo Cavalcant

COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO - CHESF  
Divisão de Projetos e de Fontes Alternativas - DEFA  
Francisco José Maciel Lyra  
Ângela Maria de Barros Nogueira

Consultoria Técnica  
Hugo Grossi Gallegos

## Financiamento

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL/ ELETROBRAS

## Projeto Gráfico

Deisiane Cristina Nascimento de Araújo  
Frederico Jorge Santos Mamede  
Alfredo Ferreira de Pinho Júnior

## Projeto Multimídia

Cátia Helena Kida  
Tito Marcelo Almeida de Oliveira



A conscientização de que a maioria dos recursos, sejam eles energéticos ou não, são finitos, tem aberto espaço para tentar equacionar a relação do homem com a natureza em termos de uma melhor e mais harmônica convivência. Acreditamos que a tecnologia solar e mais particularmente as mudanças culturais que essa tecnologia promove pode fazer uma importante contribuição na direção do que tem se dado em chamar desenvolvimento sustentável. De acordo com o Relatório da Comissão Bruntland "Our common future", apresentado em 1987, "...desenvolvimento sustentável consiste em satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender suas próprias demandas".

A realização deste trabalho foi motivada pela convicção de que era necessário, até imprescindível, atualizar e aprimorar a base de dados sobre o recurso solar, para impulsar de maneira sólida a ciência e a tecnologia solar no Brasil. Existe consciência generalizada de que contamos com um recurso solar de excelente qualidade, em boa parte do país. Mas isso não basta. É necessário também conhecer como o recurso se distribui no território nacional ao longo do ano todo. O banco de dados e as cartas elaboradas fornecem a distribuição espacial e temporal necessárias para dar o suporte básico às atividades que se desenvolvem no campo da tecnologia solar. O primeiro tem o mérito de ter resgatado, organizado e disponibilizado boa parte da informação existente sobre o tema em instituições públicas, centros de pesquisa e universidades. Recuperase assim o acervo de publicações de mais de quarenta anos de trabalho. Já, as cartas de radiação solar foram elaboradas a partir das melhores informações disponíveis, tanto do ponto de vista dos instrumentos utilizados como do intervalo de medição.

Diversos programas de âmbito nacional requerem hoje de informações confiáveis sobre esse recurso que, caso elas não existam, podem se traduzir em sistemas mal dimensionados ou importantes recursos financeiros inadequadamente utilizados, em outras palavras, chegar a constituir uma barreira infranqueável para a disseminação e desenvolvimento da tecnologia solar. O PRODEEM, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, que vem instalando milhares de sistemas de eletrificação rural em todo o território nacional, em residências, escolas e postos de saúde é um exemplo desses programas. Só no Estado de Pernambuco existem em torno de 850 sistemas de eletrificação rural e 15 sistemas de abastecimento de água com energia fotovoltaica já instalados pela Companhia Energética de Estado de Pernambuco-CELPE.

O tema da solarimetria é bastante complexo. As tarefas são imensas, os recursos humanos e materiais disponíveis, pequenos. Medir o recurso solar implica empreender o árduo labor de instalar, medir, processar e disponibilizar os dados de forma adequada e permanente, da mesma forma que é feito com outras grandezas relativas ao clima. Nesse sentido, o recurso solar precisa ainda ganhar status equivalente a outras variáveis meteorológicas, cuja medição é considerada indispensável para atender as necessidades da sociedade e economia modernas.

A base de dados do Atlas Solarimétrico do Brasil, ora apresentada, leva consigo a marca da história do recurso solar, nos instrumentos que foram originalmente utilizados para sua medição, heliógrafos, actinógrafos e piranômetros. Mas, transporta sobretudo a história e o esforço realizado por pessoas e instituições que durante longos anos e de maneira muitas vezes anônima registraram esse como outros parâmetros meteorológicos para atender necessidades da agricultura, meteorologia, engenharia florestal, recursos hídricos, entre outros. Temos consciência que resta ainda muito por fazer. Extensas regiões do território nacional não contam com informação de nenhuma índole sobre o recurso solar. Outras contam com informações obtidas com instrumentos cuja precisão hoje já não é satisfatória. A melhor homenagem que podemos render aos que nos precederam, é continuar e modernizar seus trabalhos, sem solução de continuidade.

*Chigueru Tiba  
Naum Fraidenraich*

Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia  
Depto de Energia Nuclear UFPE Recife - PE Brasil

Recife, outubro de 2000





I . Capítulo 1 - INTRODUÇÃO	11
1.1 - Histórico do Projeto	13
1.2 - Fluxograma de Execução do Projeto	13
1.3 - Análise das Publicações Solarimétricas Recuperadas	15
1.4 - Descrição do Banco de Dados Solarimétricos	15
1.5 - Metodologia da Elaboração das Cartas de Isolinhhas	18
1.6 - Avaliação do Recurso Solar no Brasil	19
II . Capítulo 2 - INSTRUMENTOS DE MEDIDAS SOLARIMÉTRICAS	21
2.1 - Introdução	23
2.2 - Sensores e Princípios das Medições Solarimétricas	23
2.3 - Instrumentos Solarimétricos	24
2.4 - Rede Mundial de Centros de Radiação Solar	28
III . Capítulo 3 - MAPAS DE ISOLINHHAS DE RADIAÇÃO SOLAR	31
3.1 - Localização das Estações Piranométricas e Actinográficas	33
3.2 - Radiação Solar Global Diária, Média Mensal - Janeiro	35
3.3 - Radiação Solar Global Diária, Média Mensal - Fevereiro	37
3.4 - Radiação Solar Global Diária, Média Mensal - Março	39
3.2 - Radiação Solar Global Diária, Média Mensal - Abril	41
3.6 - Radiação Solar Global Diária, Média Mensal - Maio	43
3.7 - Radiação Solar Global Diária, Média Mensal - Junho	45
3.8 - Radiação Solar Global Diária, Média Mensal - Julho	47
3.9 - Radiação Solar Global Diária, Média Mensal - Agosto	49
3.10 - Radiação Solar Global Diária, Média Mensal - Setembro	51
3.11 - Radiação Solar Global Diária, Média Mensal - Outubro	53
3.12 - Radiação Solar Global Diária, Média Mensal - Novembro	55
3.13 - Radiação Solar Global Diária, Média Mensal - Dezembro	57
3.14 - Radiação Solar Global Diária, Média Mensal - Anual	59



<b>IV</b> . Capítulo 4 - MAPAS DE ISOLINHAS DE INSOLAÇÃO	61
3.1 - Localização das Estações Heliográficas	63
3.2 - Insolação Diária, Média Mensal - Janeiro	65
3.3 - Insolação Diária, Média Mensal - Fevereiro	67
3.4 - Insolação Diária, Média Mensal - Março	69
3.2 - Insolação Diária, Média Mensal - Abril	71
3.6 - Insolação Diária, Média Mensal - Maio	73
3.7 - Insolação Diária, Média Mensal - Junho	75
3.8 - Insolação Diária, Média Mensal - Julho	77
3.9 - Insolação Diária, Média Mensal - Agosto	79
3.10 - Insolação Diária, Média Mensal - Setembro	81
3.11 - Insolação Diária, Média Mensal - Outubro	83
3.12 - Insolação Diária, Média Mensal - Novembro	85
3.13 - Insolação Diária, Média Mensal - Dezembro	87
3.14 - Insolação Diária, Média Mensal - Anual	89
<b>V</b> . Capítulo 5 - TABELAS DE DADOS SOLARIMÉTRICOS E DE LOCALIDADES	91
<b>VI</b> . Capítulo 6 - RESUMO DAS PUBLICAÇÕES	97
6.1 - Publicações com Dados de Radiação Solar ou Insolação Inseriridos no Atlas Solarimétricos	99
6.2 - Outras Publicações Consultadas para Elaboração do Atlas Solarimétrico	104



# Introdução



## Capítulo I





## 1.1 HISTÓRICO DO PROJETO

Em janeiro de 1993, sob a coordenação do Centro de Pesquisas de Eletricidade da ELETROBRÁS, foi criado um Grupo de Trabalho em Energia Solar Fotovoltaica - GTEF. O GTEF tinha uma abrangência nacional e foi constituído por empresas do setor elétrico, grupos de pesquisas, universidades e fabricantes ou representantes de equipamentos fotovoltaicos. Em reunião do GTEF no decorrer de 1993, foi criado simultaneamente, entre outros grupos de trabalho (Manual de Engenharia, Certificação e Normatização, Treinamento, Estratégia de Fomento da Tecnologia, Política de Divulgação e Base de Dados da Tecnologia Fotovoltaica) o Grupo de trabalho em Solarimetria sob a coordenação do Grupo FAE-UFPE/DEFA-CHESF.

O GT em Solarimetria rapidamente elaborou e apresentou ao GTEF, ainda em **maio de 1993, o Relatório: Solarimetria no Brasil - Situação e Propostas**<sup>1</sup> que descreve a crítica situação da Solarimetria no Brasil e propõe algumas medidas que permitiriam suprimir partes destas deficiências apontadas em relação ao tema. Entre as diversas medidas propostas e que estão reproduzidas na Tabela 1.1, constava a elaboração de uma base de dados solarimétricos para o país, que consistiria na organização, classificação e padronização de dados medidos e publicados por diversos autores e instituições ao longo das últimas décadas. Tal compêndio de dados padronizados em conjunto com novos mapas de isolinhas da radiação solar resultariam num Atlas Solarimétrico para o Brasil. Cabe ressaltar que os dados existentes exibiam uma fragmentação espacial e/ou temporal e problemas de padronização. Além disso, muitos dados solarimétricos, embora publicados, estão indisponíveis ou quase inacessíveis para a maioria dos usuários, seja pela baixíssima circulação destas publicações, seja pela dispersão dos veículos de publicação (Relatórios de Projeto, Teses de Mestrado, Publicações Internas, Relatórios Institucionais, entre outros). Pelo que antecede, em 1994 foi submetido ao CEPEL o Projeto para a elaboração do Atlas Solarimétrico Nacional. Os autores da proposta consideravam que a publicação do Atlas colocaria à disposição do público interessado uma importante base de dados que, na medida em que a tecnologia solar se difunde no Brasil torna-se crescentemente importante.

Finalmente, em maio de 1996 foi assinado o convênio FAE-UFPE/CEPEL que permitiu executar o projeto da elaboração do Atlas Solarimétrico Nacional.

## 1.2 FLUXOGRAMA DE EXECUÇÃO DO PROJETO

As etapas percorridas ao longo do desenvolvimento do projeto estão mostradas na Figura 1.1. De forma geral, os blocos em azul representam trabalhos preparatórios ou produtos intermediários e os blocos em vermelho representam os produtos deste projeto.

<sup>1</sup> Lyra, F. M., Fraidenaich, N., e Tiba, C.. Solarimetria no Brasil - Situação e Propostas, Relatório Técnico GTEF, 73 pp., Recife, 1993.

Tabela 1.1 - Proposta de Trabalho em Solarimetria ( Solarimetria no Brasil - Situação e Propostas, Relatório Técnico GTEF, 73 pp., Recife, 1993)

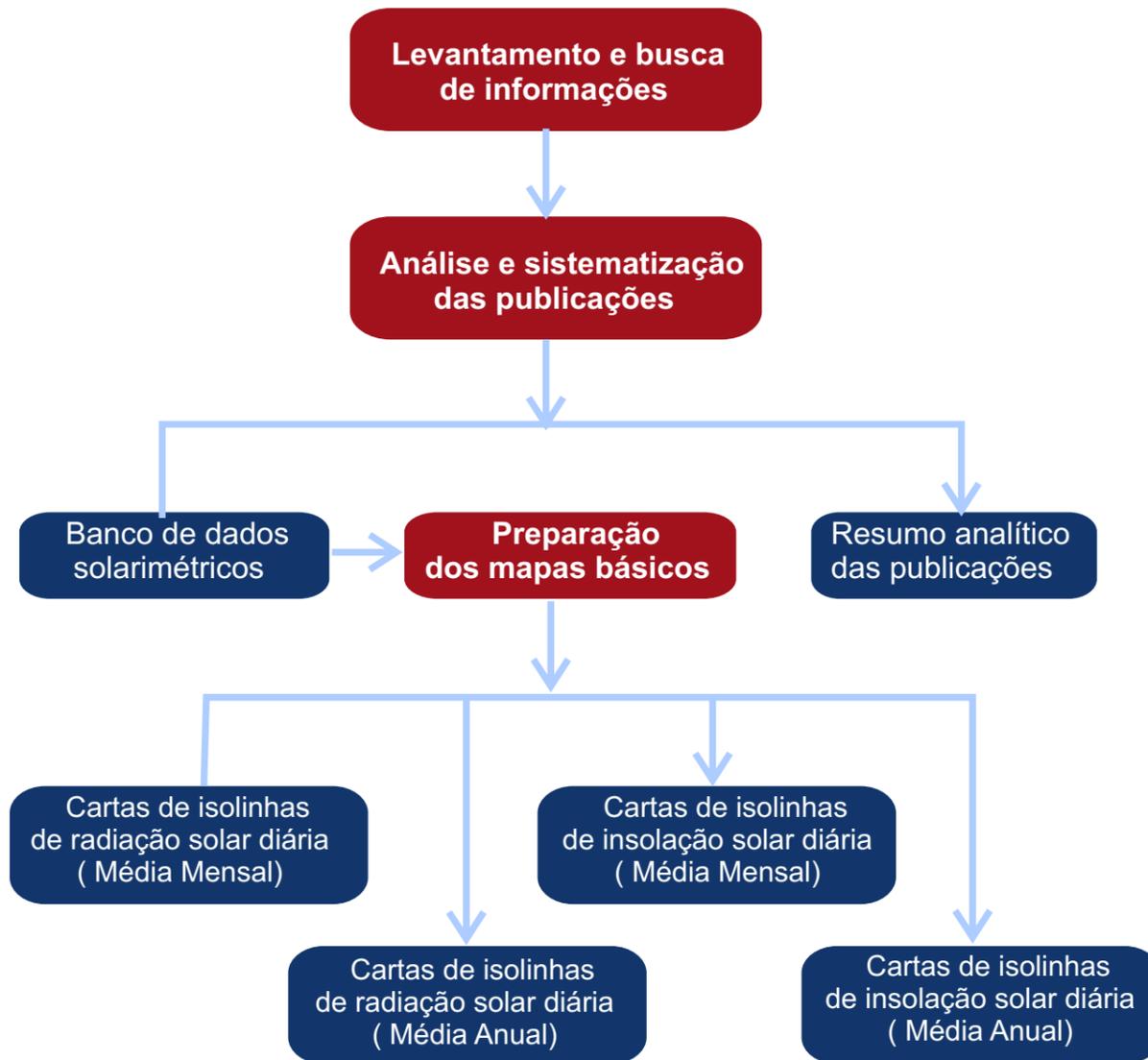


Figura 1.1 - Principais etapas relativas à execução do projeto : Atlas Solarimétrico do Brasil

METAS	AÇÕES PROGRAMADAS	EXECUÇÃO	
		Coordenação	Execução
1.Elaboração de um compêndio de dados solarimétricos existentes no país	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reunir o material publicado no país</li> <li>Formatar</li> <li>Editar</li> </ul>	GT-Solarimetria	Firma Particular
2.Recuperação dos dados existentes até 1992	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificar o estado de conservação dos actinogramas e heliogramas</li> <li>Selar um acordo institucional com INEMET para a cessão e uso do material</li> <li>Aperfeiçoamento da metodologia de planimetria</li> <li>Apoiar iniciativas regionais para processamento e consolidação dos dados.</li> </ul>	GT-Solarimetria GT-Solarimetria GT-Solarimetria	Firma Particular - Universidade Concessionárias/ INEMET
3.Consolidação da rede piranométrica e plano modesto de expansão*	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avaliar e recuperar as 20 estações piranométricas do INEMET</li> <li>Mapear redes piranométricas locais, fora do INEMET, por exemplo, a rede da CEMIG</li> <li>Criar um programa de manutenção e calibração dos equipamentos.</li> <li>Estabelecer um programa modesto de expansão da rede piranométrica. Alternativas: a) 2 a 3 estações piranométricas com/sem banda de sombra e piroheliômetro por ano por concessionária b) 5 estações piranométricas/ano/conces.</li> </ul>	GT-Solarimetria GT-Solarimetria GT-Solarimetria Concessionárias/ INEMET	Firma Particular/ INEMET Concessionárias CEPEL/NREL/ INEMET/Conces Concessionárias/ INEMET
4.Consolidação da rede actinográfica e heliográfica do INEMET*	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fazer o mapeamento e a verificação do estado do equipamento</li> <li>Programa de relocação ou substituição de equipamentos danificados</li> <li>Programa de manutenção e calibração dos equipamentos</li> <li>Programa de pesquisa e avaliação das correlações existentes ou método para melhorar a exatidão dos equipamentos.</li> </ul>	T-Solarimetria Conces/INEMET CEPEL/INEMET GT-Solarimetria	Firma Particular INEMET Firma Particular Universidade
5. Estimativa da radiação solar via satélites	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar estimativas via satélite baseada em primeira instância na rede piranométrica existente(20 estações do INEMET, cuja reativação espera-se que seja imediatas) ou redes locais( CEMIG)</li> <li>Programa de pesquisa e avaliação periódica desta metodologia</li> </ul>	GT-Solarimetria GT-Solarimetria	Universidade Universidade

\*As metas 3 e 4 são interdependentes. Só será possível implementar a meta 4 tendo como base de aferição a rede piranométrica definida na meta 3.

A fase de levantamento e busca de informações foi uma das mais árduas do projeto. Constituiu-se do levantamento, localização e busca de publicações que continham dados de radiação, de insolação, mapas solarimétricos, mapas climatológicos e fitogeográficos do Brasil e de países limítrofes. Tais informações encontravam-se dispersas, tanto a nível geográfico (a nível nacional, em diversos Estados da Federação e a nível internacional, em diversos países) como de publicação (Relatórios de Projeto, Relatórios Internos de Instituições, Revistas, etc.). As fontes institucionais nacionais são diversas, tais como: Secretarias de Agricultura, Distritos Meteorológicos, Universidades, Instituições de Pesquisa Agrícola, entre outros. A recuperação das publicações (levantamento, localização e busca) ocorreu principalmente nos primeiros seis meses do projeto, porém continuou até o final do projeto, naturalmente com taxas de recuperação decrescente.

As outras fases da execução do projeto serão detalhadas nos itens que seguem.

### 1.3 ANÁLISE DAS PUBLICAÇÕES SOLARIMÉTRICAS RECUPERADAS

Todas as publicações solarimétricas foram sistematicamente analisadas. As informações solarimétricas de caráter numérico foram digitadas na forma de tabelas. A análise de cada trabalho foi registrada resumidamente numa ficha. Os resumos resultantes, foram publicados entre outros, pelos seguintes motivos:

- A consulta à esses resumos permitirá ter uma rápida visão sobre o riquíssimo acervo de publicações resgatadas e que se constitui seguramente, num conjunto quase completo de trabalhos sobre o tema, publicados no Brasil, ao longo dos últimos 40 anos;
- Possibilitar aos potenciais usuários das informações solarimétricas a possibilidade de voltar à origem das fontes de informações, quando ou se necessário;
- E, finalmente, mostrar que existiu ao longo das últimas décadas, um significativo e árduo trabalho de levantamento solarimétrico no Brasil, realizado por diferentes atores institucionais e/ou individuais. Portanto, as informações contidas no Atlas Solarimétrico é o produto coletivo destas instituições/indivíduos.

### 1.4 DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS SOLARIMÉTRICOS

#### 1.4.1 Como está organizado

As informações solarimétricas numéricas estão na forma de tabelas, organizadas em ordem alfabética, por região, por estado e finalmente por localidades. Para cada Estado existem dois tipos de tabelas:

- A primeira, onde constam em diferentes colunas, o nome da localidade com coordenadas geográficas, altitude, tipo de instrumento de medidas, período de medidas e, no caso onde a radiação solar foi estimada, a correlação utilizada. Esta última coluna também é utilizada para designar quando não

se conseguiu identificar se o dado de radiação foi medido ou estimado.

As linhas sucessivas para uma mesma localidade indicam fontes de informações distintas;

- A segunda, onde constam, para cada localidade e fonte de informação, os seguintes parâmetros, em bases diárias, médias mensais:
  - ♦ *Duração do dia,  $N$  (h);*
  - ♦ *Insolação diária,  $n$  (h);*
  - ♦ *Fração de insolação,  $n/N$ ;*
  - ♦ *Desvio padrão da insolação (h), onde houver;*
  - ♦ *Total de dias com dados de Insolação (dias), onde houver;*
  - ♦ *Radiação solar global diária, ( $MJ/m^2$ );*
  - ♦ *Desvio padrão da radiação solar global diária, ( $MJ/m^2$ ), onde houver;*
  - ♦ *Total de dias com dados de radiação solar global diária, (dias), onde houver.*

#### 1.4.2 Alguns critérios básicos para a avaliação dos dados solarimétricos

A seguir, são conceituados e delimitados os principais parâmetros e critérios que permitirão nortear a avaliação dos dados solarimétricos.

##### 1.4.2.1 Qualidade dos equipamentos

Os heliógrafos do tipo Campbell-Stokes produzem informações sobre a insolação diária. Nestes equipamentos, a convergência dos raios solares sobre uma faixa de papel queima, ao longo do dia, um certo comprimento, que é utilizado para quantificar as horas de brilho do Sol. A queima ocorre quando a radiação solar direta supera um limiar variável de 100 a 200  $W/m^2$ , que depende da localização geográfica do equipamento, do clima e do tipo da faixa de papel utilizada para o registro. Quando o equipamento está adequadamente instalado, com a utilização de faixa de papel apropriada, o limiar é igual a 120  $W/m^2$ . Mediante o uso de correlações simples, com coeficientes apropriados, as séries históricas da insolação podem ser utilizadas para estimar radiação solar diária, média mensal ou anual, com erros mínimos da ordem de 10%.<sup>2</sup>

O actinógrafo bimetálico é destinado à medição da radiação solar global sobre um plano horizontal. Consiste basicamente de uma varinha bimetálica enegrecida, presa em um extremo e livre no outro. Quando iluminado, o par bimetálico absorve a luz e se curva na extremidade livre, devido a diferença no coeficiente de dilatação dos metais. Tal curvatura gera um movimento na extremidade livre, transmitido mecanicamente a uma pena, que risca uma faixa de papel enrolada num tambor que gira à velocidade constante, controlado e acionado por um mecanismo de relojoaria. Conforme diversos autores, os erros de medida para valores diários não são inferiores a 10%, mesmo com calibração mensal. No entanto, erros da ordem de 15% são bastante frequentes. Além disso, devem-se somar os erros de leitura das faixas de papel. Portanto, estes equipamentos geram dados de radiação solar global diária, com erros no intervalo de 15 a 20%, quando houver uma manutenção razoável.

Os piranômetros são equipamentos destinados a medir a radiação solar global e difusa. Existem diferentes tipos de piranômetros, porém reportaremos aqui somente os piranômetros do tipo termoeletrico "black and white", pois a maioria dos equipamentos instalados no Brasil é deste tipo. O elemento sensível deste instrumento é uma pilha termoeletrica (conjunto de pares termoeletricos interligados em série).

<sup>2</sup> Grossi Gallegos, H., Fraidenraich, N. e Lyra, F.J.M., Notas de Aulas do III Curso de Energia - Solar - Solarimetria e Estatística da Radiação Solar, Recife, Brasil, 1995.

A junção quente da termopilha encontra-se em contato com a superfície de um detetor (superfície exposta à radiação solar), pintado alternativamente de branco e preto. Os piranômetros mais difundidos desse tipo são o modelo 8-48 "Black and White" da Eppley e "Star" da Ph.Schenk. Estes piranômetros acoplados a integradores eletrônicos, realizam medidas da radiação solar global diária com erros da ordem de 5%, desde que todos os procedimentos de manutenção e calibração periódica (no mínimo 1 vez por ano) sejam seguidos.

#### 1.4.2.2 Metodologia das medidas

As medidas realizadas com piranômetros são diretas e não requerem qualquer discussão de caráter metodológico, exceto à referente aos procedimentos adequados para sua instalação e requisitos de manutenção e aferição periódica.

Os actinógrafos do tipo Robitzsch-Fuess requerem procedimentos de instalação e calibração muito trabalhosos. A sua calibração é pouco estável, a sensibilidade depende da posição do Sol e da intensidade da radiação. Por tal motivo, deve ser aferido com uma periodicidade muito grande (mensal) para que possa medir com uma precisão razoável. Adicionalmente, o sensor deste instrumento não tem resposta plana e não é adequadamente compensado com a temperatura. Outro aspecto a salientar é que o registro mecânico em papel requer um processamento (planimetria) com elevado número de homens-hora, além de ser uma tarefa extremamente tediosa. Com isso são introduzidos (nas medidas já processadas) novos erros que aumentam a incerteza da estimativa do recurso solar.

#### 1.4.2.3 Distribuição espacial das medidas

De forma geral as informações solarimétricas, até as mais abundantes como a insolação diária, não satisfazem todas as necessidades dos usuários devido à baixa densidade da rede de estações.

Estudos recentes sobre a variabilidade espacial do recurso solar, em regiões fito geográficas homogêneas, mostram que a radiação diária global, média mensal, pode ser extrapolada até 200 Km de distância com erros da ordem de 15%, com um nível de confiança de 90%.<sup>3</sup>

Obviamente, em regiões geográficas de relevos fortemente variáveis como montanhas e/ou espelhos de água muito grandes (costa) a extrapolação acima não é válida. O tema da extrapolação espacial da radiação solar ainda é insuficientemente estudado, seja pela falta de dados de boa qualidade, seja pela variedade dos locais pesquisados. Portanto, e apesar de sua conhecida limitação, o critério para qualificação da distribuição espacial terá como referência a possibilidade mencionada acima.

#### 1.4.2.4 Descrição das principais correlações utilizadas na estimativa da radiação solar

Para quase todas as localidades relacionadas no Banco de Dados

Solarimétricos constam os valores dos dados de radiação solar medidos, e/ou valores estimados (calculados). Quando os valores da radiação solar são estimados, nas tabelas onde estão relacionadas as localidades, é referida também a metodologia utilizada para estas estimativas. Para um melhor esclarecimento desses procedimentos de cálculo será feita uma breve descrição dos mesmos.

#### Relação de Angstrom

A relação entre a insolação diária e a radiação solar global diária, média mensal, é a conhecida relação de Angstrom, estabelecida em 1924. A expressão sofreu modificações e atualmente é expressa da seguinte forma:

$$H/H_0 = a + b(n/N)$$

onde,  $H$  e  $H_0$  são, respectivamente, a radiação solar global diária e a radiação solar global diária no topo da atmosfera, médias mensais;  $n$  e  $N$  são a insolação diária e a duração astronômica do dia, médias mensais. Existe uma extensa lista de trabalhos relativamente recentes, que procuram obter melhores coeficientes de regressão  $a$  e  $b$ , com a inclusão de termos não lineares ou de outras variáveis como umidade relativa, quantidade de água precipitável, latitude e altura solar, entre outros. A conclusão é que a melhoria nos resultados obtidos com a relação de Angstrom é modesta e insuficiente para justificar o aumento na complexidade dos cálculos.<sup>4</sup>

Também foram publicados um bom número de trabalhos que propõem coeficientes de regressão de caráter universal. Porém, sabe-se hoje que os mesmos sofrem importantes variações regionais e mesmo interanuais, quando se considera uma mesma região. Portanto, a questão metodológica central, quando se deseja estimar a radiação solar global diária, média mensal, a partir desta correlação, reside em saber quais valores de  $a$  e  $b$  devem ser utilizados em regiões onde os coeficientes não foram determinados experimentalmente. As constantes  $a$  e  $b$  podem ser determinadas em estações que possuem equipamentos para ambas as medidas, radiação e insolação. Sua variabilidade espacial, que pode ser estimada em uma região com densidade de estações adequadas, define as dimensões geográficas onde, com um certo nível de confiança, o mesmo par de valores pode ser extrapolado para outras regiões.

#### Método Indireto : Hottel/ Liu-Jordan<sup>5</sup>

O cálculo da radiação direta em dias claros pode ser feito com boa precisão a partir de um mínimo de informação local (sobre visibilidade). O cálculo é sempre baseado na distribuição dos constituintes da atmosfera que contribuem para a absorção e espalhamento da radiação e no valor da constante solar. Em particular, o método utilizado por Hottel é muito simples. O fluxo de radiação direta em uma superfície horizontal ( $I_{DH}$ ), em dias claros, é dado por:

$$I_{DH} = I_0 \tau_D \cos \theta$$

onde  $\tau_D$  é a transmitância da radiação direta através da atmosfera,  $I_0$  é a constante solar

3 Grossi Gallegos, H., Lopardo, R., Spatial variability of the global solar radiation obtained by the Solarimetric Network in the Argentine Pampa Humeda, Solar Energy, Vol. 40, n° 5, pp. 397-404, 1988.

4 Aguiar, R. J. F., Notas de Aulas do IV Curso de Energia Solar - Estatística da Radiação Solar, Recife, Brasil, 1996.

5 Macedo, I. C., Pereira, J. T.V. e Milanez, L. F., Aplicação de um método indireto de Solarimetria para a energia incidente na região Amazônica, Anais do I Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, pp. 127-137, 1978.

e  $\theta$  o ângulo de zênite. Para um dado modelo da atmosfera (por exemplo, a 1962 Standard Atmosphere)  $\tau_D$  pode ser calculado para vários ângulos  $\theta$ , níveis do solo e valores de visibilidade local. Em geral, os resultados podem ser bem representados por:

$$\tau_D = a_0 + a_1 e^{-k \sec \theta}$$

onde  $a_0$ ,  $a_1$  e  $k$  são constantes. Estas constantes foram determinadas para dois limites de visibilidade, algumas altitudes e vários climas.

Com base em  $I_{DH}$  pode ser desenvolvido um método muito simples para estimar médias mensais de radiação diária direta, difusa e total. Como a variação mensal da declinação solar é pequena, calculamos o valor da radiação direta em dias claros ( $H_{DH}$ ), como a integral de  $I_{DH}$  ao longo de um dia médio do mês, e estimamos a média mensal da radiação direta diária por:

$$\langle E_{DH} \rangle = H_{DH} n/N$$

Considerando que a radiação total pode ser analisada como a soma de uma componente direta e outra difusa, temos que:

$$\langle H_T \rangle = \langle E_{DH} \rangle + \langle E_{dH} \rangle$$

Os índices T, D e d referem-se a energia total, difusa e direta respectivamente. Define-se o índice de clareza  $\langle K \rangle$  como a relação entre a radiação solar, total, direta ou difusa, valor diário médio mensal e o valor médio da radiação extraterrestre para o dia médio desse mês, portanto:

$$\langle K_T \rangle = \langle K_d \rangle + \langle K_D \rangle$$

Uma relação entre  $\langle K_T \rangle$  e  $\langle K_d \rangle$  foi apresentada por Liu e Jordan, baseando-se em medidas efetuadas em um grande número de regiões. Com esta relação e a equação  $\langle K_T \rangle = \langle K_d \rangle + \langle K_D \rangle$  pode-se construir a tabela abaixo, onde  $\langle K_d \rangle$  e  $\langle K_T \rangle$  são relacionados com  $\langle K_D \rangle$ .

$\langle K_D \rangle$	0,121	0,217	0,312	0,426	0,551	0,625
$\langle K_d \rangle$	0,179	0,183	0,188	0,174	0,149	0,125
$\langle K_T \rangle$	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,750

Desta maneira pode-se estimar as médias mensais de radiação diária incidente, direta e difusa, separadamente.

### Correlação de Bennett<sup>6</sup>

A formulação proposta por Bennett, aplicada no Hemisfério Norte, além de considerar os efeitos da duração do brilho solar e da transmissividade da

atmosfera, incorpora também os efeitos relativos à altitude, latitude e época do ano.

A equação proposta por Bennett é dada por:

$$Q_s/Q_0 = a + b (n/N) + c h$$

onde:

$Q_s$  = radiação solar incidente na superfície terrestre

$Q_0$  = radiação solar no topo da atmosfera

$n$  = número de horas de brilho solar observado

$N$  = número de horas de brilho solar previsto para cada dia

$h$  = altitude da estação

$a$ ,  $b$  e  $c$  = coeficientes determinados a partir de dados observados

Os coeficientes  $a$ ,  $b$  e  $c$  foram determinados originalmente, para o Hemisfério Norte. Para a determinação de  $Q_0$ , foi utilizada a expressão clássica:

$$Q_0 = (1440 / \pi) \cdot F_0 (\langle d \rangle / d)^2 \cdot (H \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin H)$$

onde:

$F_0$  = constante solar ( $1,94 \text{ cal.cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ )

$d$  = distância instantânea entre a terra e o sol

$\langle d \rangle$  = distância média entre a terra e o sol

$H$  = duração da metade do dia ( $12\text{h}$  ou  $\pi/2$  radianos)

$\phi$  = latitude local

$\delta$  = declinação do Sol

### 1.4.3 Qualificação dos dados solarimétrico para uma dada localidade do Brasil

Em conformidade com os comentários anteriores, a respeito dos diversos aspectos referentes às medidas solarimétricas, a qualificação dos dados solarimétricos, para uma dada localidade, obedece a seguinte hierarquização:

<sup>6</sup> Nunes, G.S.S., André, R.G.B., Vianello, R/L/ e Marques, V.S., Estudo da distribuição de radiação solar incidente sobre o Brasil, Rev. Bras. de Armaz., Viçosa, 4(21): 5-30, 1979.

1. Dados piranométricos
2. Dados actinográficos
3. Estimativas da radiação solar com a relação de Angstrom

Se existirem informações com equipamentos iguais e comprimentos desiguais da série histórica de dados, prevalece a série mais longa.

## 1.5 METODOLOGIA DA ELABORAÇÃO DAS CARTAS DE ISOLINHAS

### 1.5.1 Trabalhos prévios

Os seguintes Mapas básicos do Brasil, necessários para a elaboração dos Mapas de Isolinas de Radiação Solar Global Diária, média mensal e horas de brilho de Sol diário, média mensal foram disponibilizados:

- Mapa do Brasil com Divisão Político - Administrativa do IBGE, onde estão localizadas cidades com mais de 50.000 habitantes, além de outras localidades menores;
- Mapa do Brasil com Relevo - Hipsometria do IBGE, com altitude de 200 em 200 m;
- Mapas do Brasil com cobertura de Vegetação;
- Mapa do Brasil com Tipo de Relevo
- Mapa da América do Sul com Temperaturas e Precipitações médias (Escala 1:20.000.000).

Foram preparados mapas do Brasil em papel vegetal com a Divisão política (Estados), localidades com dados de horas de brilho de Sol ou com dados de radiação solar medidos com actinógrafos e com piranômetros (valores diários, médias mensais e anuais). São 26 mapas de 110cm x 100cm, ou seja na escala 1:5.000.000. Os mapas foram feitos em papel vegetal, para permitir sua sobreposição com diversos outros mapas. Desta forma, as interrelações entre os fatores geográficos, climáticos e vegetais, com o nível de insolação ou radiação solar foram captadas no momento da feitura dos mapas de isolinas.

Adicionalmente foram elaborados dois mapas mostrando a localização das estações piranométricas e actinográficas e as estações heliográficas, cujas informações foram utilizadas para a confecção dos mapas de isolinas mensais e anuais da radiação solar e insolação.

### 1.5.2 Metodologia

Quando se propõe a tarefa de elaborar um Atlas de um recurso renovável

como a energia solar e eólica, pretende-se que o mesmo reflita, a partir das informações existentes, a distribuição global do mencionado recurso, deixando de lado nesta etapa, as particularidades próprias de pequena e média escala, perante a particularidades de macro escala.

Dentro das possibilidades oferecidas pelas informações disponíveis, busca-se compatibilizar a base de dados ( de procedência muito diversa, tanto pelo instrumental com que foram obtidos quanto pela extensão e tratamento a que foram submetidos) e determinar grandes zonas, bem diferenciadas, sem perder de vista o caráter preliminar do produto final.

Como consequência do mesmo, devem aparecer regiões nas quais sejam necessárias novas medidas porque não se fizeram antes adequadamente, outras nas quais será conveniente aumentar a densidade das estações de medidas e outras em que serão necessárias revisar a instrumentação ( a fim de compatibilizar os valores obtidos) ou racionalizar sua distribuição ( onde a cobertura espacial é excessiva). Estas situações ocorrem em todas as partes do mundo porque as redes de medição existentes não se encontram adequadamente distribuídas. É muito difícil, senão impossível, compatibilizar a necessidade ideal de informação (distribuição espacial ideal de estações) com a possibilidade real (econômica) de instalação e manutenção desta rede.

Por fim cabe ressaltar que, a escolha de local para instalar um sistema ou um conjunto de sistemas solares, mediante o uso de mapas de isolinas do Atlas, (porque o valor médio do recurso solar parece adequado ) tem um caráter indicativo preliminar que ressalta o potencial da região. Uma escolha definitiva necessitará de medidas detalhadas do recurso no local para determinar seu valor e principalmente a sua variabilidade temporal.

### 1.5.3 Procedimentos

#### Isolinas de radiação solar

Os valores da radiação solar global diária, médias mensais e anual das localidades que constam da base de dados foram locados em mapas nacionais, com projeção policônica centrada no meridiano 54° Oeste, preparados em papel vegetal na escala 1:5.000.000. As localidades com medidas realizadas através de piranômetros foram diferenciadas, com simbologias distintas das localidades com medidas feitas com actinógrafos bimetálicos. Os valores procedentes de estimativas (cálculos) feitas com diversos modelos, foram deixados de lado e excepcionalmente foram utilizados no caso de existirem alguma dúvida durante o processo de traçamento das isolinas.

Cada um destes 13 mapas transparentes ( 1 anual e 12 mensais) foram superpostos ao mapa de hipsometria do Brasil, preparado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com cotas de 200 em 200 m.

Os seguintes critérios gerais, foram seguidos:

- Considerando que os erros associados às medidas com piranômetros termoeletrônicos acoplados aos integradores eletrônicos que operam dentro de uma rede, encontram-se na faixa de 3% a 5%, dependendo do modelo<sup>7,8</sup> e que os registros diários, em faixas de papel, dos actinógrafos bimetálicos podem variar de 10 a 15%, desde que tenham

<sup>7</sup> Stanhill, G. and Moreshet, S., Global radiation climate changes: The World Network, Climatic Change, Vol. 21, pp.57-75, 1992.

<sup>8</sup> Grossi Gallegos, H., Distribución espacial del promedio anual de la radiación solar global diaria en América del Sur, en Memorias del III Congreso Nacional de Energía, La Serena, Chile, pp. 51-56, 1996.

uma manutenção razoável<sup>9</sup>, foram priorizadas as informações obtidas com os primeiros.

- Em regiões aproximadamente homogêneas ( admitindo-se isotropia) extrapolaram-se as medidas diárias, médias mensais , provenientes de medições piranométricas até aproximadamente 200 Km sem incorrer em um erro maior que 10% , com um nível de confiança de 90%.
- Foram levados em consideração valores médios da radiação solar obtidos em países limítrofes.<sup>10, 11, 12</sup>
- Foram utilizadas, como apoio complementar, as Cartas Pluviométricas do Atlas Climatológico da América do Sul<sup>13</sup> preparado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e os mapas de cobertura vegetal do Brasil.

Os valores da radiação solar global diária, médias mensais e anual foram expressos em MJ/m<sup>2</sup>.dia. **Convencionou-se localizar estes números sobre as isolinhas, no lado de valores crescentes.** Como consequência das considerações anteriores, foi estabelecido como espaçamento adequado, entre isolinhas sucessivas, o valor de **2 MJ/m<sup>2</sup>.dia**. Nas regiões onde não existiam informações ou onde não eram suficientemente confiáveis, as isolinhas foram tracejadas.

#### **Isolinhas de horas de insolação (horas de brilho do Sol)**

Os valores da insolação diária, médias mensais e anual, que constam do Banco de Dados Solarimétricos, também foram registrados nos mapas transparentes (em papel vegetal) do Brasil.

Com o objetivo de homogeneizar a densidade espacial das informações disponíveis, consideraram-se as mesmas localidades utilizadas para elaboração das cartas de radiação solar , acrescentando outras em regiões onde se dispunham de poucas informações de radiação solar.

Como não era conhecida a qualidade dos dados de insolação obtidos com heliógrafos do tipo Campbell-Stokes, admitiu-se " a priori" uma confiabilidade igual para todos, considerando um erro não inferior a 10%.

Também foram considerados os resultados de estudos sobre a variabilidade espacial dos valores de insolação diária, médias mensais em regiões homogêneas e isotrópicas que permitem extrapolar os valores até 200 km sem exceder os erros de extrapolação de 15%, com um nível de confiança de 90%.

Pelas considerações anteriores, o espaçamento entre isolinhas foi fixado em **uma hora/dia**. Os valores de insolação, expressos em horas/dia estão localizados sobre as isolinhas com a mesma convenção utilizadas para as isolinhas de radiação solar, ou seja, do lado crescente.

#### **Comentários gerais sobre os resultados**

As cartas de isolinhas da radiação solar global diária, médias mensais e anual, descrevem de forma adequada os dados disponíveis no Brasil. Considerando as características das informações existentes, as cartas preparadas constituem o conjunto mais atualizado e de melhor qualidade já elaborado sobre o recurso solar no Brasil.

As cartas de radiação solar mensal mostram claramente para cada mês, regiões bem diferenciadas, razoavelmente correlacionadas com as condições pluviométricas e horas de insolação correspondentes.

Convém observar que as cartas de isolinhas de insolação diária, médias mensais e anual têm um caráter totalmente diferente das cartas de radiação solar : são apenas uma imagem gráfica dos dados que constam do Banco de Dados Solarimétricos. Porém, a sua eventual conversão para radiação solar poderia tornar essas isolinhas em valiosa informação complementar dos mapas e banco de dados da radiação solar.

#### **1.6 AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR NO BRASIL**

As regiões desérticas do mundo são as mais bem dotadas de recurso solar. Assim a região da cidade de Dongola, localizada no Deserto Árabe, no Sudão, e a região de Dagget no Deserto de Mojave, Califórnia, Estados Unidos, são exemplos de localidades excepcionalmente bem servidas de radiação solar.

Para efeito de comparação, são mostradas na Tabela 1.2, os valores da radiação solar diária, médias mensais , máximas, mínimas e anuais para estas duas localidades e algumas outras do Brasil. Como pode ser visto nesta tabela, as áreas localizadas no Nordeste do Brasil, têm valores da radiação solar diária, média anual comparáveis às melhores regiões do mundo.

Além disso, as variações sazonais para o NE são menores, o que poderá resultar em importantes vantagens técnicas e econômicas dos sistemas solares instalados nesta região.

As cartas de radiação solar global diária, média mensal elaboradas neste Projeto, mostram que a radiação solar no Brasil varia entre 8 a 22 MJ/m<sup>2</sup>.dia e revelam um período de mínimo no trimestre maio-junho-julho, onde as estações solarimétricas registram intensidade de radiação na faixa de 8 a 18 MJ/m<sup>2</sup>.dia.

Verifica-se também neste trimestre que o centro de máxima ( 18 MJ/m<sup>2</sup>.dia) ocorre sobre uma vasta região compreendida entre leste do estado de Pará, oeste dos estados de Ceará e Bahia e a fronteira sul do estado da Bahia. A tendência de mínima ( 8 MJ/m<sup>2</sup>.dia) ocorre ao sul do estado de Rio Grande do Sul.

As Cartas 3.6, 3.7 e 3.8 contidas no Capítulo III deste Volume exemplificam estes fatos mostrando as isolinhas de radiação solar diária, média mensal, para o mês de maio, junho e julho.

<sup>9</sup> Esteves, A. and De Rosa, C., A simple method for correcting the solar radiation readings of a Robitzsch-type pyranometer, Solar Energy, Vol. 42, n° 1, pp. 9-13, 1989.

<sup>10</sup> Grossi Gallegos, H. Atienza, H., G. y Garcia, M., Cartas de radiación solar global para a region meridional de América del Sur, Anales del II Congreso Interamericano de Meteorología, B. Aires, Argentina, pp. 16.3.1-16.3.10, 1987.

<sup>11</sup> Grossi Gallegos, Atienza, G. y de Castel, M.E.G., La medición de la radiación solar en la República del Paraguay, Actas del 7º Congreso Latinoamericano de Energía Solar - 16ª Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, La Plata, Buenos Aires, Argentina, Tomo I, pp. 303-308, 1993.

<sup>12</sup> Grossi Gallegos, H., Atienza, G. Garcia, M. M., Renzini, G., Peralta, M., Saravia, Unzueta, I. y Arteaga Tamayo, A., Estimación de la distribución de la radiación solar global en la República de Bolivia, Actas de la 12ª Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar, Buenos Aires, Vol. I, pp. 83-93, 1987.

<sup>13</sup> Organización Meteorológica Mundial, Atlas Climático de América del Sur, Vol. I (J. Hoffmann), O.M.M., UNESCO, Cartographia, Budapest, Hungria, 28 Cartas, 1975.

Já no trimestre outubro-novembro-dezembro, observa-se que as estações solarimétricas registram intensidades de radiação acima de 16 MJ/m<sup>2</sup>.dia, atingindo um valor máximo de 24 MJ/m<sup>2</sup>.dia. Neste período ocorre um centro de máxima de 24 MJ/m<sup>2</sup>.dia em uma região pequena do centro-oeste do Rio Grande do Sul e valores de 22 MJ/m<sup>2</sup>.dia em uma região relativamente vasta do Nordeste do Brasil. Neste período a tendência de mínima de 16 MJ/m<sup>2</sup>.dia ocorre na vastíssima região Amazônica. As Cartas 3.11, 3.12 e 3.13 contidas no Capítulo III deste Volume exemplificam estes fatos mostrando as isolinhas da radiação solar diária, média mensal, para os meses de outubro, novembro e dezembro.

Também pode ser deduzido das cartas de isolinhas de radiação solar, que o menor índice de nebulosidade (maior índice de radiação Solar) se concentra na parte central da região Nordeste do Brasil, onde as influências da costa marítima, da Zona de Convergência Inter-Tropical e dos sistemas Frontais do Sul são menores.

Convém ressaltar que as cartas de distribuição espacial de radiação solar diária, média mensal representam apenas uma primeira aproximação do campo de energia solar disponível à superfície. Para situações locais deve-se recorrer às médias numéricas das respectivas estações solarimétricas.

Tabela 1.2 - Dados de radiação solar diária, médias mensais para diversas localidades do Mundo

Localidade	Latitude	H <sub>h(mínimo)</sub> (MJ/m <sup>2</sup> )	H <sub>h(máximo)</sub> (MJ/m <sup>2</sup> )	H <sub>h(anual)</sub> (MJ/m <sup>2</sup> )	H <sub>h(max.)</sub> /H <sub>h(min)</sub>
Dongola-Sudão	19°10'	19,1(Dez)	27,7(Mai)	23,8	1,4
Dagget - USA	34°52'	7,8(Dez)	31,3(Jun)	20,9	4,0
Belém-PA-Brasil	1°27'	14,2(Fev)	19,9(Ago)	17,5	1,4
Floriano -PI-Brasil	6°46'	17,0(Fev)	22,5(Set)	19,7	1,3
Petrolina-PE-Brasil	9°23'	16,2(Jun)	22,7(Out)	19,7	1,4
B. J, da Lapa -BA-	13°15'	15,9(Jun)	21,1(Out)	19,7	1,3
Cuiabá-MT-Brasil	15°33'	14,7(Jun)	20,2(Out)	18,0	1,4
B. Horizonte-MG-Brasil	19°56'	13,8(Jun)	18,6(Out)	16,4	1,3
Curitiba-PR-Brasil	25°26'	9,7(Jun)	19,4(Jan)	14,2	2,0
P. Alegre-RS-Brasil	30°1'	8,3(Jun)	22,1(Dez)	15,0	2,7

# *Instrumentos de Medidas Solarimétricas*







## 2.1 IINTRODUÇÃO

As medições solarimétricas na superfície terrestre são da maior importância para o estudo da influência das condições atmosféricas nas componentes direta e difusa da radiação solar [1].

As definições a serem utilizadas neste capítulo estão baseadas no trabalho "Terminologia de quantidades de radiação e instrumentos de medida", adotadas pela World Meteorological Organization (WMO) Commission for Instruments and Methods of Observation [2].

## 2.2 SENSORES E PRINCÍPIOS DAS MEDIÇÕES SOLARIMÉTRICAS

Os instrumentos solarimétricos medem a potência incidente por unidade de superfície, integrada sobre os diversos comprimentos de onda. A radiação solar cobre toda a região do espectro visível, 0,4 a 0,7 m, uma parte do ultravioleta próximo de 0,3 a 0,4 m, e o infravermelho no intervalo de 0,7 a 5 m. As medições padrões são a radiação total e a componente difusa no plano horizontal e a radiação direta normal.

Habitualmente são utilizados instrumentos cujo sensor de radiação é uma termopilha, que mede a diferença de temperatura entre duas superfícies, normalmente pintadas de preto e branco e igualmente iluminadas. A vantagem principal da termopilha é a sua resposta uniforme em relação ao comprimento de onda. Por exemplo, o piranômetro Eppley, modelo 8-48, apresenta essa característica no intervalo de 0,3 m a 3 m.

Sensores baseados na expansão diferencial de um par bimetálico, provocado por uma diferença de temperatura entre duas superfícies de cor preto e branco, são também utilizados em instrumentos solarimétricos (actinógrafos tipo Robitzch-Fuess). A expansão do sensor movimenta uma pena que registra o valor instantâneo da radiação solar.

Fotocélulas de silício monocristalino são utilizadas no presente, com bastante frequência, como sensores para medições piranométricas. Seu custo é de 10 a 20% dos custos dos instrumentos que usam termopilhas. Sua maior limitação é a não uniformidade da resposta espectral e a região relativamente limitada de comprimentos de onda, à qual a fotocélula é sensível (0,4 a 1,1 m com máximo em torno dos 0,9 m).

\* O texto deste capítulo foi extraído do livro Energia Solar - Fundamentos e Tecnologia de Conversão Heliotermoeletrica e Fotovoltáica, Capítulo 4, cujos autores são Naum Fraidenraich e Francisco Lyra.

Cerca de 99% do espectro solar estende-se entre 0,27 e 4,7  $\mu\text{m}$ , enquanto que no intervalo de sensibilidade das fotocélulas está compreendido 66% da radiação.

Fotocélulas e termopilhas realizam medidas essencialmente diferentes. A fotocélula conta o número de fótons com energia maior que a diferença existente entre duas bandas de energia do material, com as quais, esses fótons interagem (banda de energia proibida do silício). A energia em excesso dos fótons é simplesmente dissipada em forma de calor. Uma termopilha mede potência e, portanto, o momento de primeira ordem da distribuição espectral. Esta diferença dá origem a características espectrais qualitativamente diferentes que complicam a análise da interrelação entre ambos os tipos de sensores.

Se o espectro solar tivesse sempre a mesma distribuição, bastaria uma calibração destes sensores, que não seriam, portanto, afetados pela sua resposta espectral. No entanto, a distribuição espectral modifica-se com a massa de ar e cobertura de nuvens. Essa mudança é muito importante para a componente direta normal da radiação e extremamente grande para a radiação difusa ao ponto que, neste caso, a medição pode estar afetada de erros da ordem de 40%.

### 2.3 INSTRUMENTOS SOLARIMÉTRICOS

A radiação total que atinge um plano horizontal localizado na superfície terrestre é a soma de duas componentes, a saber:

$$I_h = I_{bn} \cos z + I_d$$

onde  $I_{bn}$  é o fluxo de radiação direta, normal aos raios;  $z$  o ângulo formado pelos raios com o plano horizontal e  $I_d$  a radiação difusa que incide sobre o plano horizontal. Quando o plano está inclinado de um ângulo com relação ao plano horizontal, parte da radiação refletida no solo adjacente incide na sua superfície. Esta radiação constitui uma terceira componente, denominada albedo. Os instrumentos que são descritos a seguir se destinam à medição da radiação total ou de uma das suas componentes ou, o que é mais comum, da sua integral ao longo de um dia. A medição do albedo, quando necessária, é realizada pelos mesmos instrumentos de medição de radiação total, sendo estes, porém, voltados para o solo.

#### 2.3.1 Heliógrafo

Este instrumento tem por objetivo medir a duração da insolação, ou seja, o período de tempo em que a radiação solar supera um dado valor de referência. São instrumentos ainda de muita importância, devido ao relativamente grande número deles instalados em todo o mundo, já há bastante tempo.

O heliógrafo opera a partir da focalização da radiação solar sobre uma carta que, como resultado da exposição, é enegrecida. O comprimento desta região mede o chamado número de horas de brilho do Sol. Diversas correlações desenvolvidas permitem o cálculo da radiação total diária, a partir das horas de

brilho. Existe um limiar de radiação solar, acima do qual há o enegrecimento da carta de papel do heliógrafo. Este limiar apresenta uma variabilidade, dependendo da localização geográfica, do clima e do tipo da carta utilizada. Em geral, o valor do limiar está entre 100 e 200  $\text{W/m}^2$ . Entretanto, uma recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM) estabelece que o valor do limiar deve ser de 120  $\text{W/m}^2$  [3].

O instrumento recomendado para medição da insolação (número de horas de brilho do Sol) é o heliógrafo do tipo Campbell-Stokes, com as cartas especificadas pelo Serviço Meteorológico Francês, em conformidade com a OMM. Este equipamento consiste de uma esfera de vidro polida, que se comporta como uma lente convergente montada de maneira tal que, em seu foco, se coloca a carta de papel para registro diário. Na figura 2.1 pode ser observado um heliógrafo Campbell-Stokes e as respectivas cartas de registro.

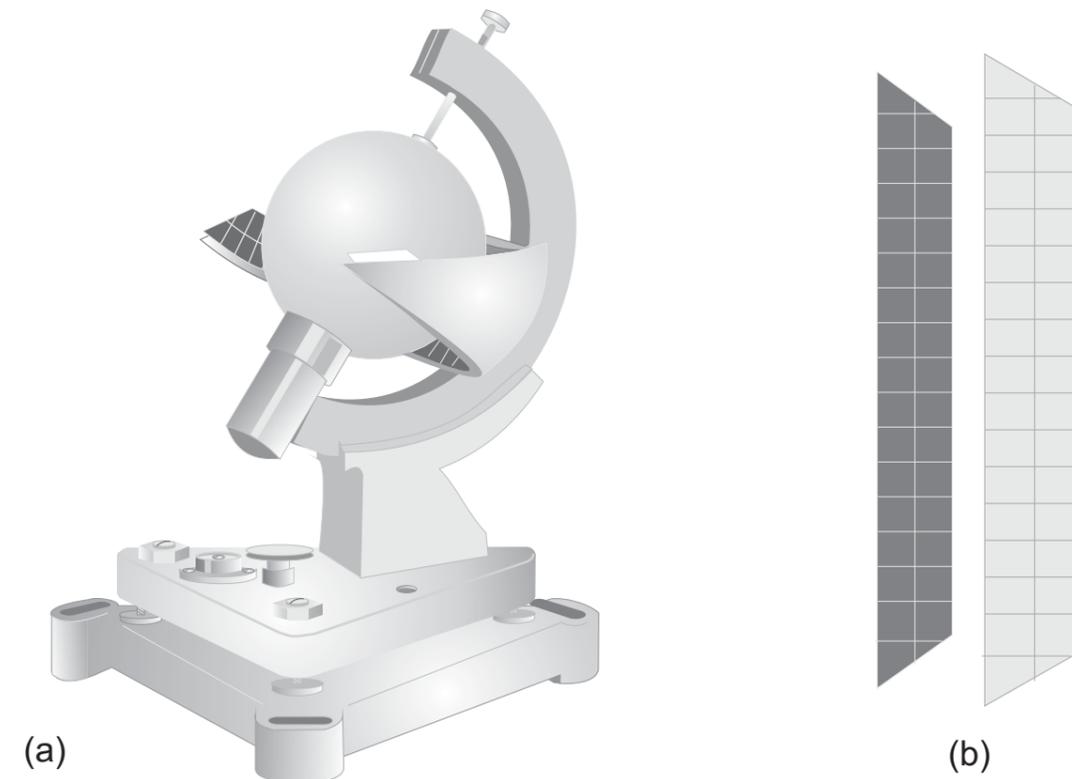


Figura 2.1 (a) Heliógrafo Campbell-Stokes; (b) Cartas de registro

#### 2.3.2 Actinógrafo

Estes instrumentos, também conhecidos como piranógrafos, foram muito utilizados devido ao seu baixo custo. O actinógrafo é utilizado para medição da radiação solar total ou sua componente difusa, possuindo o sensor e o registrador na mesma unidade.

O mesmo consiste, essencialmente, em um receptor com três tiras bimetálicas, a central de cor preta e as laterais brancas. As tiras brancas estão fixadas e a preta está livre em uma extremidade, e irão se curvar, quando iluminadas, em consequência dos diferentes coeficientes de dilatação dos metais que as compõem. Na tira preta, este encurvamento gera um movimento no extremo livre, que é transmitido mecanicamente a uma pena que irá registrar sobre uma carta de papel, montada sobre um tambor acionado por mecanismo de relojoaria. Um actinógrafo bimetálico tipo Robitzsch-Fuess é mostrado a seguir, na figura 2.2

Os actinógrafos só devem ser utilizados para medição de totais diários de radiação, sendo para isso necessário a planimetria da carta com o registro. As características do instrumento, incluindo a própria planimetria do registro, levam a erros na faixa de 15 a 20%. Mesmo com uma calibração mensal, esses erros não são inferiores aos 5 a 10%, sendo considerado um instrumento de terceira classe. Entretanto, estudos recentes mostram a possibilidade de melhorar consideravelmente a precisão dos resultados, reduzindo o erro para cerca de 4% [4].

Estes instrumentos têm boa linearidade e boa resposta espectral, porém não há boa compensação de temperatura e o tempo de resposta é lento. Seu custo estimado é da ordem de US\$ 500,00, porém, é necessário a aquisição de um planímetro para totalização de registro obtido na carta.

### 2.3.3 Piranômetro Fotovoltaico

O custo dos piranômetros de primeira e segunda classe, que serão descritos a seguir, tem promovido o interesse pelo desenvolvimento e utilização de instrumentos com sensores fotovoltaicos, de custos mais reduzidos. Trabalhos publicados mostram as possibilidades destes instrumentos, seja para usos isolados ou como integrantes de uma rede solarimétrica [5 e 6].

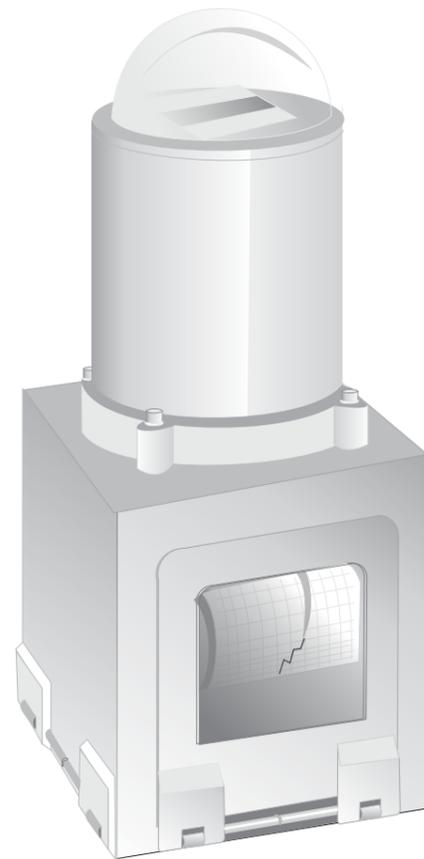


Figura 2.2 -Actinógrafo bimetálico do tipo Robitzsch-Fuess

Estes solarímetros possuem como elemento sensor uma célula fotovoltaica, em geral de silício monocristalino. As fotocélulas têm a propriedade de produzir uma corrente elétrica quando iluminada, sendo esta corrente, na condição de curto-circuito, proporcional à intensidade da radiação incidente.

Tais piranômetros têm recebido diversas críticas, particularmente quanto ao seu comportamento espectral, devido a sua seletividade. Este fenômeno é inerente ao sensor e, em consequência, incorrigível. Outras questões, como a refletividade das células e dependência da resposta com a temperatura, já possuem soluções plenamente satisfatórias [3]. De qualquer forma, seu baixo custo e facilidade de uso os faz particularmente úteis como instrumentos secundários. Entretanto, sua utilização é recomendada para integrais diárias de radiação solar total sobre o plano horizontal ou para observar pequenas flutuações da radiação, devido a sua grande sensibilidade e resposta quase instantânea, cerca de 10 s.

Para valores diários, o erro nas medições de um piranômetro fotovoltaico estão na ordem dos 3%. Certos procedimentos, entretanto, podem melhorar ainda mais os resultados, de forma a se conseguir diferenças menores que 1% em medidas de radiação diária, quando comparados com piranômetros de precisão [5].

Tais sensores, como o mostrado na figura 2.3, são bastante estáveis, com uma degradação de sensibilidade menor que 2% ao ano. Os custos destes instrumentos estão na faixa de US\$ 130-300 [4 e 5].

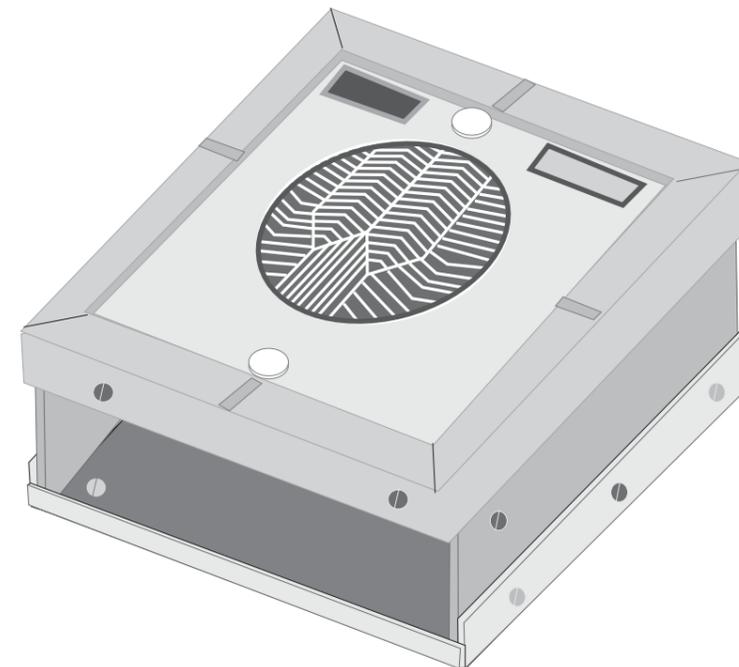


Figura 2.3 -Piranômetro com sensor fotovoltaico

### 2.3.4 Piranômetro Termoelétrico

O elemento sensível destes solarímetros é, em essência, uma pilha termoelétrica, constituída por pares termoelétricos (termopares) em série. Tais termopares geram uma tensão elétrica proporcional à diferença de temperatura entre suas juntas, as quais se encontram em contato térmico com placas metálicas que se aquecem de forma distinta, quando iluminadas. Portanto, a diferença de potencial medida na saída do instrumento pode ser relacionada com o nível de radiação incidente.

Dentre os piranômetros termoelétricos existem essencialmente dois tipos em uso, sendo eles [3]:

- Piranômetro com o detector pintado de branco e preto, isto é, o receptor apresenta alternativamente superfícies brancas e pretas, dispostas em coroas circulares concêntricas ou com outros formatos, tais como estrela ou quadriculados. Nestes instrumentos, as juntas quentes das termopilhas estão em contato com as superfícies negras, altamente absorventes, e as frias em contato com as superfícies brancas, de grande refletividade.
- Piranômetros com a superfície receptora totalmente enegrecida em contato térmico com as juntas quentes e as frias, associadas a um bloco de metal de grande condutividade térmica, colocadas no interior do instrumento, resguardadas da radiação solar e tendo, aproximadamente, a temperatura do ar.

Os piranômetros mais difundidos dentro do tipo Black & White são: Eppley 8-48 (Estados Unidos), mostrado na figura 2.4; o Cimel CE-180 (França); o Star ou Shenk (Áustria) e o M-80M (Rússia). Destes, o Eppley 8-48 e o CE-180 possuem compensação em temperatura.

Dentre os piranômetros com superfície receptora totalmente preta os mais usados são o Eppley PSP (Estados Unidos), visto na figura 2.5, e o Kipp & Zonen CM-5 e CM-10 (Holanda). Apenas o Eppley PSP é compensado em temperatura, sendo um instrumento de precisão e considerado de primeira classe. Todos os demais piranômetros referidos aqui são de segunda classe.

Os piranômetros têm boa precisão, na faixa de 2 a 5%, dependendo do tipo utilizado. Tais instrumentos podem ser usados para medir radiação em escala diária, horária ou até menor, o que vai depender mais da programação do equipamento de aquisição de dados associado [7].

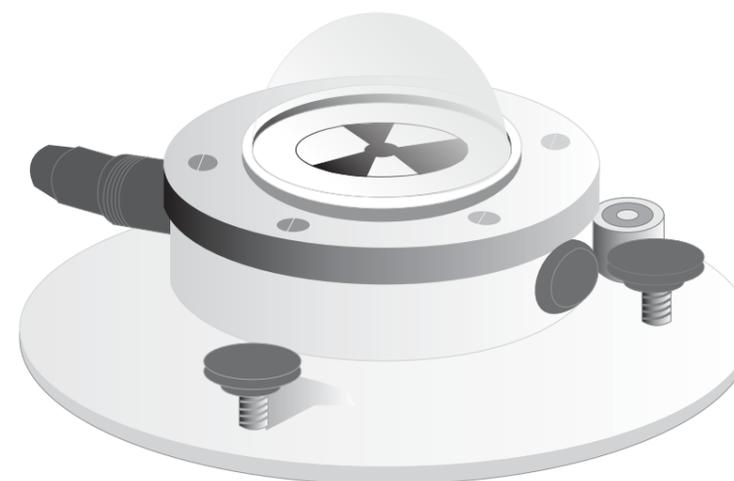


Figura 2.4 -Piranômetro do tipo preto e branco (Black & White) Eppley 8-48.

Os piranômetros, em geral, possuem boa resposta espectral, linearidade e uniformidade na resposta e tempo de resposta, melhor que o actinógrafo. Há uma certa dependência do fator coseno para grandes ângulos de incidência, porém este problema é comum aos outros citados (actinógrafos e piranômetro fotovoltaico) [5].

O maior empecilho ao largo uso do piranômetro termoelétrico é o seu custo, em torno de US\$ 1.500,00, sem contar o equipamento de aquisição de dados.



Figura 2.5 -Piranômetro espectral de precisão Eppley PSP.

### 2.3.5 Piroheliômetros

O piroheliômetro é o instrumento utilizado para medir a radiação direta. Ele se caracteriza por possuir uma pequena abertura de forma a "ver" apenas o disco solar e a região vizinha, denominada circumsolar. O ângulo de aceitação é da ordem de  $6^\circ$  e o instrumento segue o movimento do Sol, que é permanentemente focalizado na região do sensor. Em geral, se utiliza uma montagem equatorial com movimento em torno de um único eixo, que é ajustado periodicamente para acompanhar a mudança do ângulo de declinação do Sol.

O fato do piroheliômetro ter um ângulo de aceitação que permite medir a radiação circumsolar pode levar a certos equívocos com relação à intensidade da radiação direta que incide e é aceita por coletores concentradores, cujo ângulo de aceitação habitualmente é menor que o ângulo de aceitação do instrumento. Esta diferença requer e pode ser objeto de correção.

Os piroheliômetros são instrumentos de precisão e, quando adequadamente utilizados nas medições, possuem erro na faixa de 0,5%. Na atualidade, os mais difundidos são os de termopilhas.

Os Piroheliômetros de Termopares são os equipamentos normalmente utilizados para medições em campo da radiação solar direta normal. Neste tipo de piroheliômetros, o princípio operacional é semelhante ao dos piranômetros termoeletrônicos. Os mais difundidos são o Eppley N.I.P. (Normal Incidence Pyrheliometer) e o Kipp & Zonen Pyrheliometer, respectivamente fabricados nos Estados Unidos e na Holanda.

#### 2.3.5.1 Piroheliômetro Eppley N.I.P.

Possuem uma termopilha de oito juntas de Cobre-Constantan prateado. São compensados em temperatura. Têm paredes duplas no corpo principal, com o objetivo de diminuir os efeitos do vento e as mudanças na temperatura ambiente. Uma janela de quartzo na abertura frontal também minimiza os problemas citados, além de proteção contra chuvas. Estas características, juntamente com a disponibilidade de um seguidor equatorial, o faz um instrumento bastante útil para trabalho contínuo. Um piroheliômetro Eppley N.I.P. pode ser visto na figura 2.6.

#### 2.3.5.2 Piroheliômetro Kipp & Zonen

Este equipamento conta com uma termopilha de 40 juntas de manganina-constantan em dois grupos circulares, de 20 cada um. Um desses grupos se encontra protegido do Sol, no intuito de compensar as flutuações térmicas nonterior do instrumento.

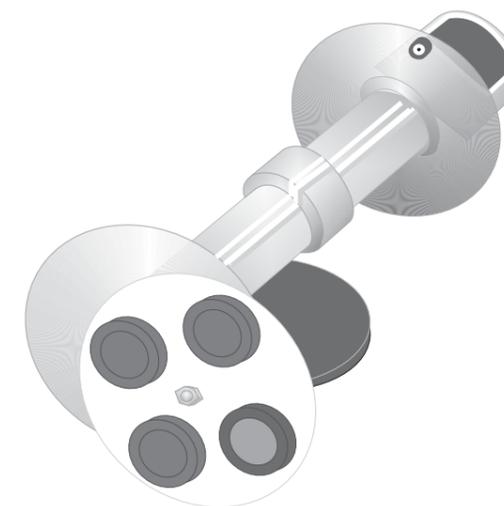


Figura 2.6 -Piroheliômetro de incidência normal Eppley N.I.P.

Devido a não ser compensado nas variações da temperatura ambiente, possui um termômetro incorporado que permite, a partir de sua leitura, aplicar um fator de correção na constante de calibração do piroheliômetro, que é função da dita temperatura.

### 2.3.6 Medição da Radiação Solar Difusa

As medições de radiação difusa são realizadas com piranômetros ou mesmo actinógrafos, cujos sensores se encontram sombreados por uma banda ou disco, de forma a não incidir radiação solar direta. O mais tradicional é o uso da banda de sombra em forma de aro ou semiaro, colocada em paralelo com a eclíptica. Desta forma, o sensor estará protegido durante todo o dia (ver figura.2.7).

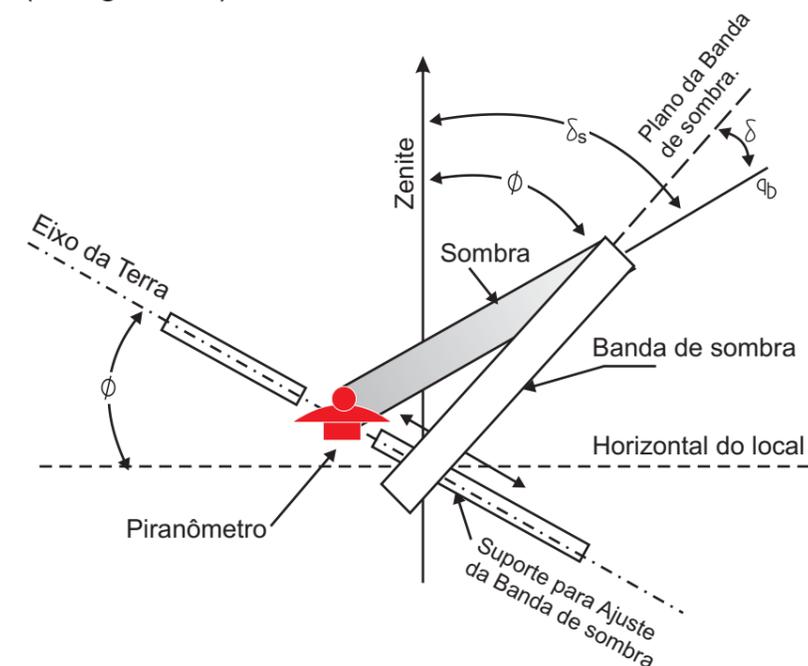


Figura 2.7 - Esquema de montagem de um piranômetro com banda de sombra, para medição da radiação solar difusa.

O custo da banda de sombra é relativamente baixo e sua montagem é simples. Porém, devido a que a banda também bloqueia parte da própria radiação difusa, é necessário se proceder uma correção das leituras. Esta correção oscila, em geral, entre 5 e 25%, apresentando uma grande variabilidade, dependendo de dimensões

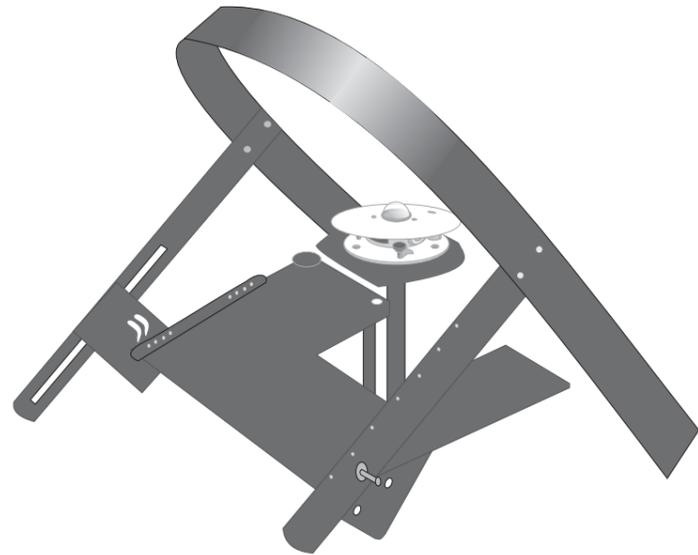


Figura 2.8 -Piranômetro com banda de sombra para medição de radiação difusa.

geométricas da banda; latitude; época do ano; turbidez atmosférica e grau de nebulosidade; albedo das superfícies vizinhas e refletividade da superfície interna da banda.

Como dispositivo sombreador, o disco é mais conveniente, devido à sua geometria. Consiste em um círculo montado de forma a sombrear o sensor do piranômetro com poucos milímetros de tolerância e produzindo um mesmo ângulo sólido de um piroheliômetro padrão, cerca de 5°. Entretanto, o uso do disco sombreador necessita do seguimento contínuo do Sol, o que exige uma instalação consideravelmente mais sofisticada que no caso da banda de sombra.

### 2.3.7 Alguns Aspectos Operacionais

Em primeiro lugar deve se tomar os devidos cuidados na instalação dos solarímetros. Em particular, deve ser evitado tanto obstruções como objetos com alta refletividade nas proximidades do instrumento, o que pode acarretar interferências nas medições.

É necessária uma inspeção contínua dos instrumentos solarimétricos e dos equipamentos acessórios existentes (aquisição de dados, dispositivos de movimentação para acompanhamento do Sol, etc.) observando se estão operando de forma adequada.

Finalmente, há a questão da calibração periódica. Idealmente, os solarímetros devem ser calibrados pelo menos uma vez por ano, em laboratórios certificados pela OMM. Este procedimento pode ser caro e deixa o instrumento

enquanto se processa o transporte e calibração do mesmo. Pesquisadores apontam a alternativa de usar um instrumento, periodicamente calibrado, como um padrão secundário para calibração em campo. Deve-se, porém, levar em conta os devidos cuidados para a validade do procedimento [11].

### 2.3.8 Classificação da Exatidão dos Radiômetros Solares

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) tem estabelecido limites de exatidão para quatro tipos de radiômetros: piroheliômetros padrão de referência e instrumentos de primeira, segunda e terceira classes. Os limites de exatidão estão mostrados na tabela 2.1

Tabela 2.1 -Classificação da exatidão dos radiômetros solares [1].

EQUIPAMENTOS		Pirohel. Padrão de Ref.	Instrumentos Secundários				
			Pirohel. 1ª classe	Pirohel. 2ª classe	Pirohel. 1ª classe	Pirohel. 2ª classe	Pirohel. 3ª classe
Sensibilidade	(mW/cm <sup>2</sup> )	± 0,2	± 0,4	± 0,5	± 0,1	± 0,5	± 1
Estabilidade	(%)	± 0,2	± 1	± 2	± 1	± 2	± 5
Temperatura	(%)	± 0,2	± 1	± 2	± 1	± 2	± 5
Seletividade	(%)	± 0,1	± 1	± 2	± 1	± 2	± 5
Linearidade	(%)	± 0,5	± 1	± 2	± 1	± 2	± 3
Constante do Tempo	(Máx.)	25 s	25 s	1 min.	25 s	1 min.	4 min.
Resposta Coseno	(%)	—	—	—	± 3	± 5 a 7	± 10
Resposta Azimutal	(%)	—	—	—	± 3	± 5 a 7	± 10
Erros nos Equipamentos Auxiliares	Galvano.	0,1 unid.	0,1 unid.	0,1 unid.	Erros no Sist. de Regist. (%)		
	Miliamp. (%)	± 0,1	± 0,2	± 1	± 0,3	± 1	± 3
	Cronôm.	0,1 s	0,3 s	—			

## 2.4 REDE MUNDIAL DE CENTROS DE RADIAÇÃO SOLAR

Com o intuito de permitir a comparação das observações de radiação em escala nacional e internacional, a Organização Meteorológica Mundial tem recomendado o estabelecimento de um sistema mundial, regional e nacional de centros de medição de radiação solar de acordo com a Escala Piroheliométrica Internacional, de 1956. Cada centro nacional deve satisfazer os seguintes requisitos [2].

Deve possuir no mínimo um piroheliômetro padrão do tipo de compensação de Ångström ou de disco de prata, para ser utilizado como instrumento nacional de referência

na calibração dos instrumentos pertencentes à rede nacional de solarimetria.

- O instrumento padrão deverá ser comparado com o instrumento padrão regional uma vez em cada cinco anos, no mínimo. A exatidão da calibração dos instrumentos solarimétricos utilizados na rede nacional, deverá ser igual à exatidão do instrumento padrão de referência.
- O centro nacional deverá possuir as facilidades necessárias e equipamentos para verificar e estudar a operação e desempenho dos instrumentos pertencentes à rede nacional.
- O pessoal do centro deverá assegurar a continuidade de suas atividades e incluir entre seus membros um cientista qualificado com ampla experiência no campo da solarimetria.

Requisitos adicionais para os centros mundiais e regionais podem ser encontrados na referência [2].

Na tabela 2.2 estão relacionados os locais dos centros mundiais e regionais, existentes na década de 70.

Tabela 2.2 -Localização dos centros mundiais e regionais de radiação solar [1].

**CENTROS MUNDIAIS DE RADIAÇÃO**

- Davos ( Suíça)
- Vacjkov (URSS)

**CENTROS REGIONAIS DE RADIAÇÃO**

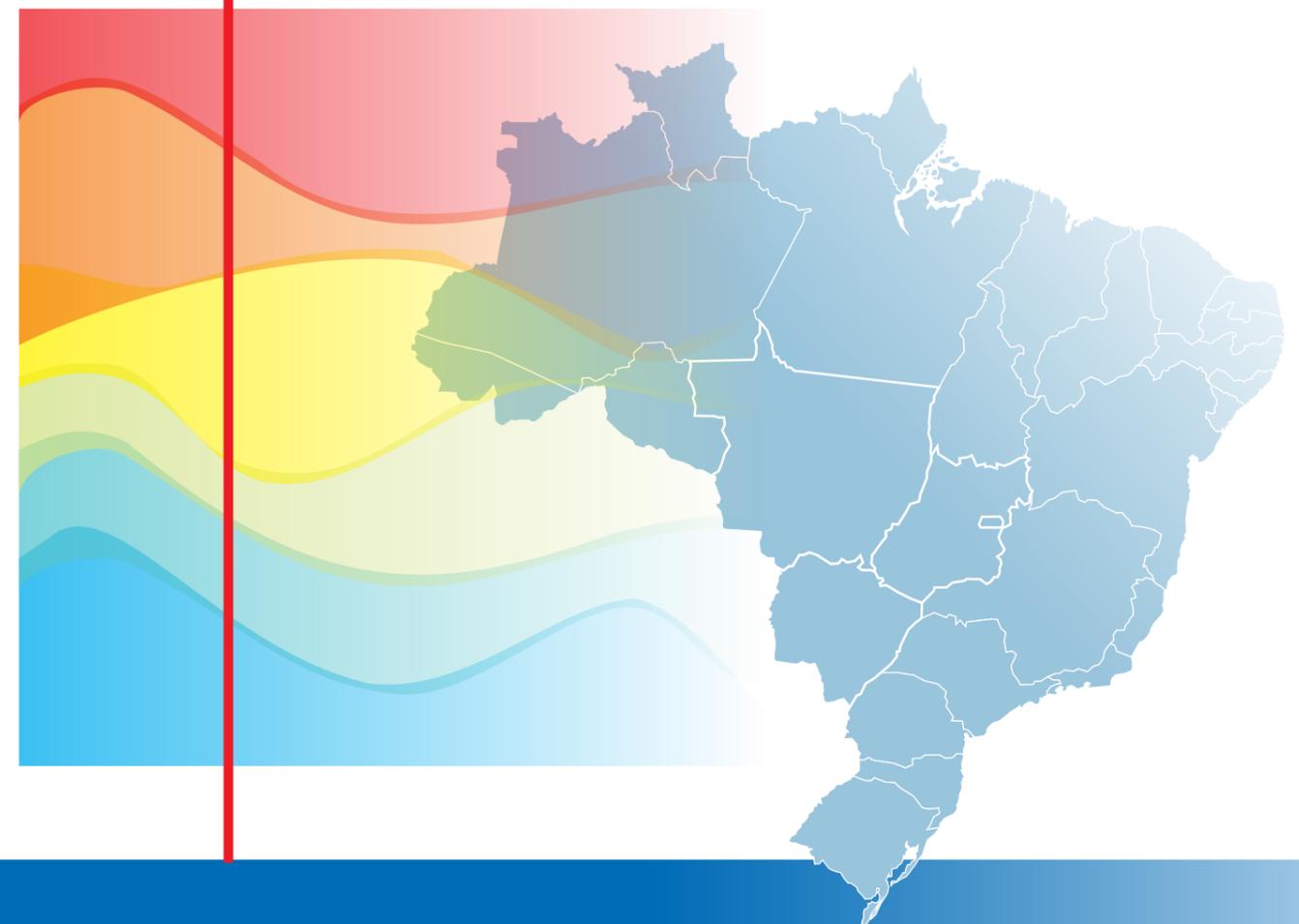
Região I	Região II	Região III
Karthoum, Sudão	Poona, Índia	Buenos Aires, Argentina
Kinshasa, Zaire		
Pretória, África do Sul		
Tunis, Tunísia		
Tamanrasset, Argélia		
Região IV	Região V	Região VI
Toronto, Canadá	Aspendale, Austrália	Davos ( Suíça)
Washington, EUA		Kew, Grã-Betanha e Irlanda do Norte
		Leningrado, URSS
		Estocolmo, Suécia
		Uccle, Bélgica

**Referências**

- (1) WOOD, B.D. Solar Energy Measuring Equipment. Solar Energy Engineering, Editado por Sayigh, A.A.M., New York, USA, Academic Press, 1977.
- (2) Guide to Meteorological Instrumentation and Observing Practices. Genebra, Suíça, Secretariado da Organização de Meteorologia, 4ª Edição, 1971.
- (3) ATIENZA, G. G. Instrumentación Solarimétrica. Argentina, Centro de Investigaciones de Recursos Naturales - Instituto de Clima y Agua, 1993.
- (4) ESTEVES, A. and de ROSA, C. A Simple Method for Correcting the Solar Radiation Readings of Robtzh - Type Pyranometer. Solar Energy, v. 42, n. 1, 1989.
- (5) MICHALSKY, J.J.; HARRISON, L. and LE BARON, B. Empirical Radiometric Correction of a Silicon Photodiode Rotating Shadowband Pyranometer. Solar Energy, v. 39, n. 2, 1987.
- (6) GALLEGOS, H.G.; ATIENZA, G. y GARCIA, M. Cartas de Radiación Solar Global Diária para la Región Meridional da América del Sur. Anais do II Congresso Interamericano de Meteorologia e V Congresso Argentino de Meteorologia, Buenos Aires/Argentina, 1987.
- (7) LYRA, F.; FRAIDENRAICH, N. e TIBA, C. Solarimetria no Brasil - Situação e Propostas. Recife-PE/Brasil, relatório para o Grupo de Trabalho em Energia Solar Fotovoltaica, 1993.
- (8) DRUMMOND, A.J. The Calibration of Thermal Radiation Detectors. The Eppley Lab. Reprint Ser. nº 35, 1967. TARPLEY, J.D. Estimating Incident Solar Radiation at the Surface from Geostationary Satellite Data. J. Appl. Meteor., v. 18, 1979.
- (9) TARPLEY, J.D. Estimating Incident Solar Radiation at the Surface from Geostationary Satellite Data. J. Appl. Meteor., v. 18, 1979.
- (10) GAUTIER, C.; DIAK, G. and MASSE, S. A Simple Physical Model to Estimate Incident Solar Radiation at the Earth Surface from GOES Satellite Data. J. Appl. Meteor., v. 19, 1980.
- (11) FAIMAN, D.; FEUERMANN, D. and ZEMEL, A. Accurate Field Calibration of Pyranometers. Solar Energy, v. 46 n. 6, 1992.
- (12) Shining-On - A Primer on Solar Radiation Data. Colorado/USA, National Renewable Energy Laboratory, 1992.



**M**apas de  
*Isolinhas de  
Radiação Solar.*





# Localização das Estações

## CARTA 3.1

Localização das Estações Piranométricas e Actinográficas cujas informações foram utilizadas para elaboração das Cartas de Isolinhas de radiação solar global diária, médias mensais e anual.



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

## LEGENDA

-  Estações Piranométricas
-  Estações Actinográficas

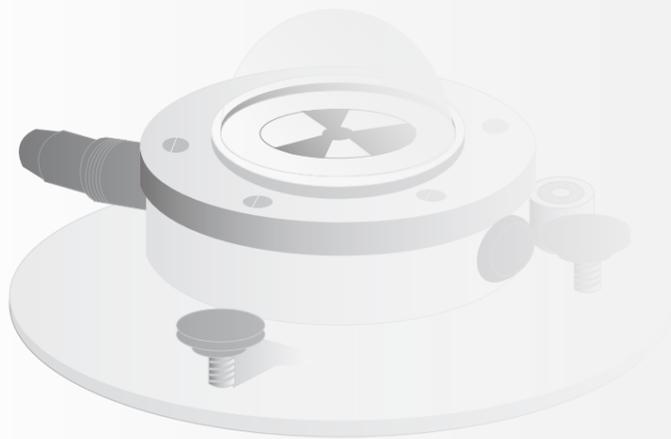




# Janeiro

## CARTA 3.2

Radiação solar global diária, média mensal  
( MJ/ m<sup>2</sup>. dia )



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

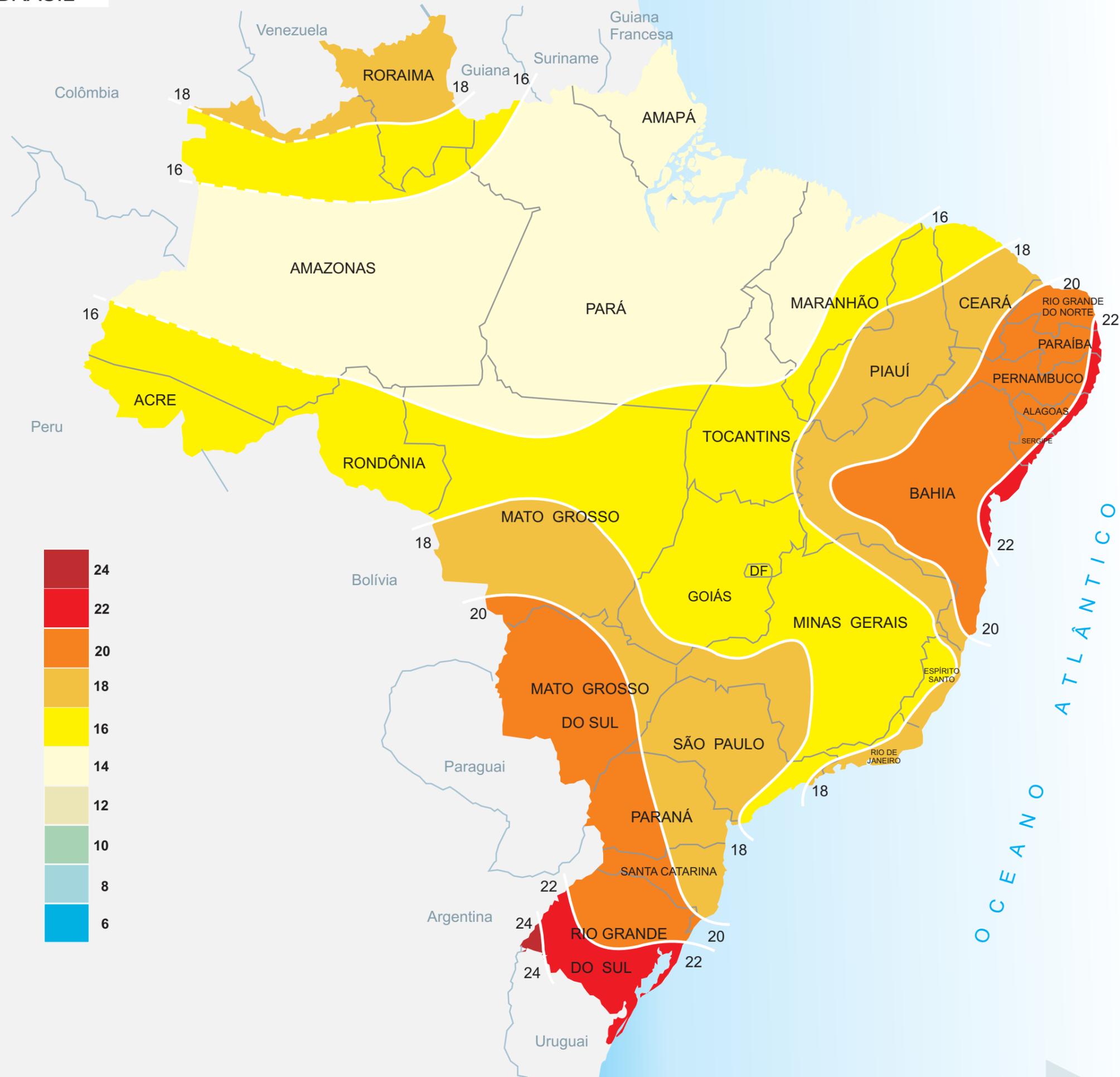
CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

150 75 0 150 300 450 600 km

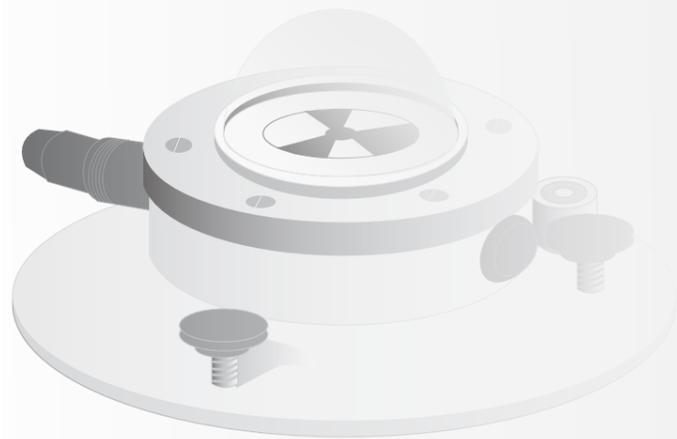




# Fevereiro

**CARTA 3.3**

Radiação solar global diária, média mensal  
( MJ/ m<sup>2</sup>. dia )



Coordenador do Projeto  
**Chiqueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chiqueru Tiba / Naum Fraidenraich**

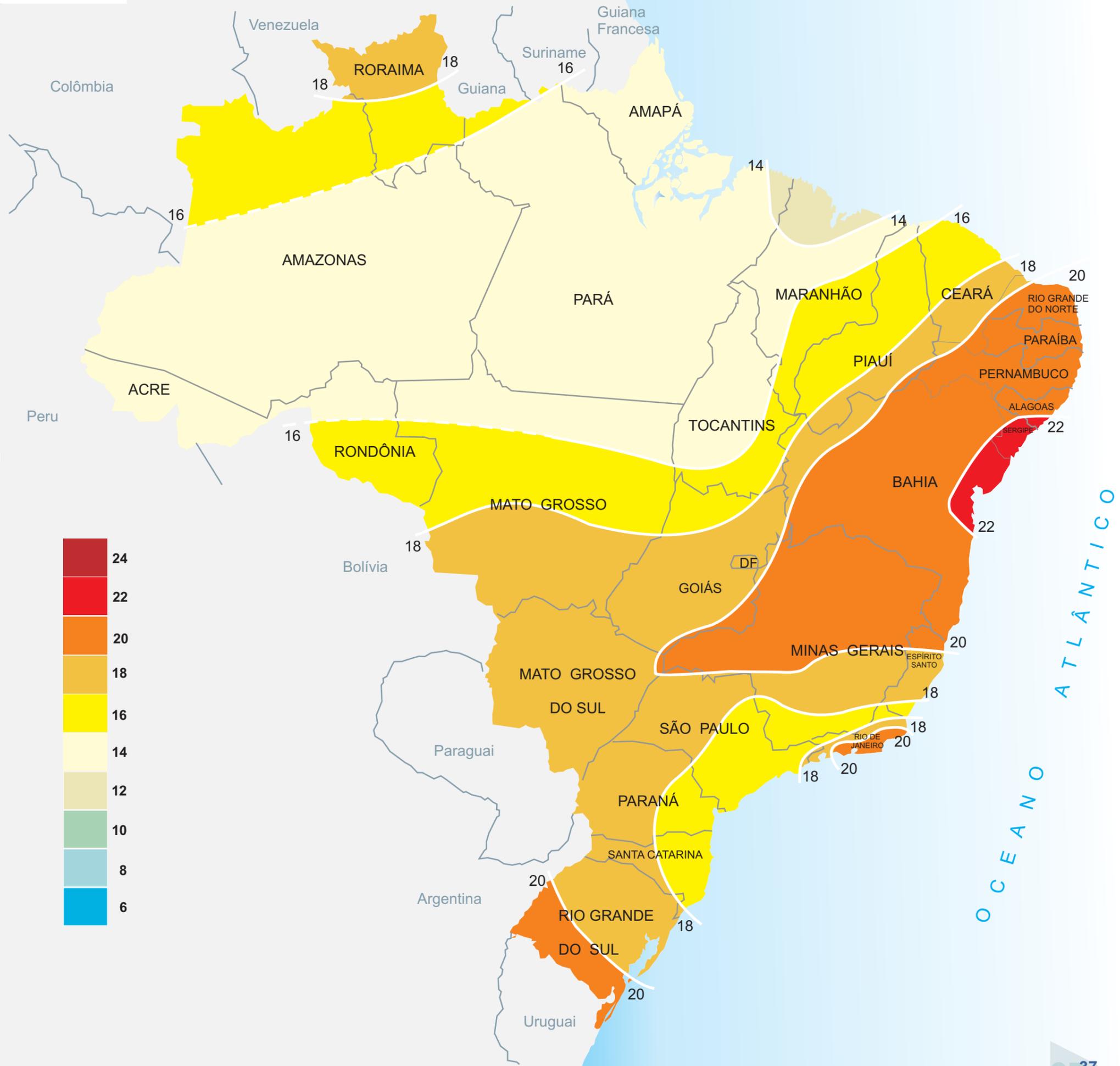
CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

150 75 0 150 300 450 600 km

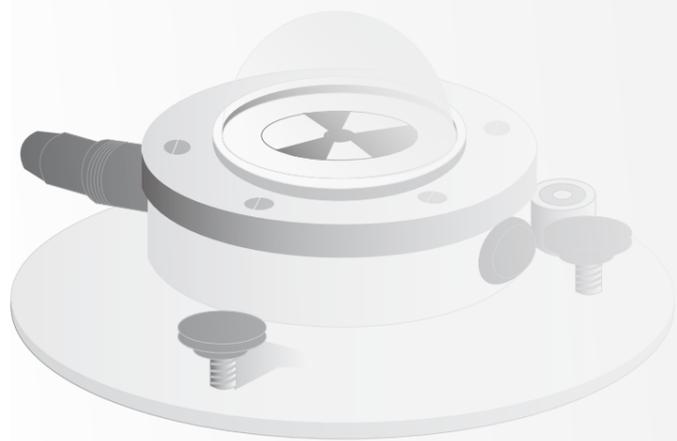




# Março

**CARTA 3.4**

Radiação solar global diária, média mensal  
( MJ/ m<sup>2</sup>. dia )



Coordenador do Projeto  
**Chiqueru Tiba**

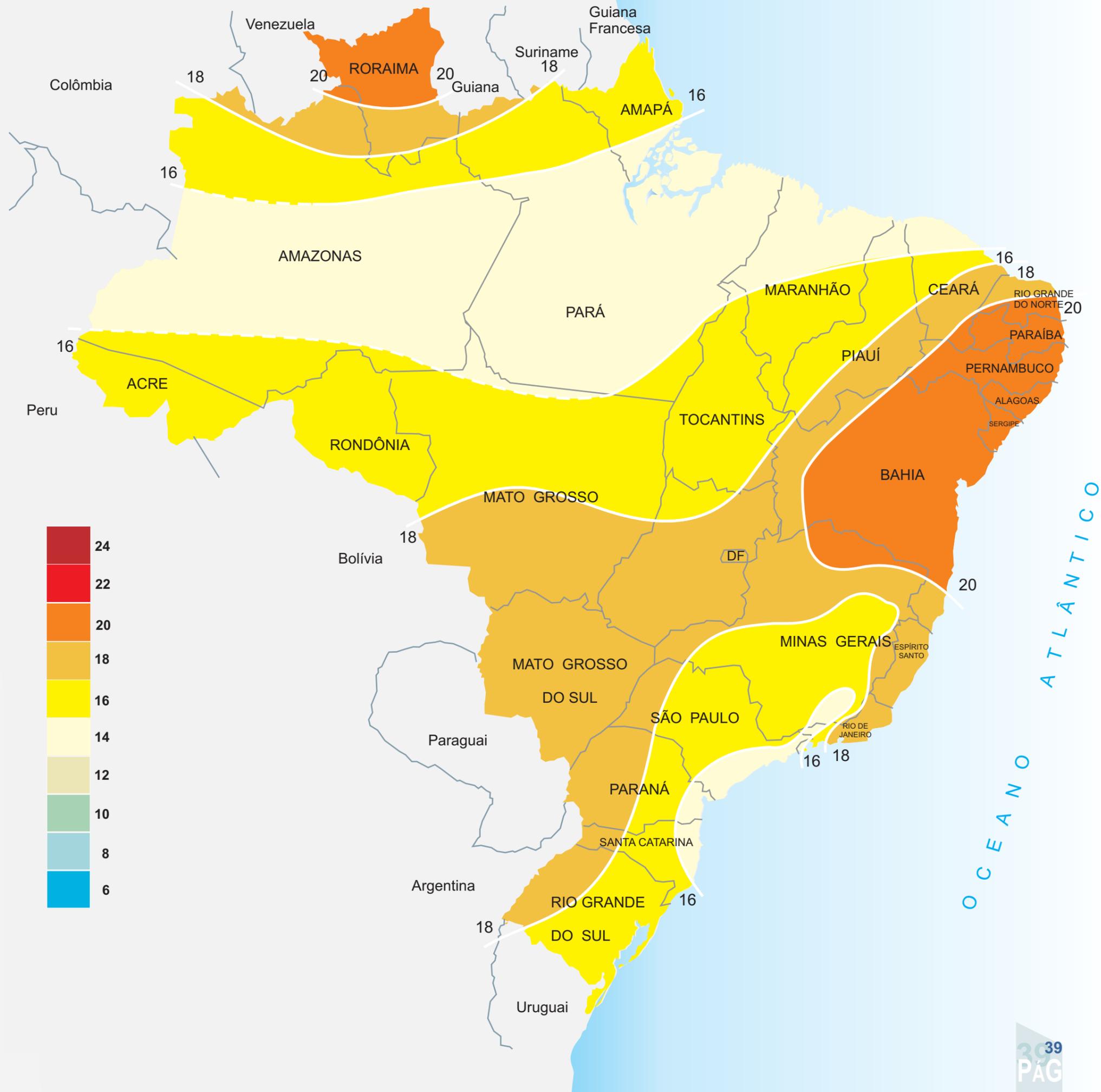
GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chiqueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

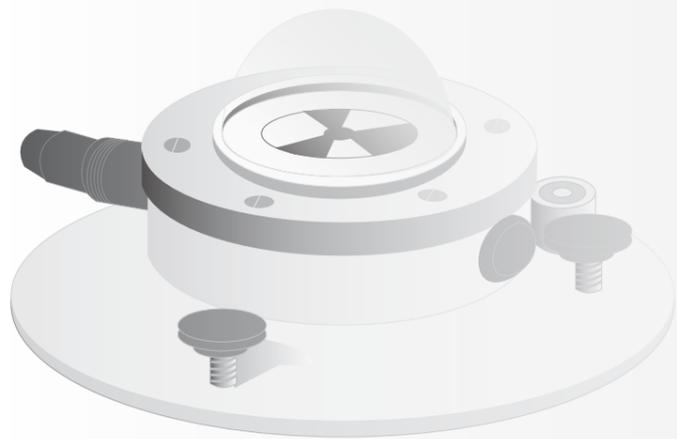




# Abril

## CARTA 3.5

Radiação solar global diária, média mensal  
( MJ/ m<sup>2</sup>. dia )



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

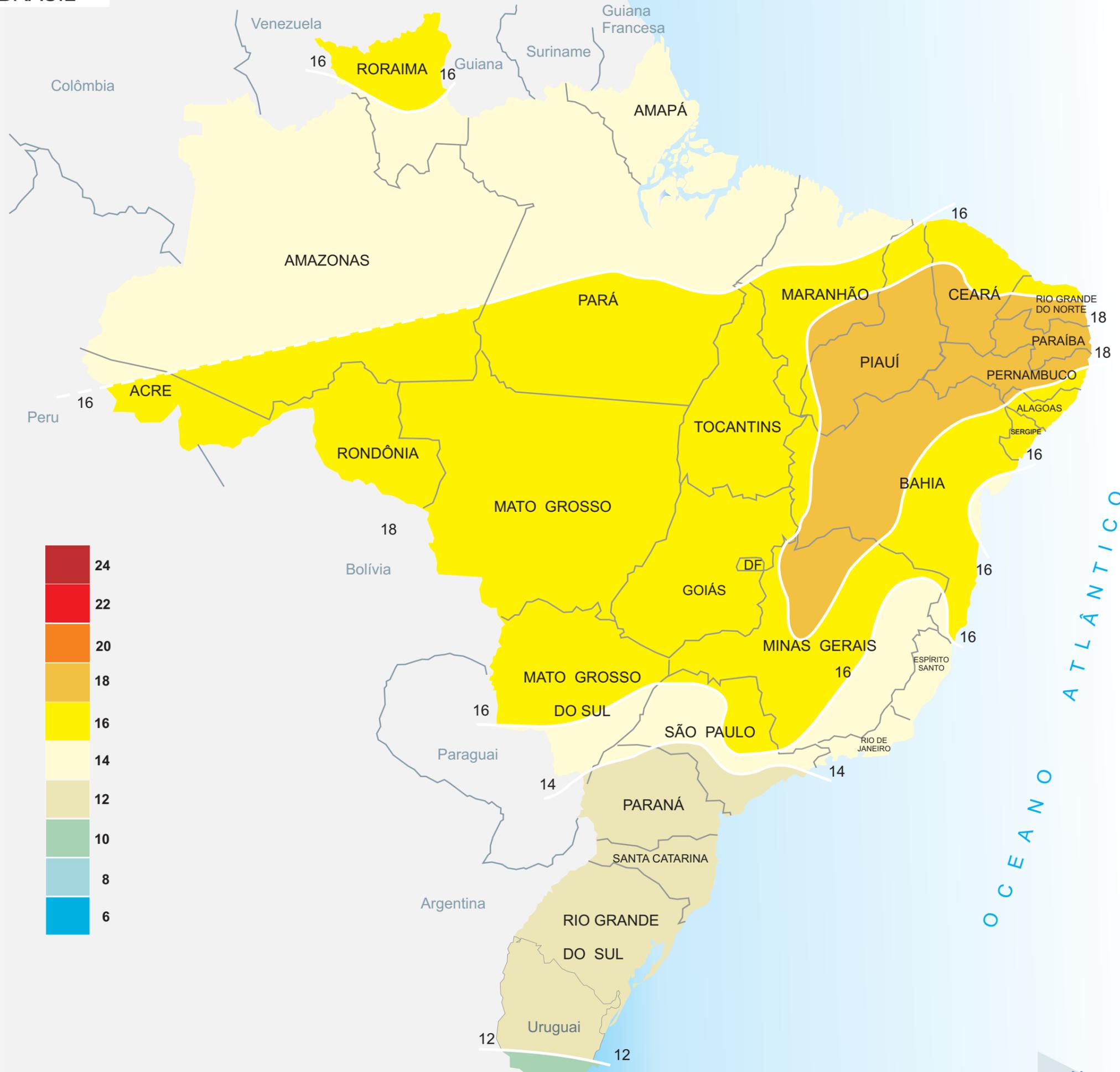
CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

### ESCALA GRÁFICA

150 75 0 150 300 450 600 km

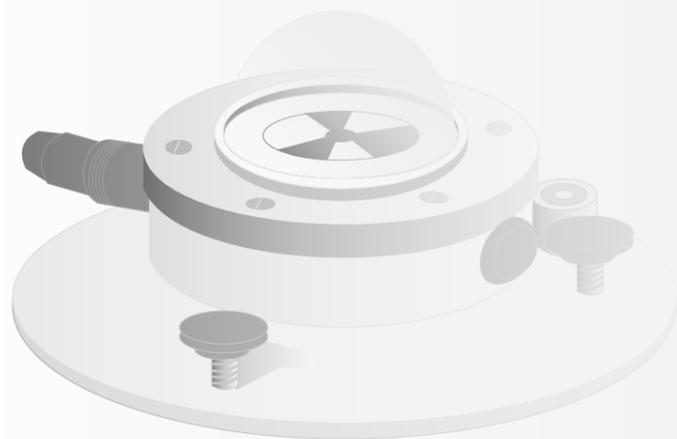




# Maio

**CARTA 3.6**

Radiação solar global diária, média mensal  
( MJ/ m<sup>2</sup>. dia )



Coordenador do Projeto  
**Chiqueru Tiba**

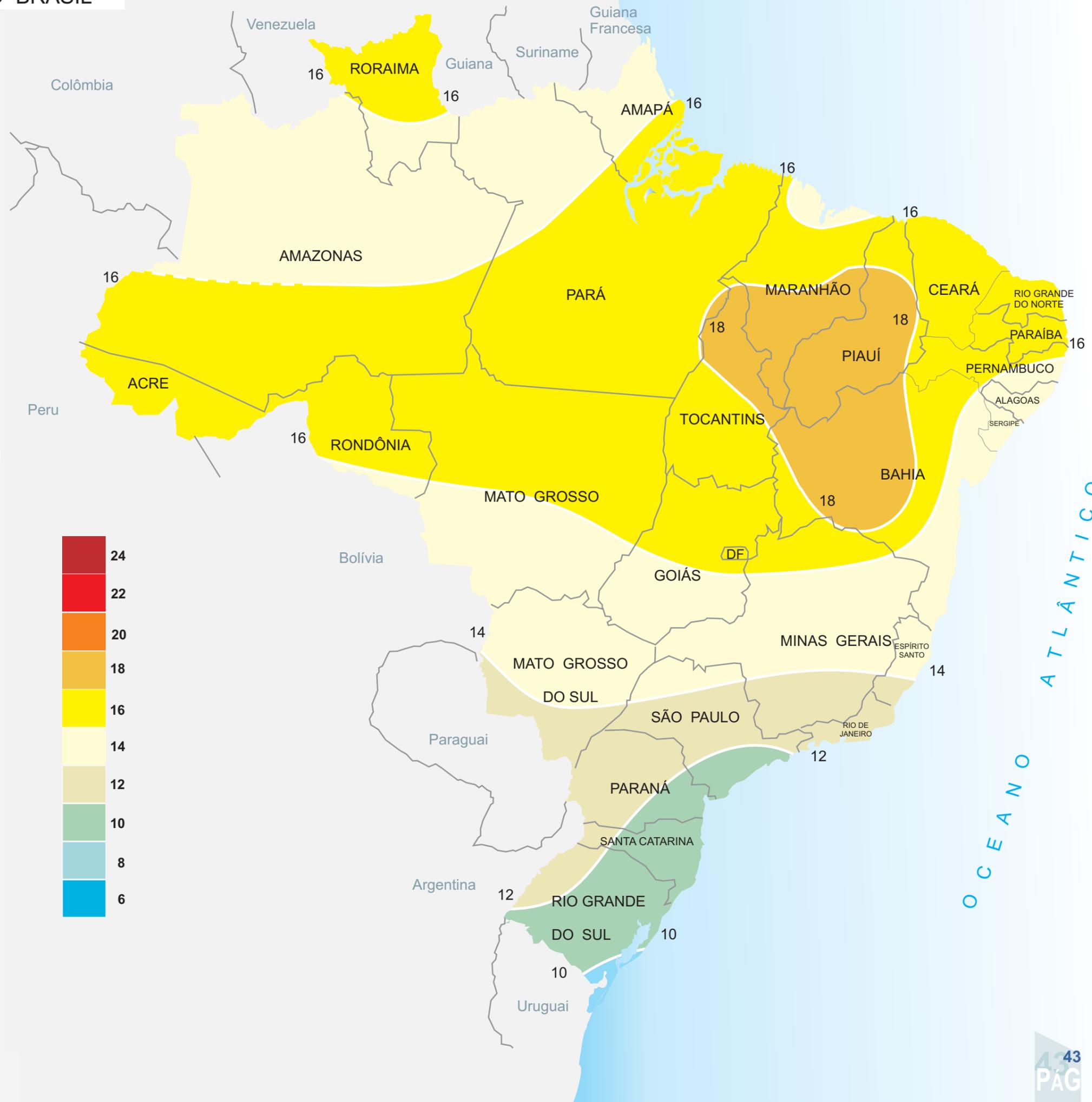
GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chiqueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

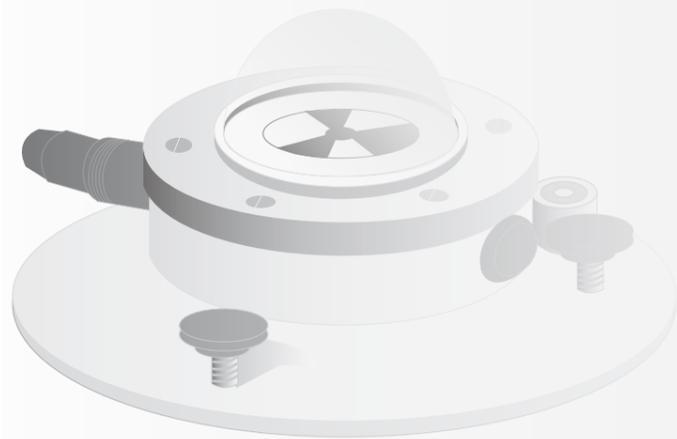




# Junho

## CARTA 3.7

Radiação solar global diária, média mensal  
( MJ/ m<sup>2</sup>. dia )



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

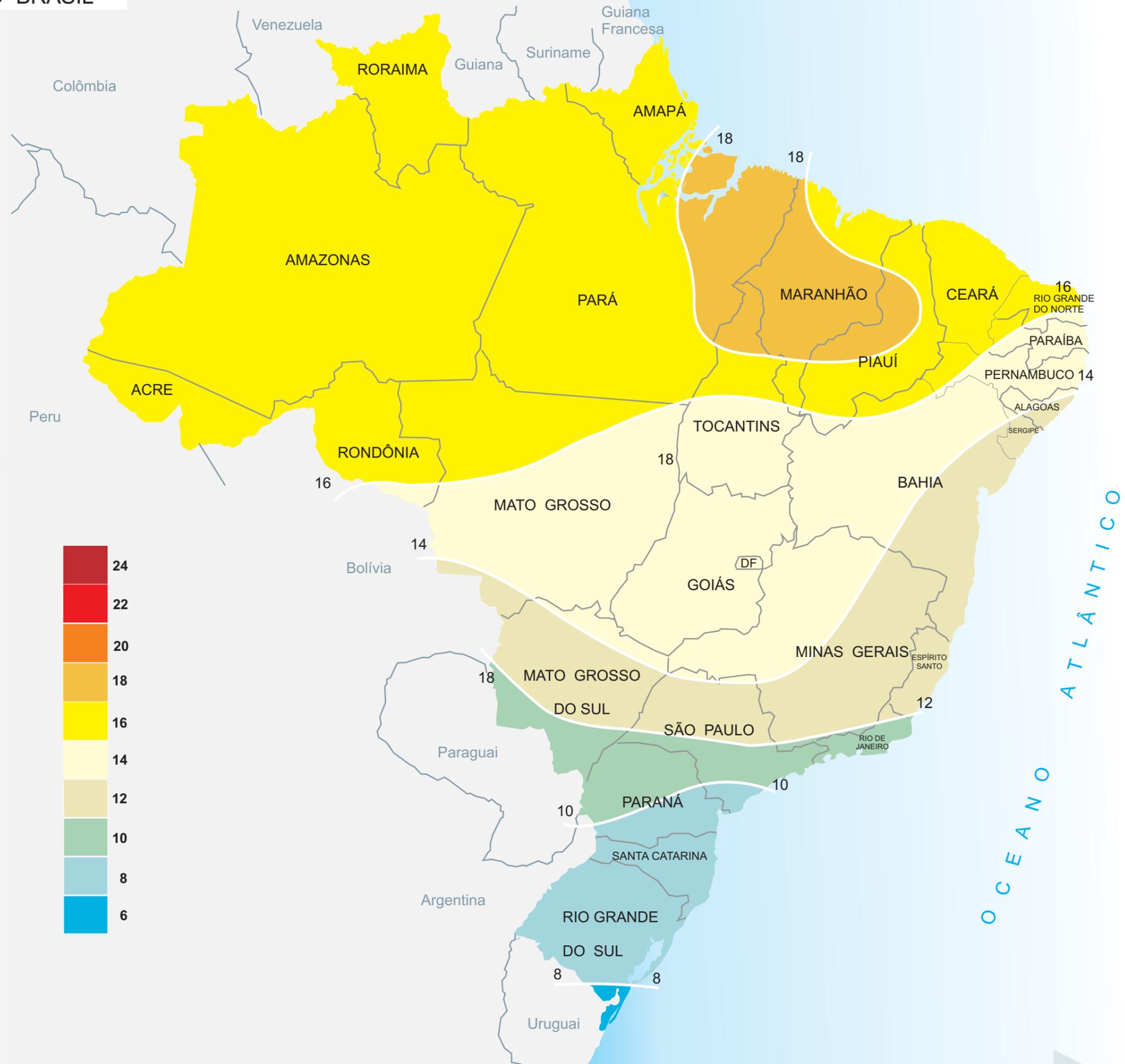
CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

150 75 0 150 300 450 600 km

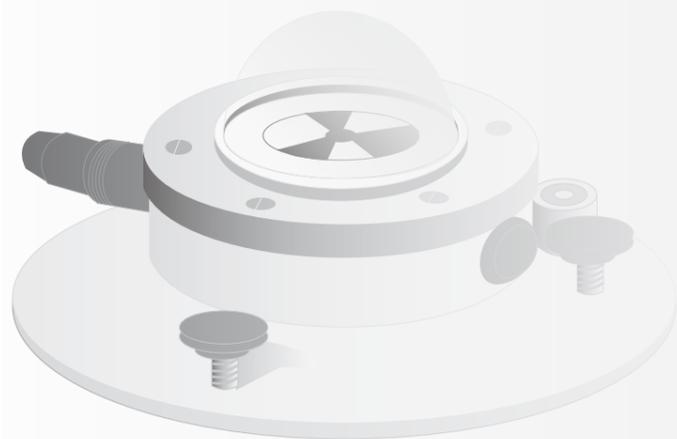




# Julho

## CARTA 3.8

Radiação solar global diária, média mensal  
( MJ/ m<sup>2</sup>. dia )



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

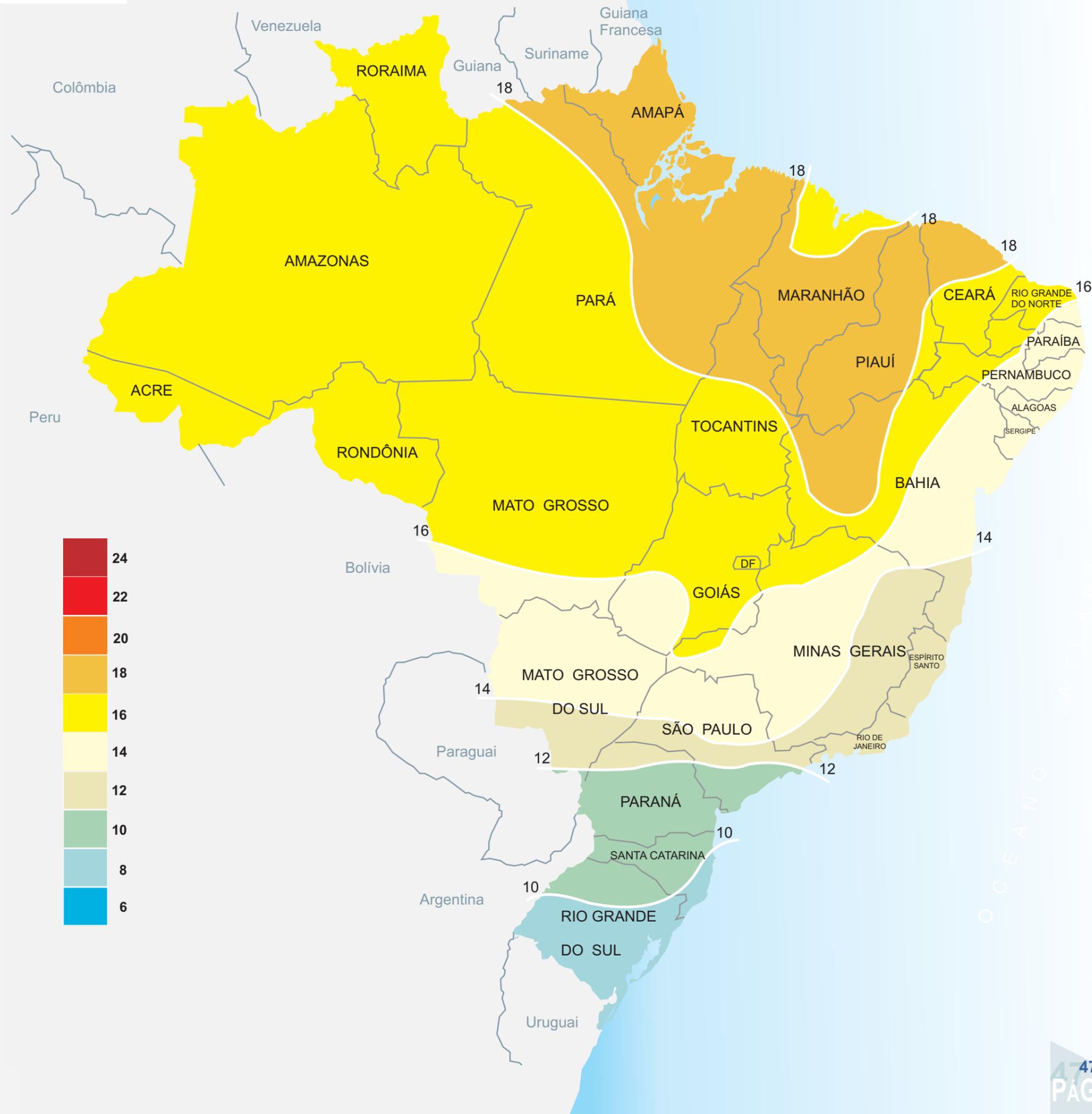
CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

### ESCALA GRÁFICA

150 75 0 150 300 450 600 km

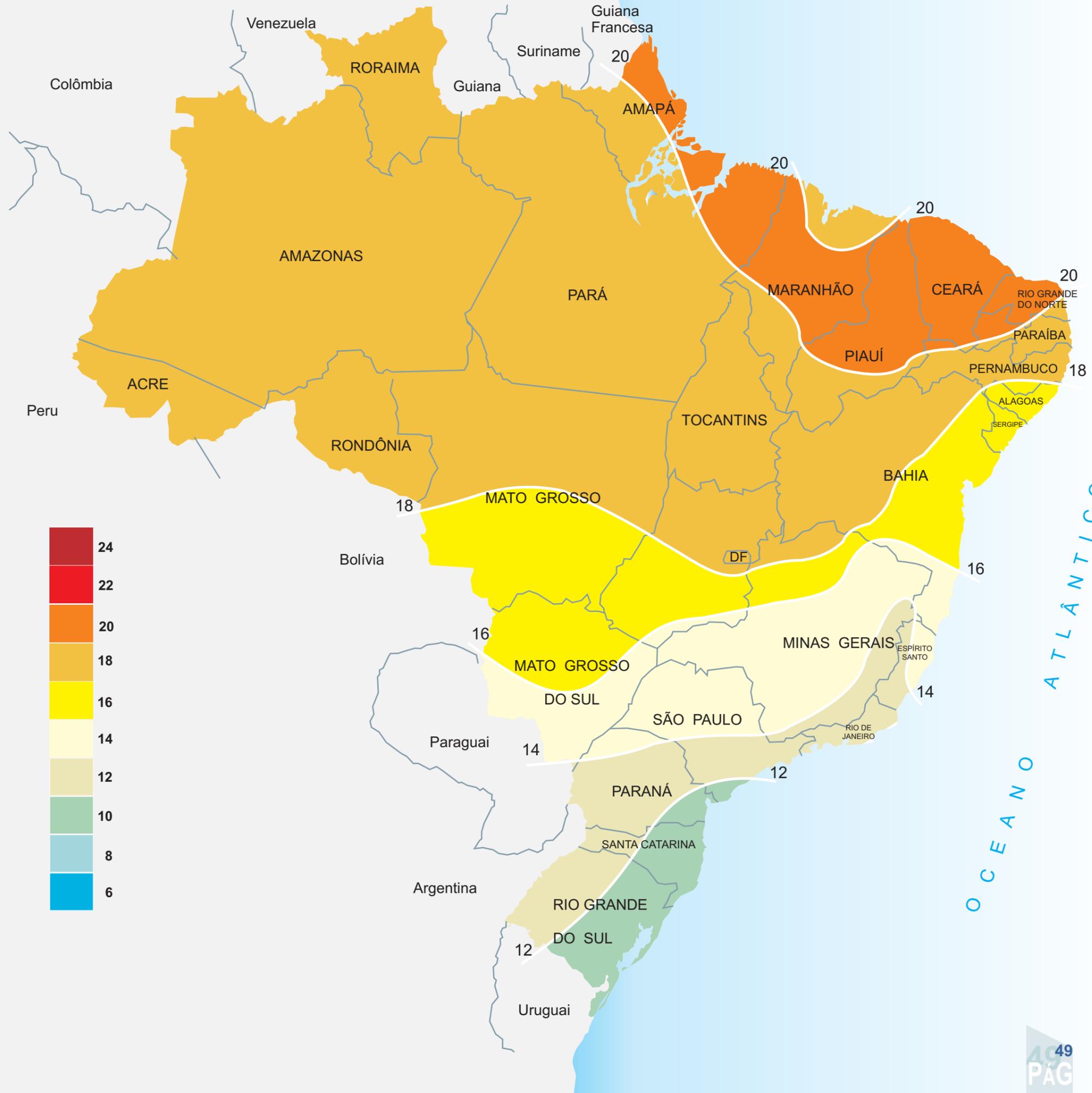
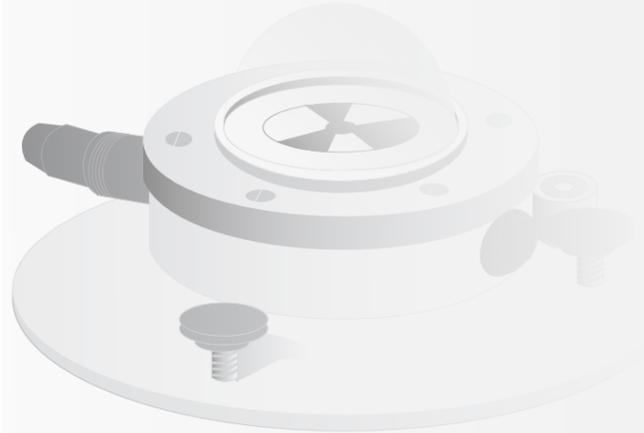




# Agosto

**CARTA 3.9**

Radiação solar global diária, média mensal  
( MJ/ m<sup>2</sup>. dia )



Coordenador do Projeto  
**Chiqueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chiqueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

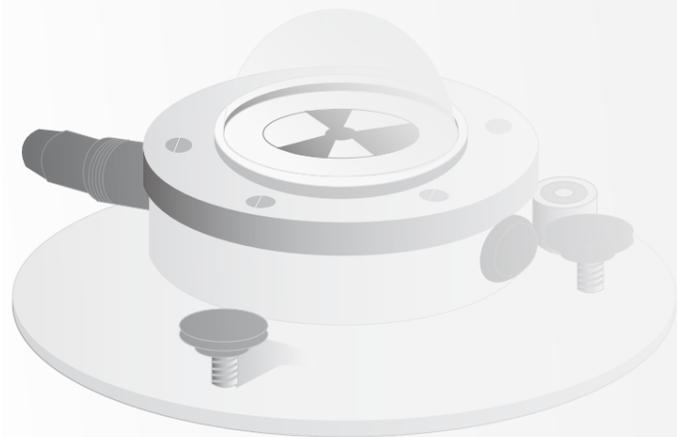
150 75 0 150 300 450 600 km



# Setembro

**CARTA 3.10**

Radiação solar global diária, média mensal  
( MJ/ m<sup>2</sup>. dia )



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

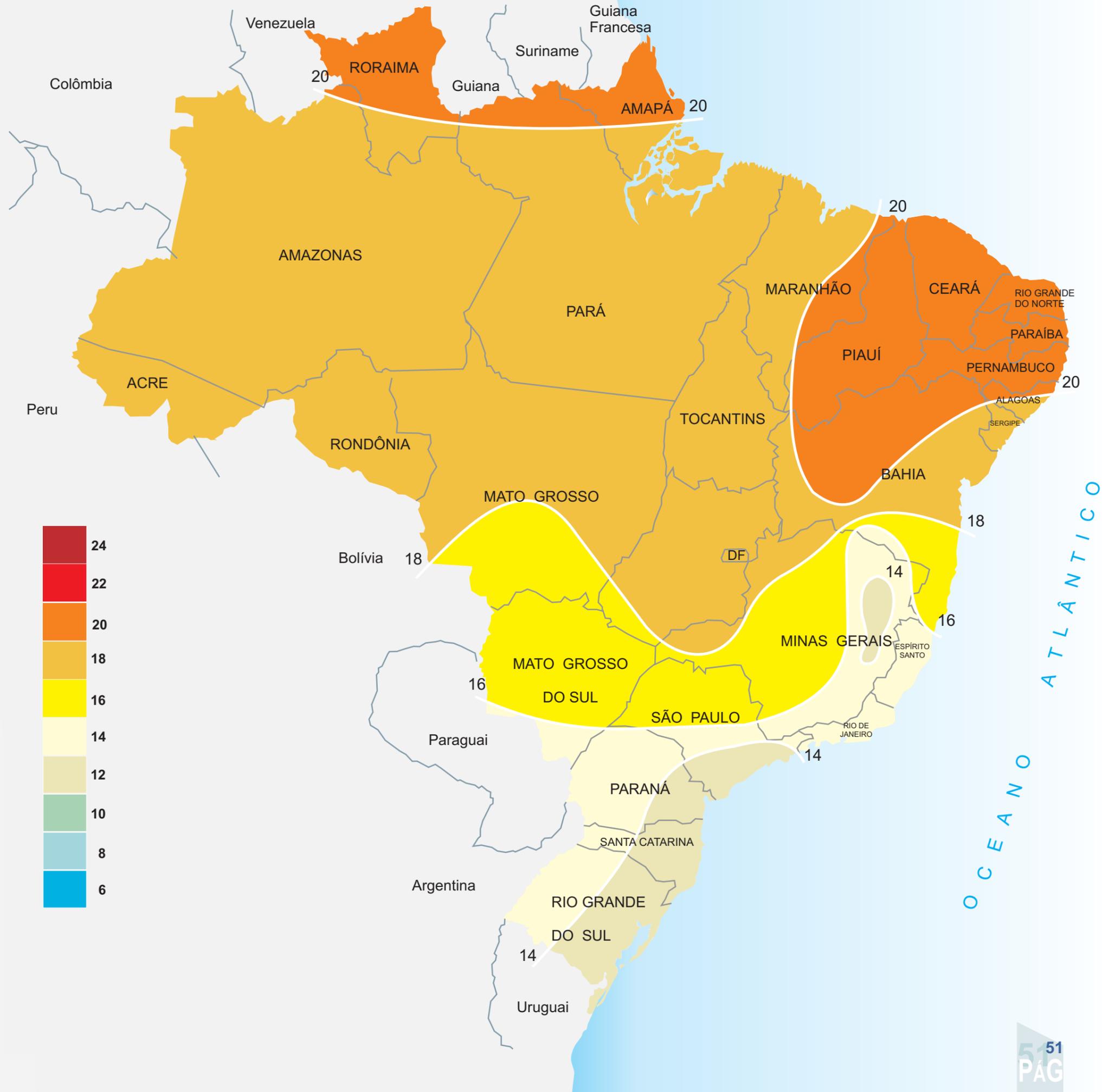
GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

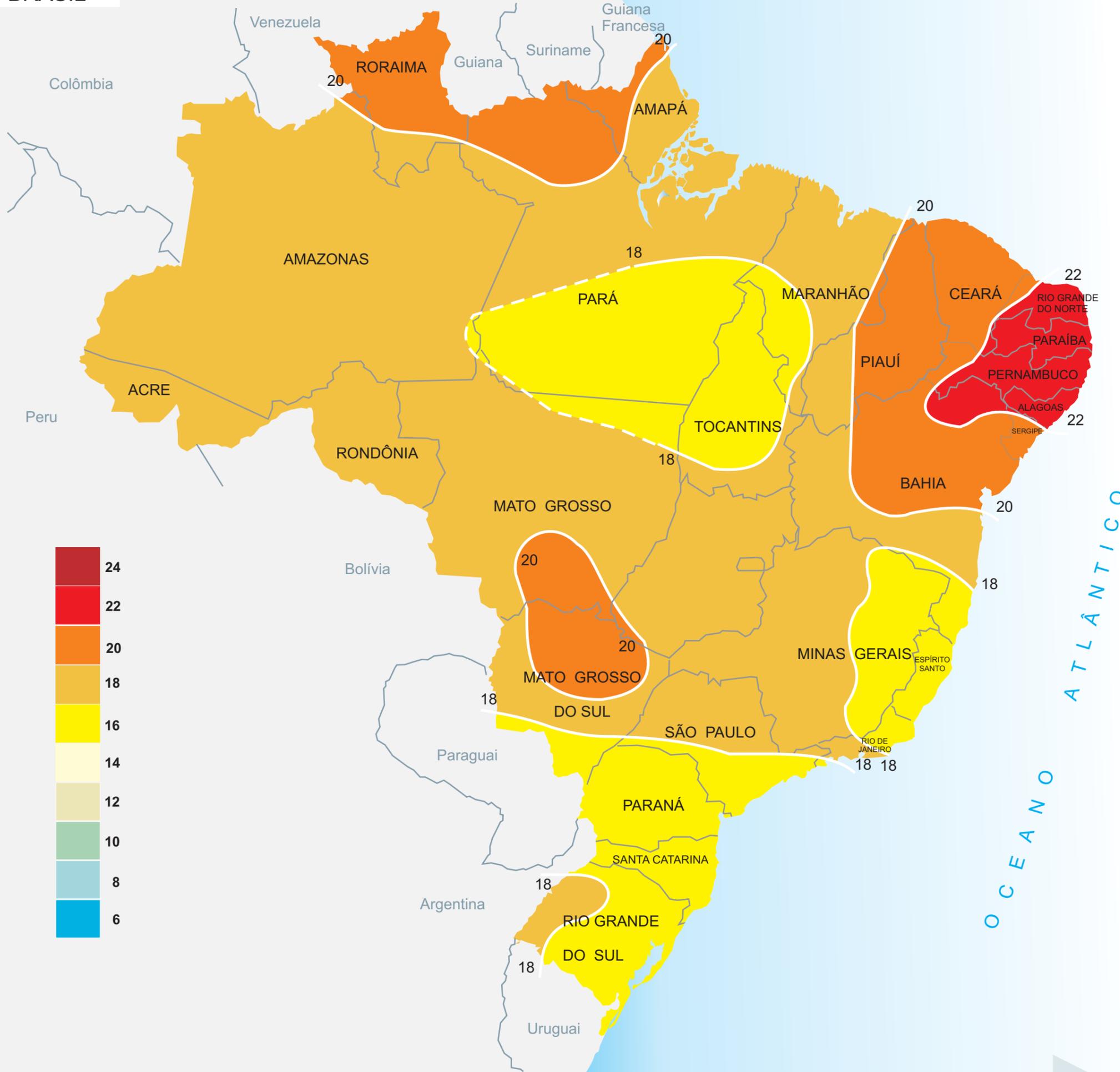
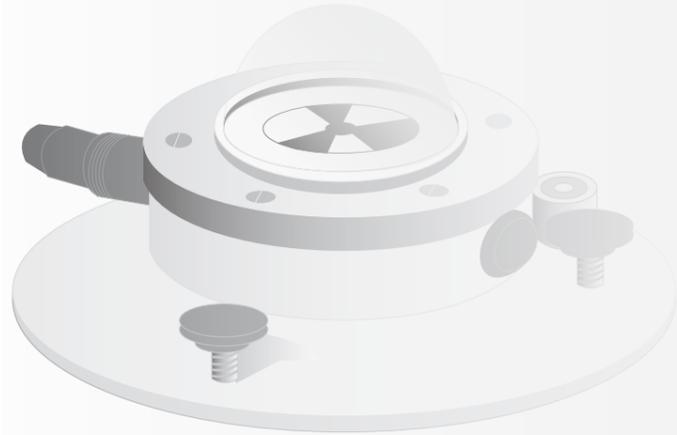




# Outubro

**CARTA 3.11**

Radiação solar global diária, média mensal  
( MJ/ m<sup>2</sup>. dia )



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

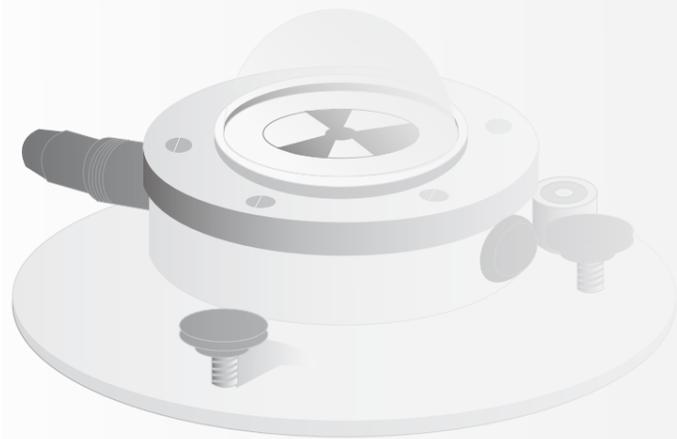




# Novembro

**CARTA 3.12**

Radiação solar global diária, média mensal  
( MJ/ m<sup>2</sup>. dia )



Coordenador do Projeto  
**Chiqueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chiqueru Tiba / Naum Fraidenraich**

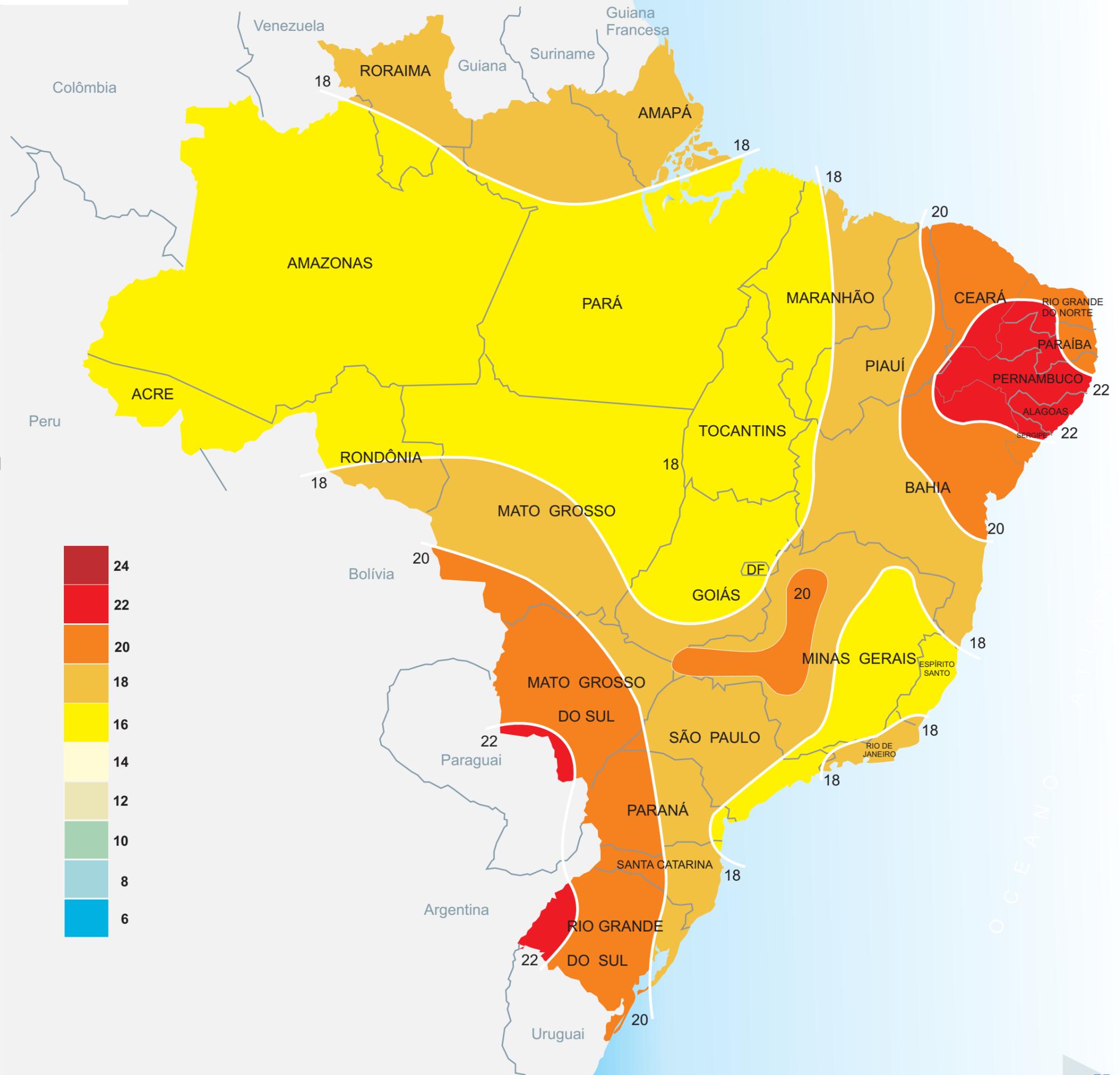
CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

150 75 0 150 300 450 600 km



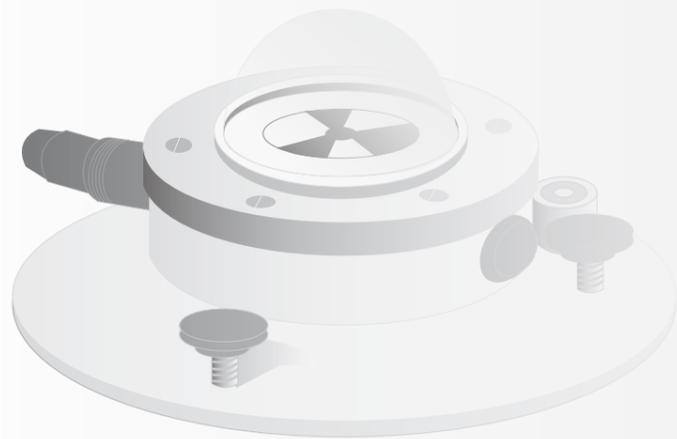
OCEANO ATLÂNTICO



# Dezembro

**CARTA 3.13**

Radiação solar global diária, média mensal  
( MJ/ m<sup>2</sup>. dia )



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

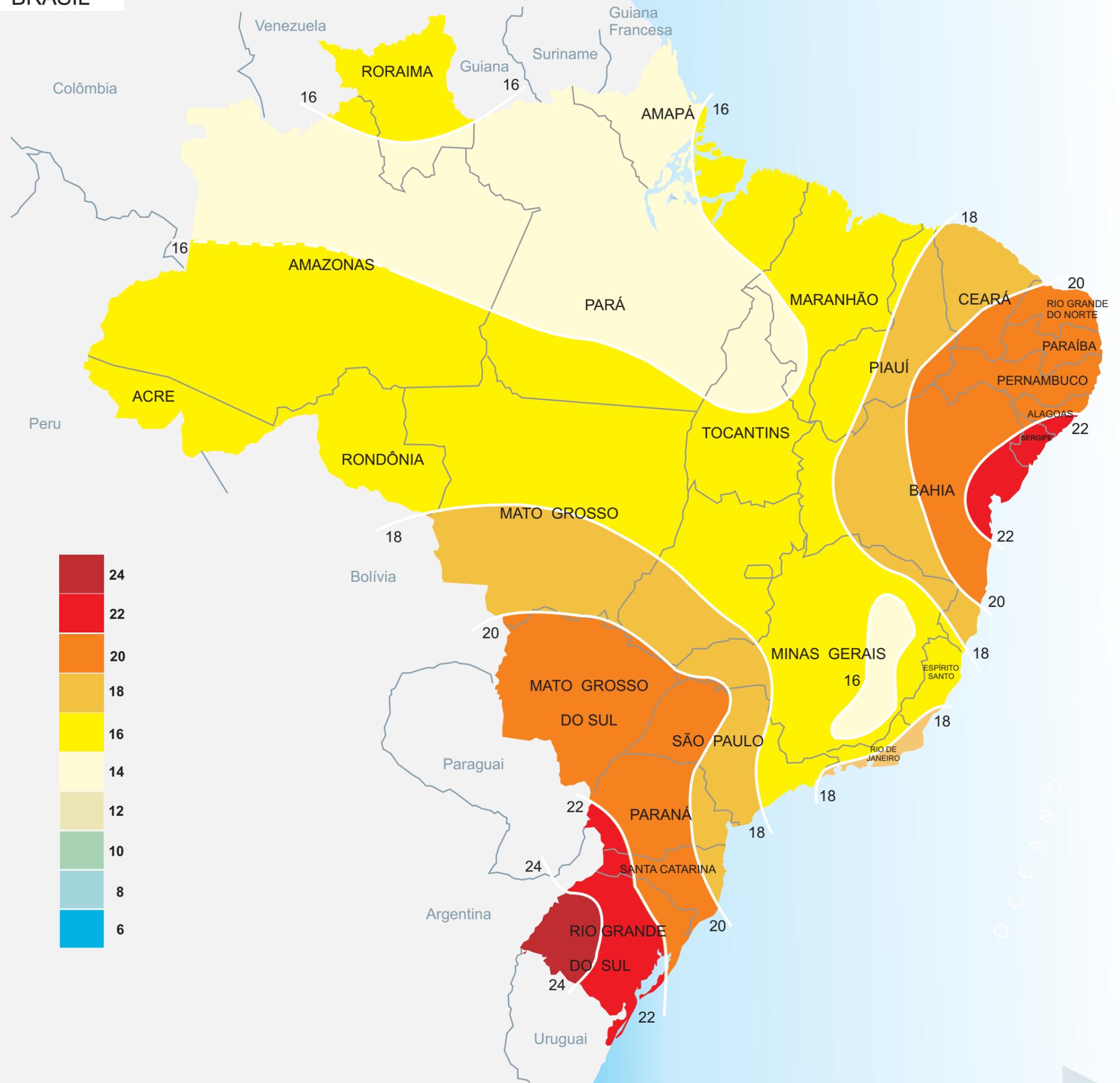
GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

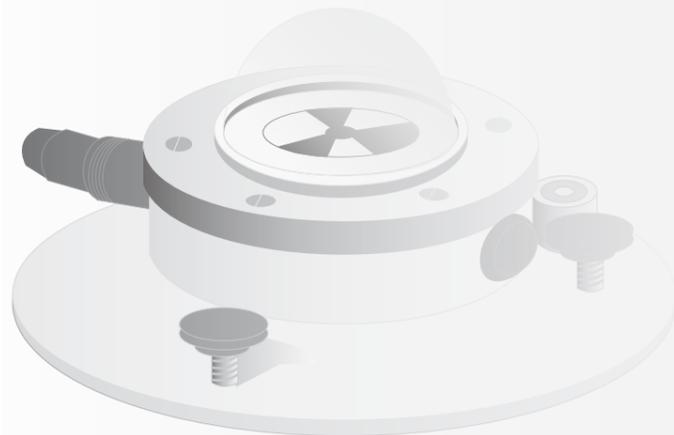




# Annual

**CARTA 3.14**

Radiação solar global diária, média anual  
( MJ/ m<sup>2</sup>. dia )



Coordenador do Projeto  
**Chiqueru Tiba**

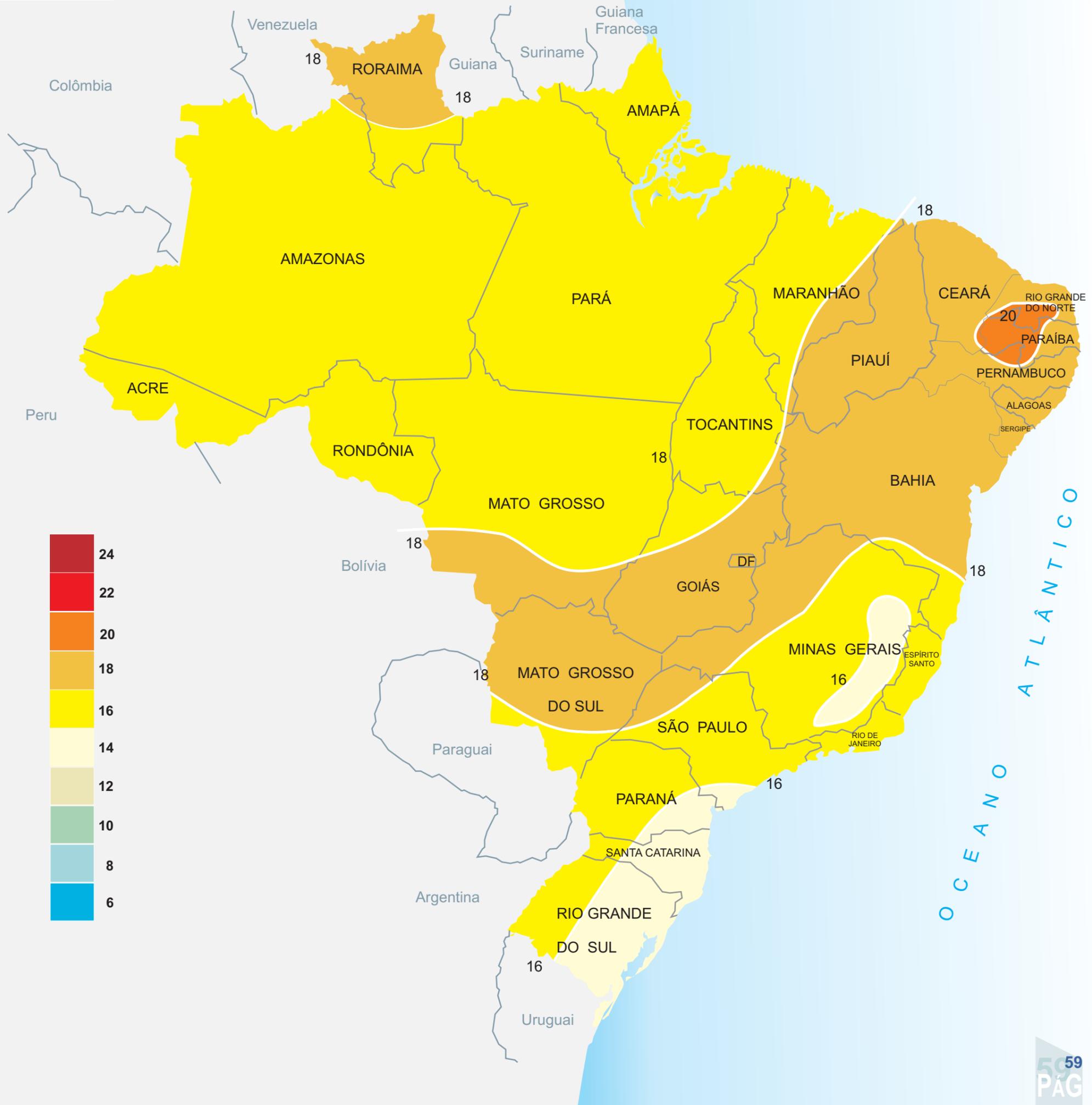
GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chiqueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

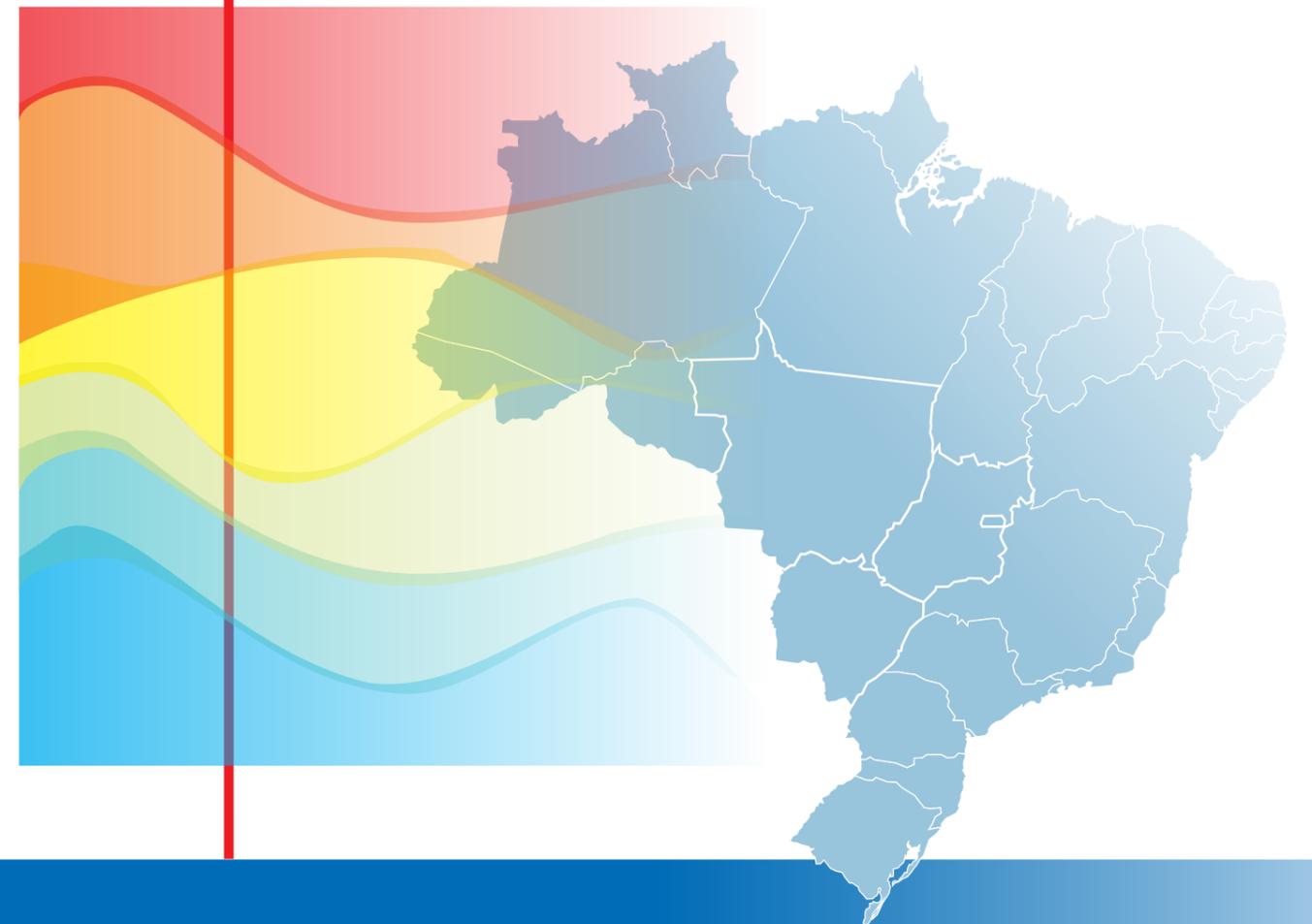
Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA





**M**apas de  
*Isolinhas de  
Insolação.*





# Localização das Estações

**CARTA 4.1**

Localização das Estações Heliográficas cujas informações foram utilizadas para elaboração das Cartas de Isolinhas de insolação diária, médias mensais e anual.



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA





# Janeiro

## CARTA 4.2

Insolação Diária, Média Mensal ( horas)



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

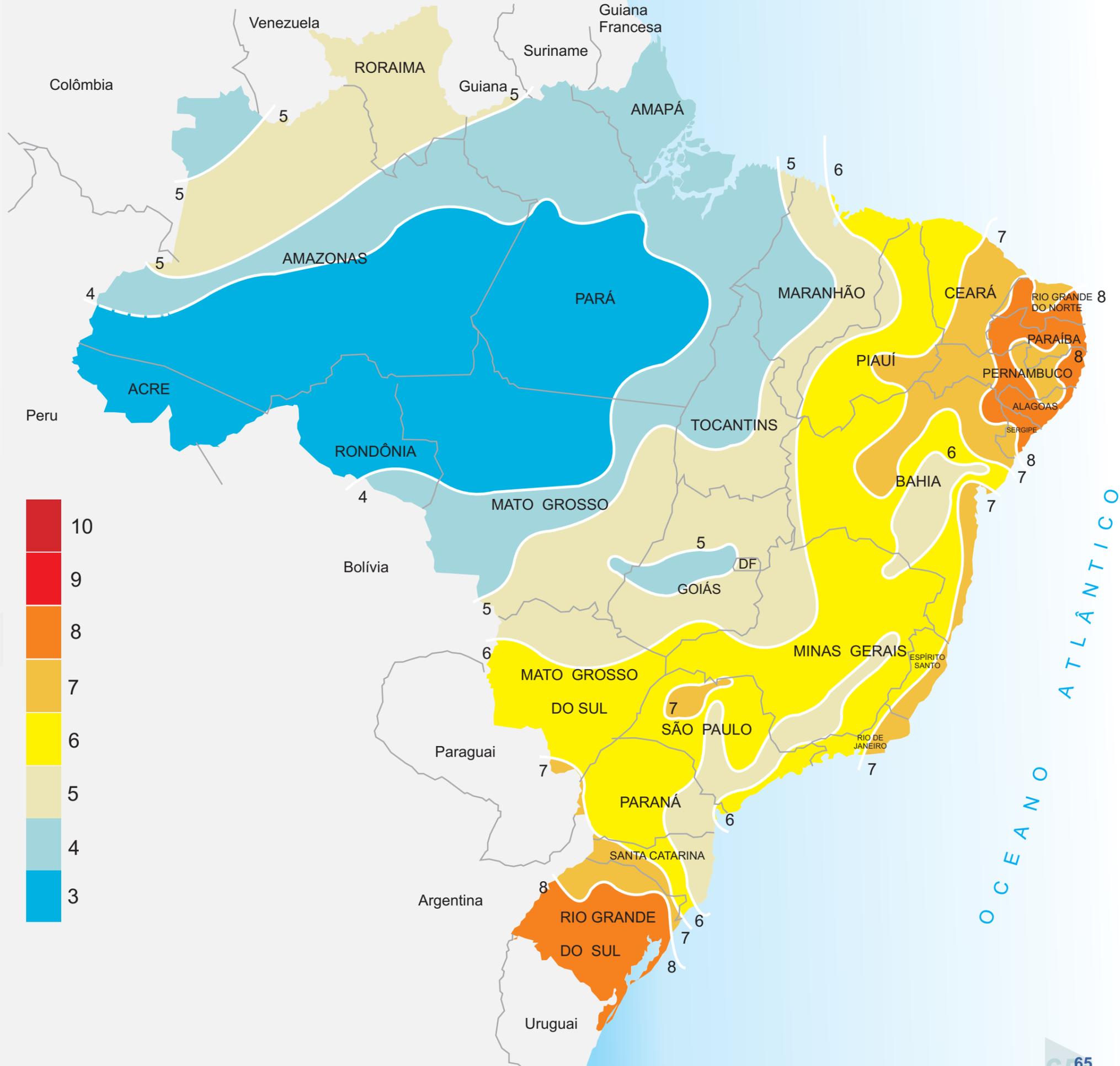
CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

### ESCALA GRÁFICA

150 75 0 150 300 450 600 km





# Fevereiro

## CARTA 4.3

Insolação Diária, Média Mensal ( horas )



Coordenador do Projeto  
**Chiqueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chiqueru Tiba / Naum Fraidenraich**

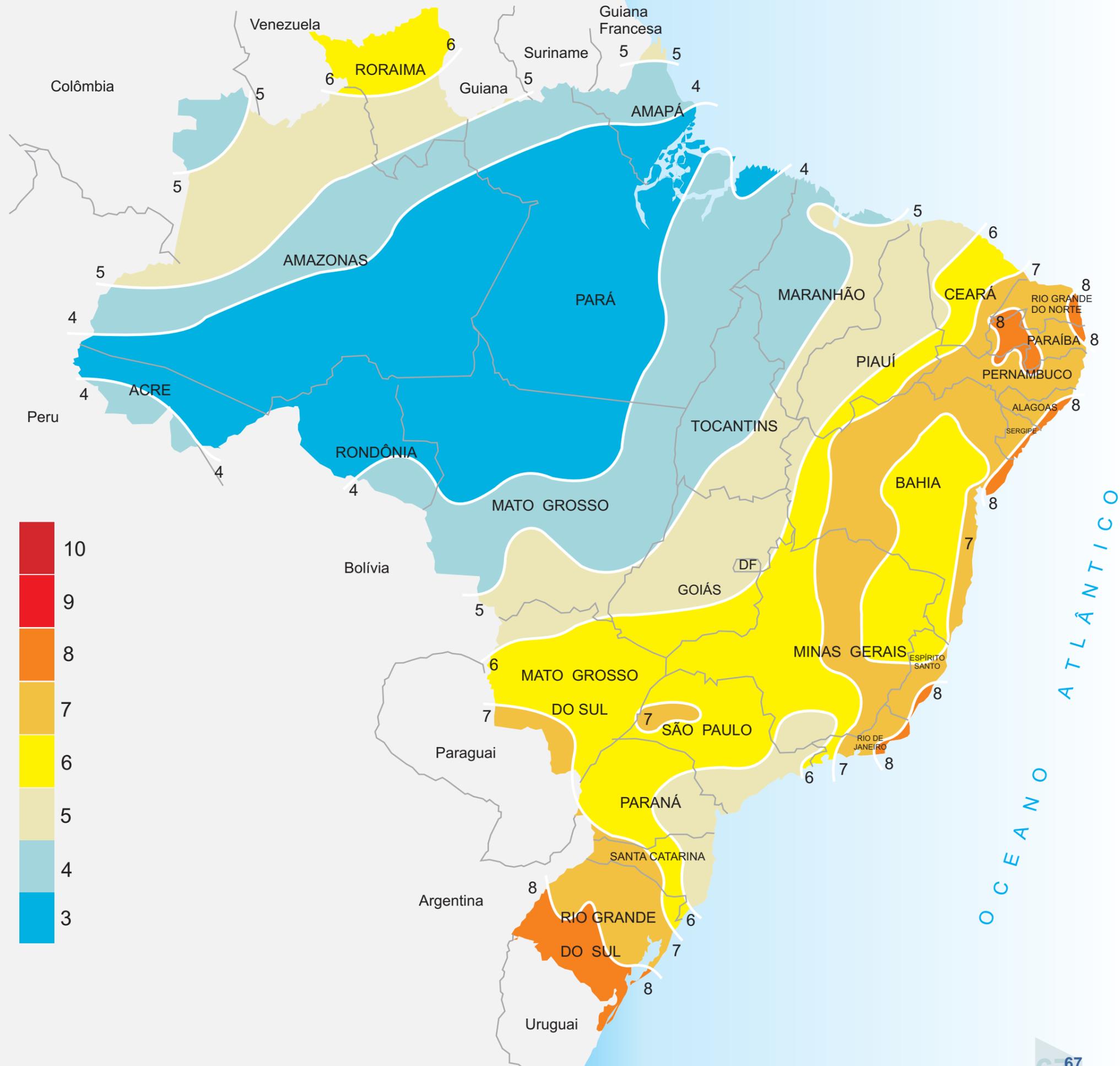
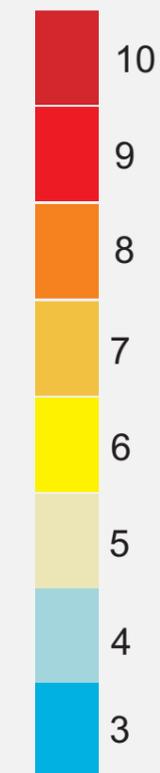
CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

150 75 0 150 300 450 600 km



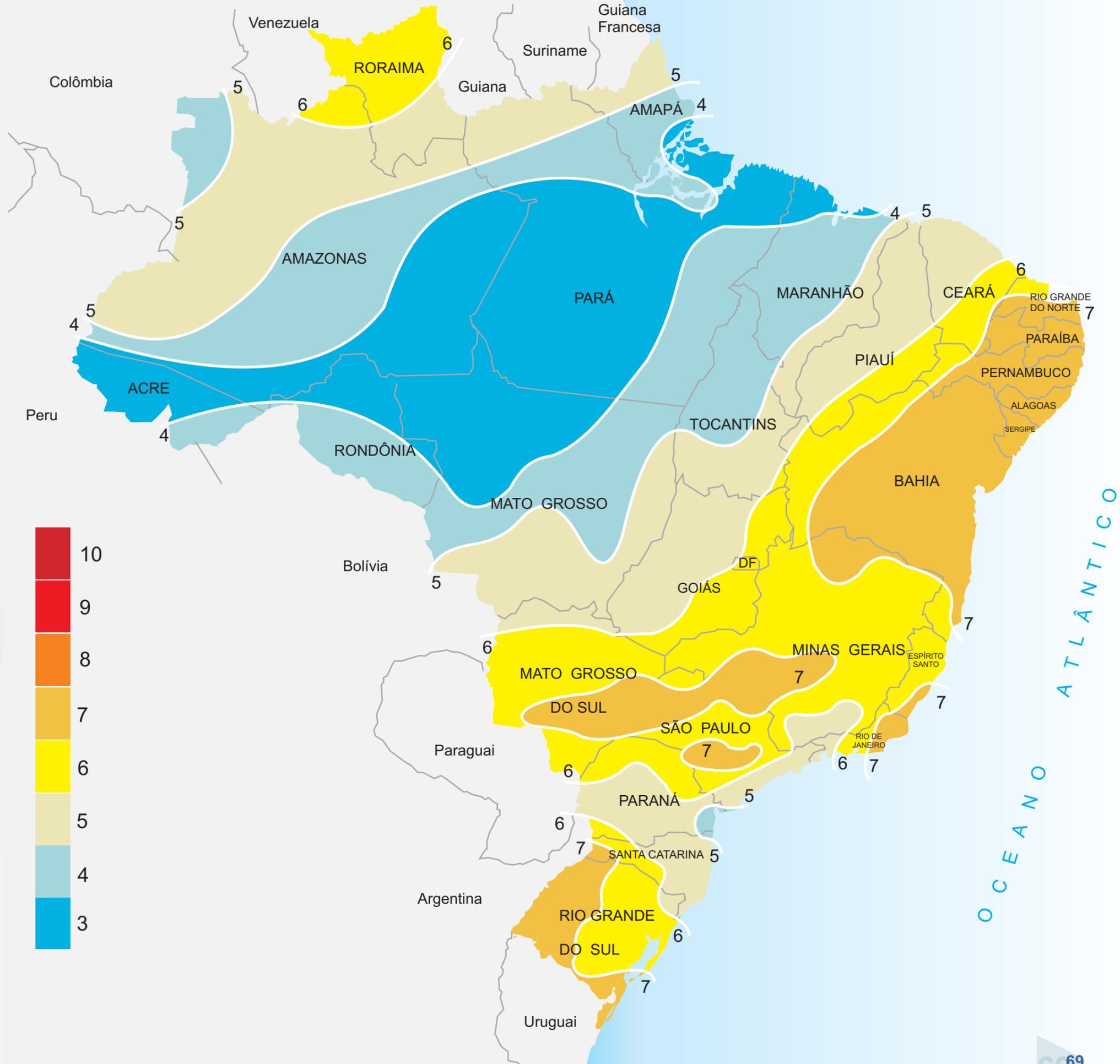




# Março

**CARTA 4.4**

Insolação Diária, Média Mensal  
( horas)



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

150 75 0 150 300 450 600 km

OCEANO ATLÂNTICO



# Abril

**CARTA 4.5**  
Insolação Diária, Média Mensal  
( horas)



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

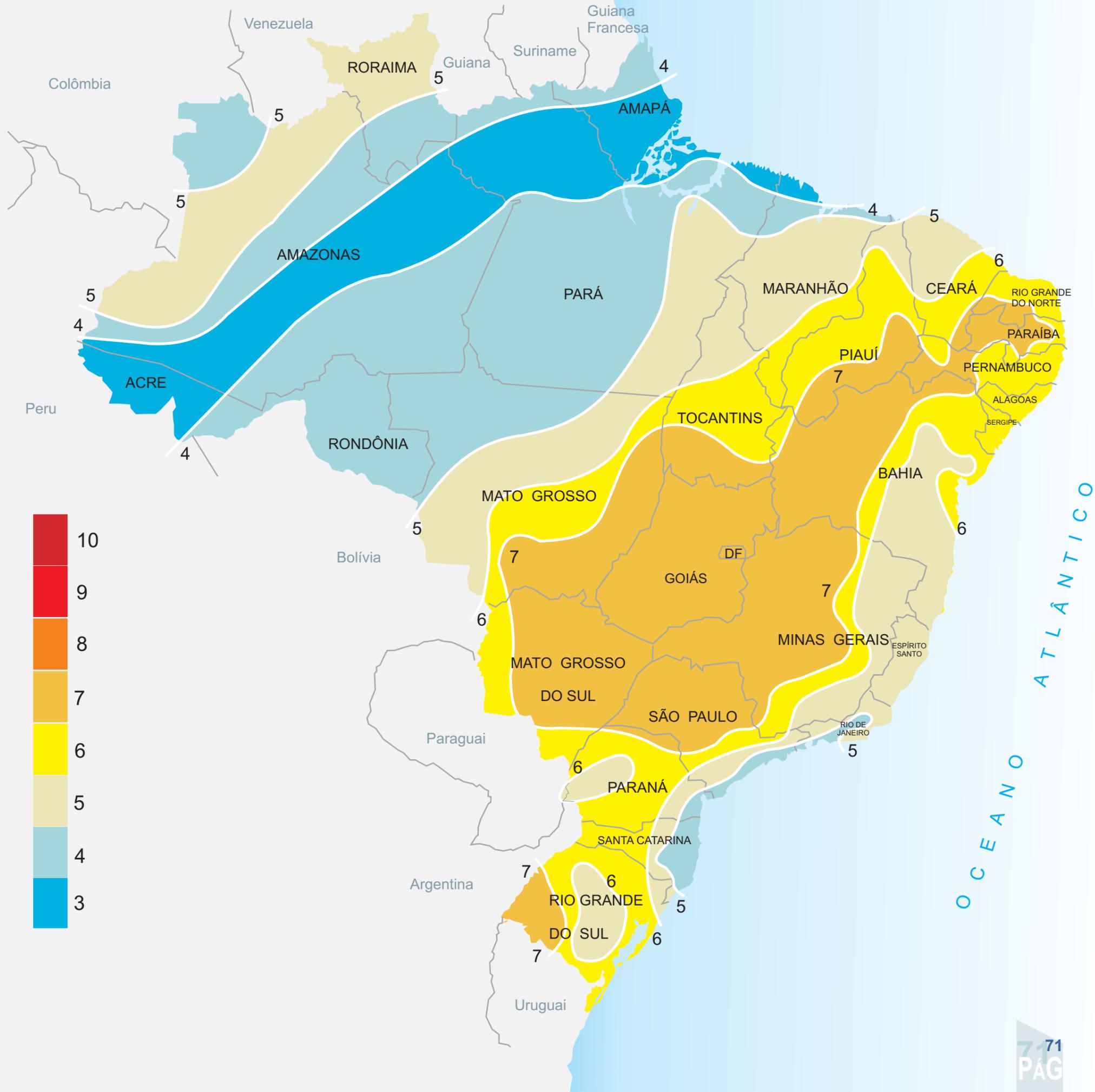
CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

150 75 0 150 300 450 600 km







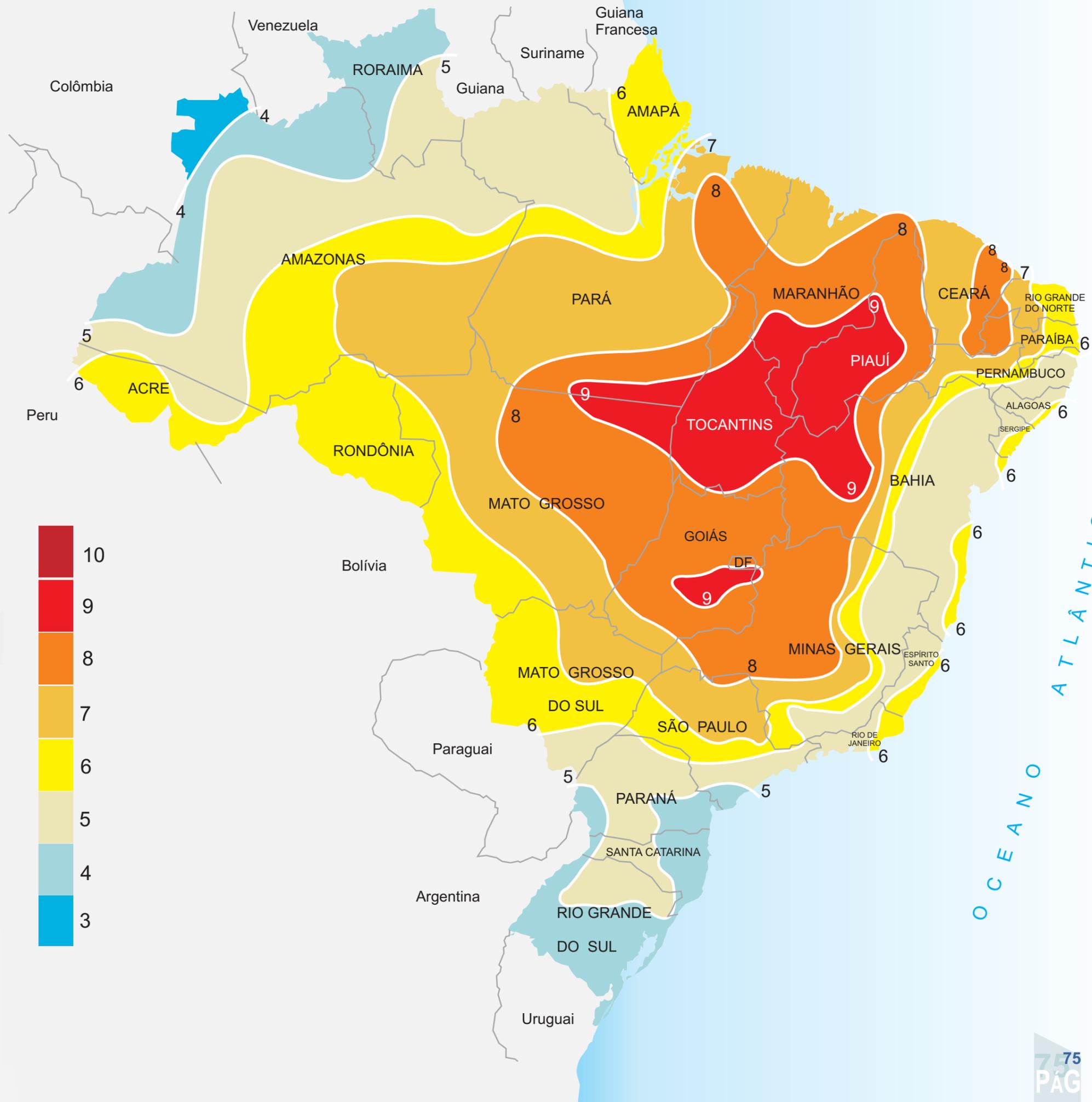




**Junho**

**CARTA 4.7**

Insolação Diária, Média Mensal  
( horas )



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

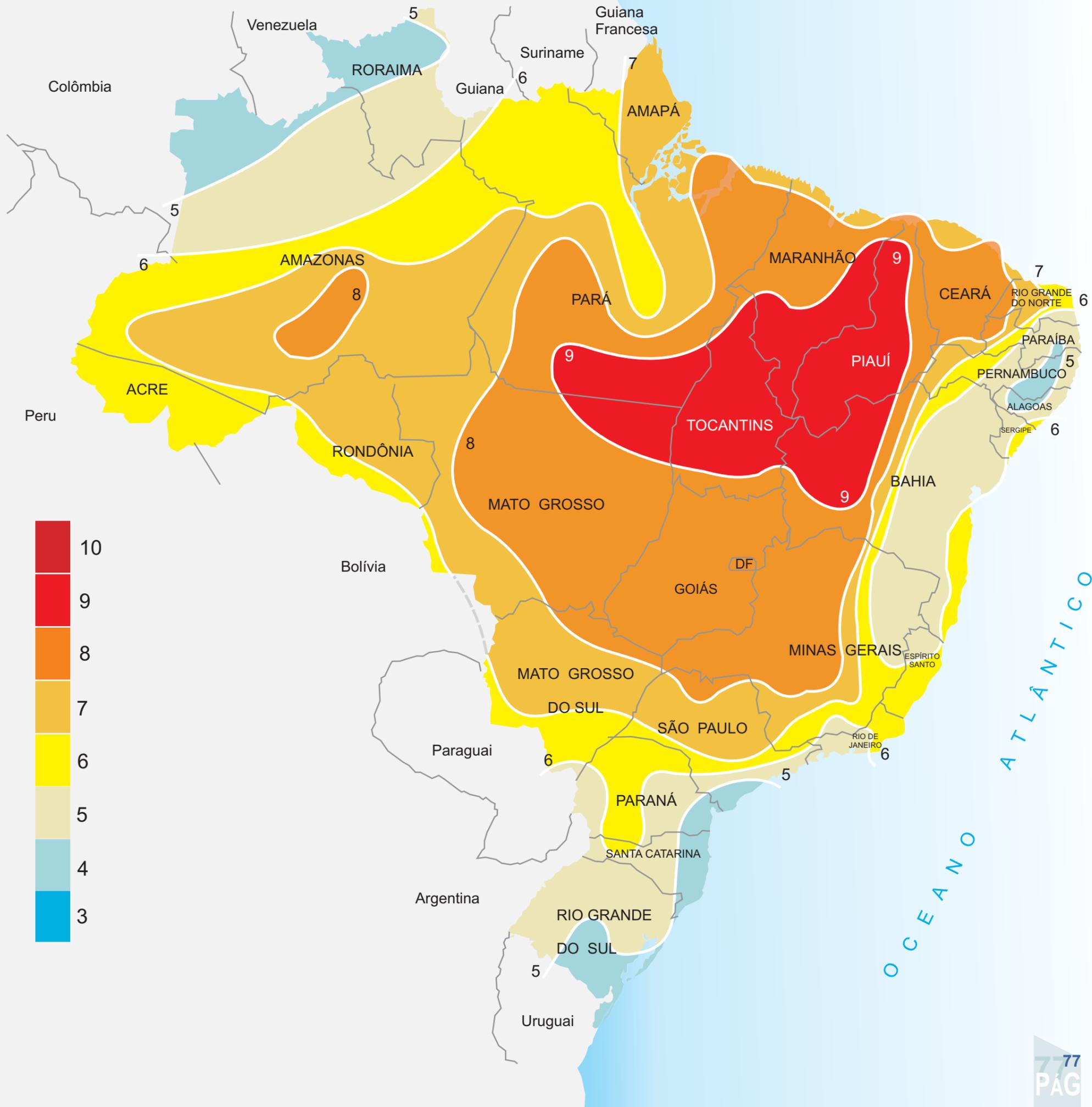


OCEANO ATLÂNTICO



# Julho

**CARTA 4.8**  
Insolação Diária, Média Mensal  
( horas)



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**



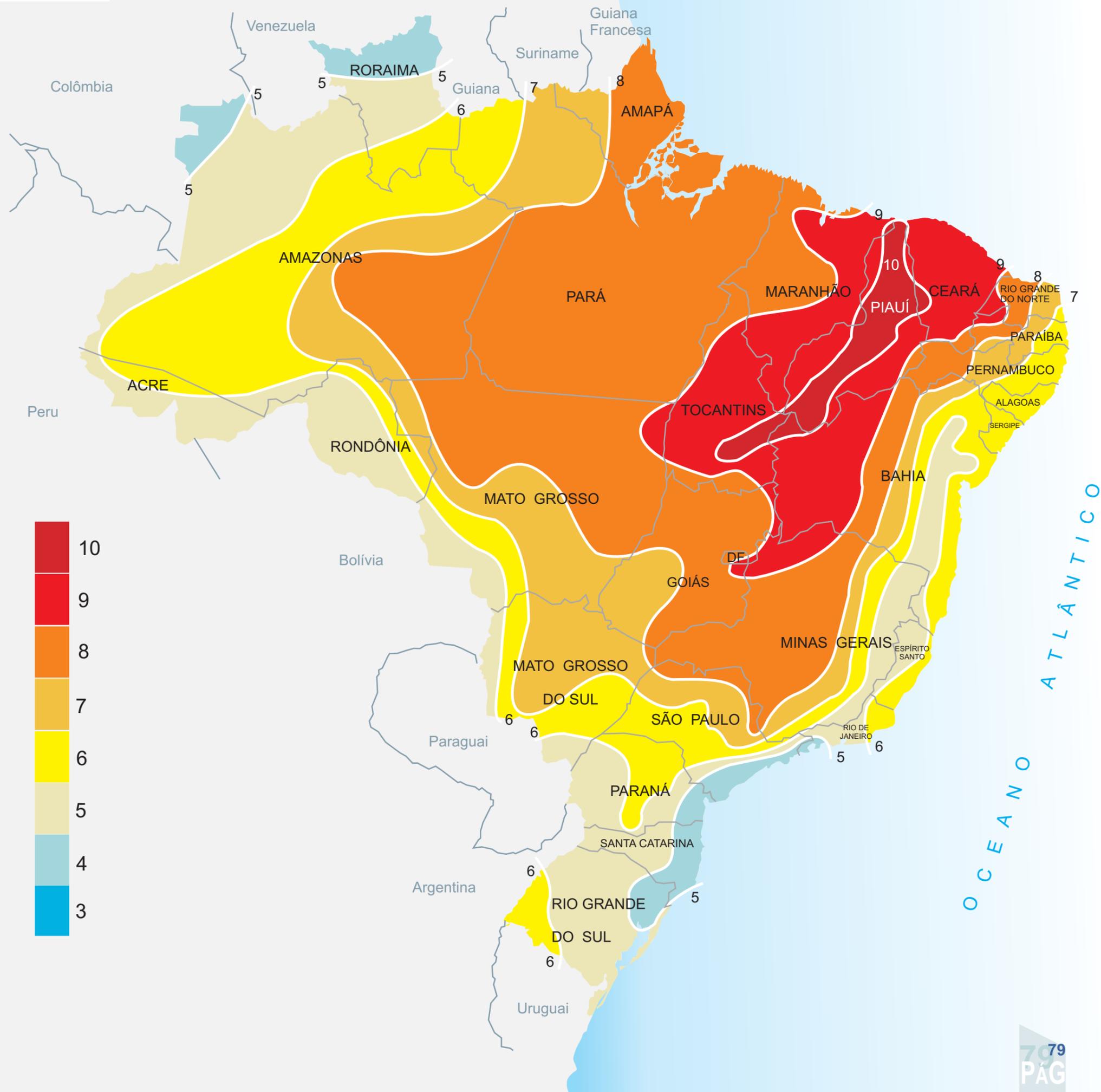




# Agosto

**CARTA 4.9**

Insolação Diária, Média Mensal ( horas)



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**



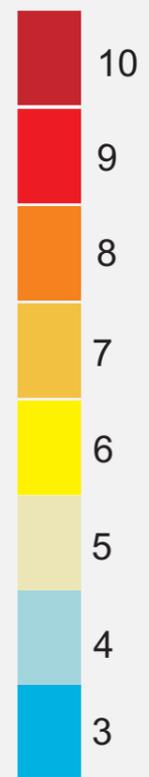
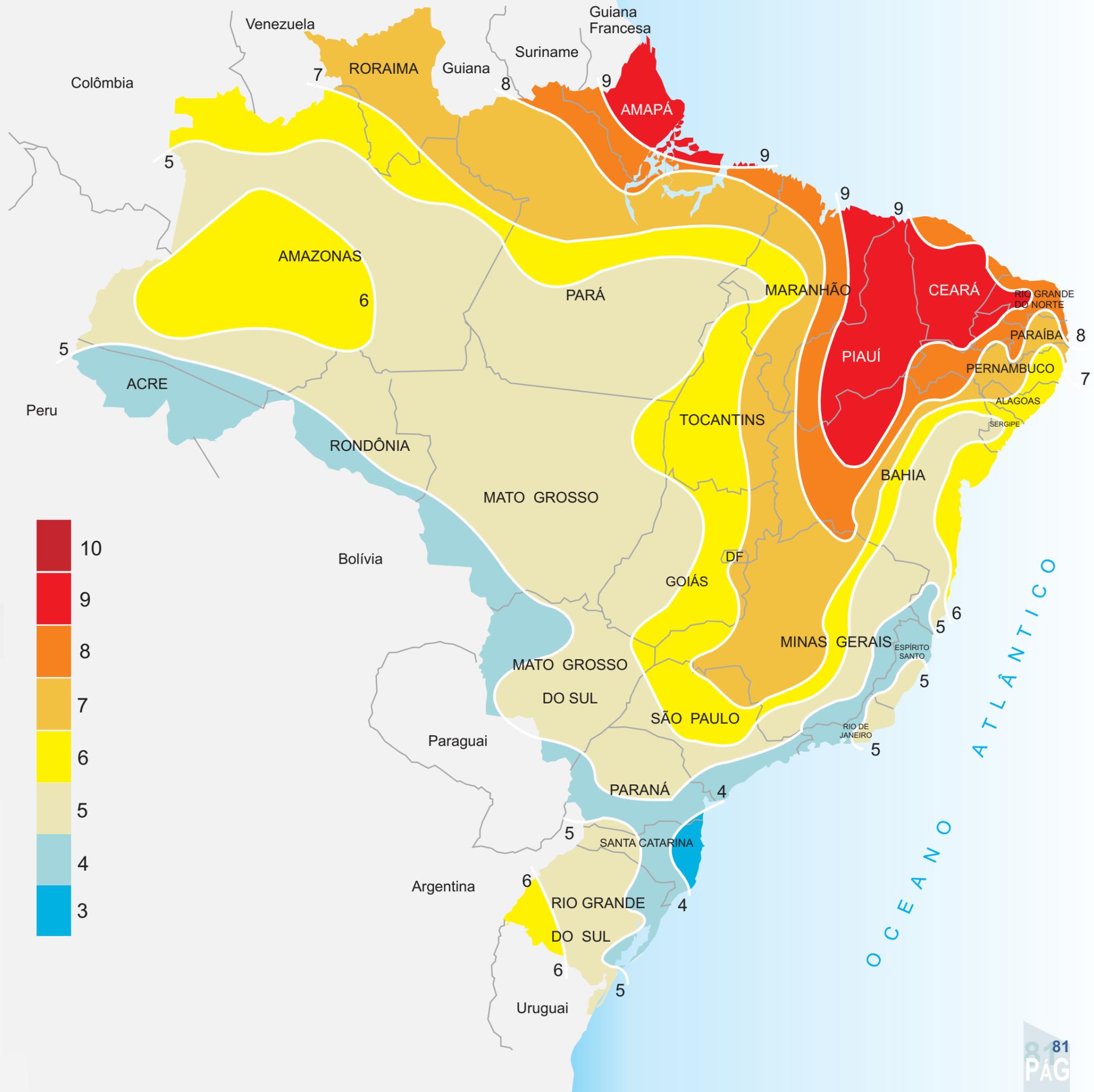




**Setembro**

**CARTA 4.10**

Insolação Diária, Média Mensal  
( horas)



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA



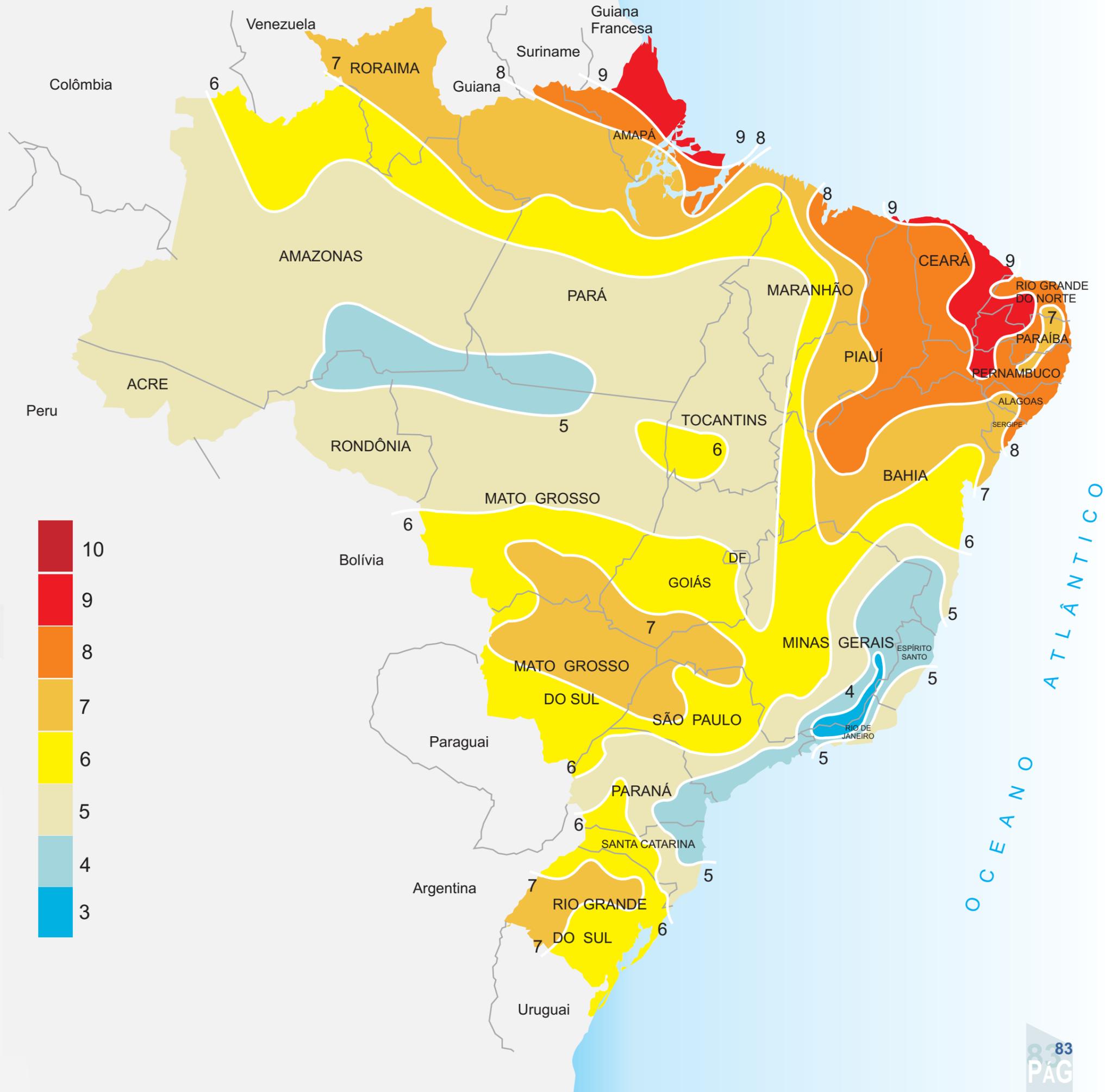




# Outubro

**CARTA 4.11**

Insolação Diária, Média Mensal  
( horas)



Coordenador do Projeto  
**Chiqueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chiqueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

150 75 0 150 300 450 600 km

OCEANO ATLÂNTICO

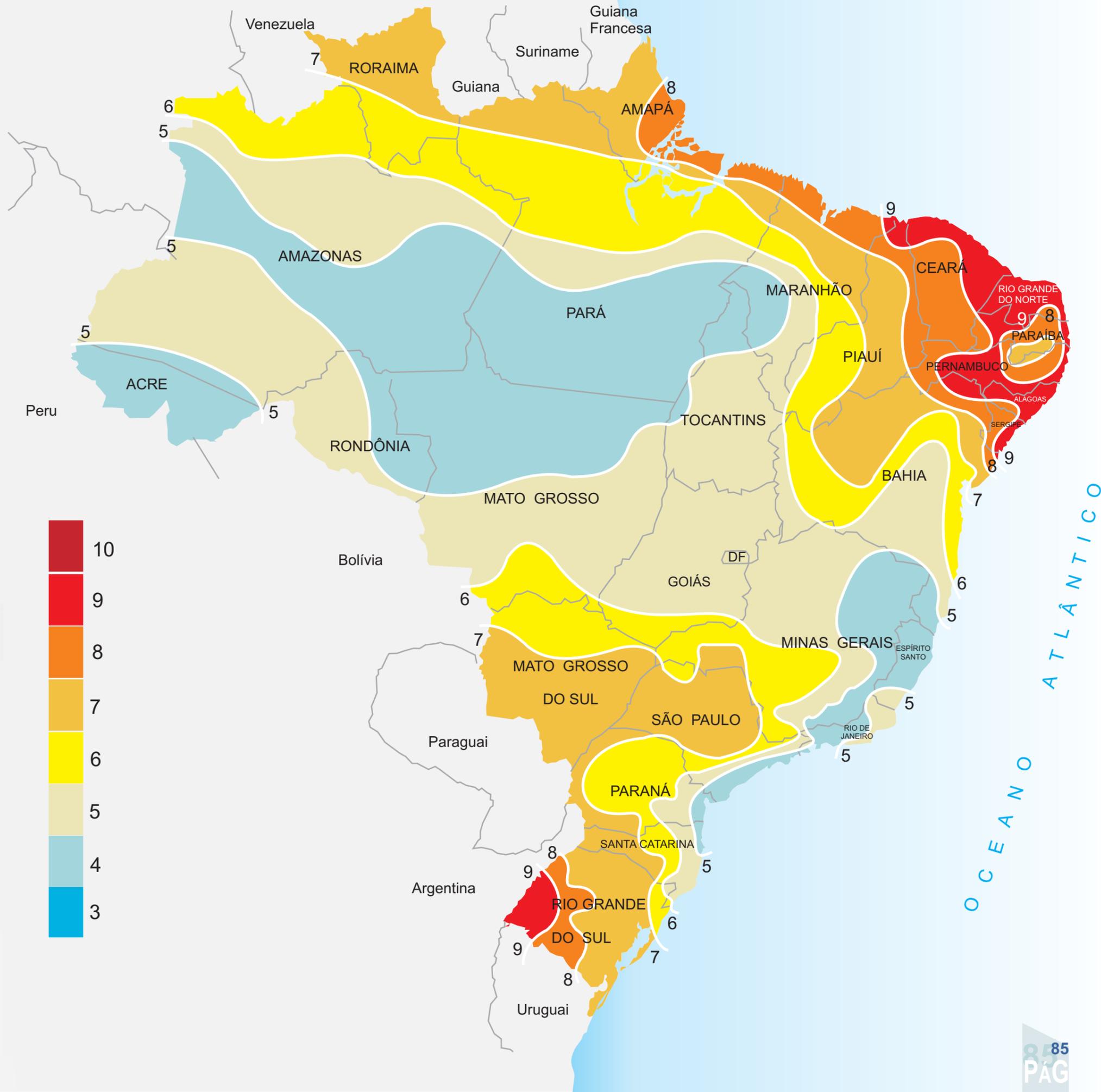




# Novembro

**CARTA 4.12**

Insolação Diária, Média Mensal  
( horas )



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**



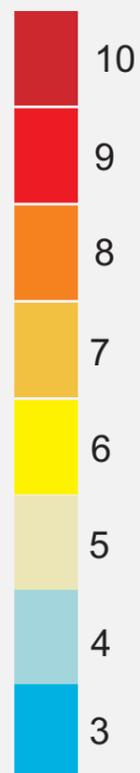
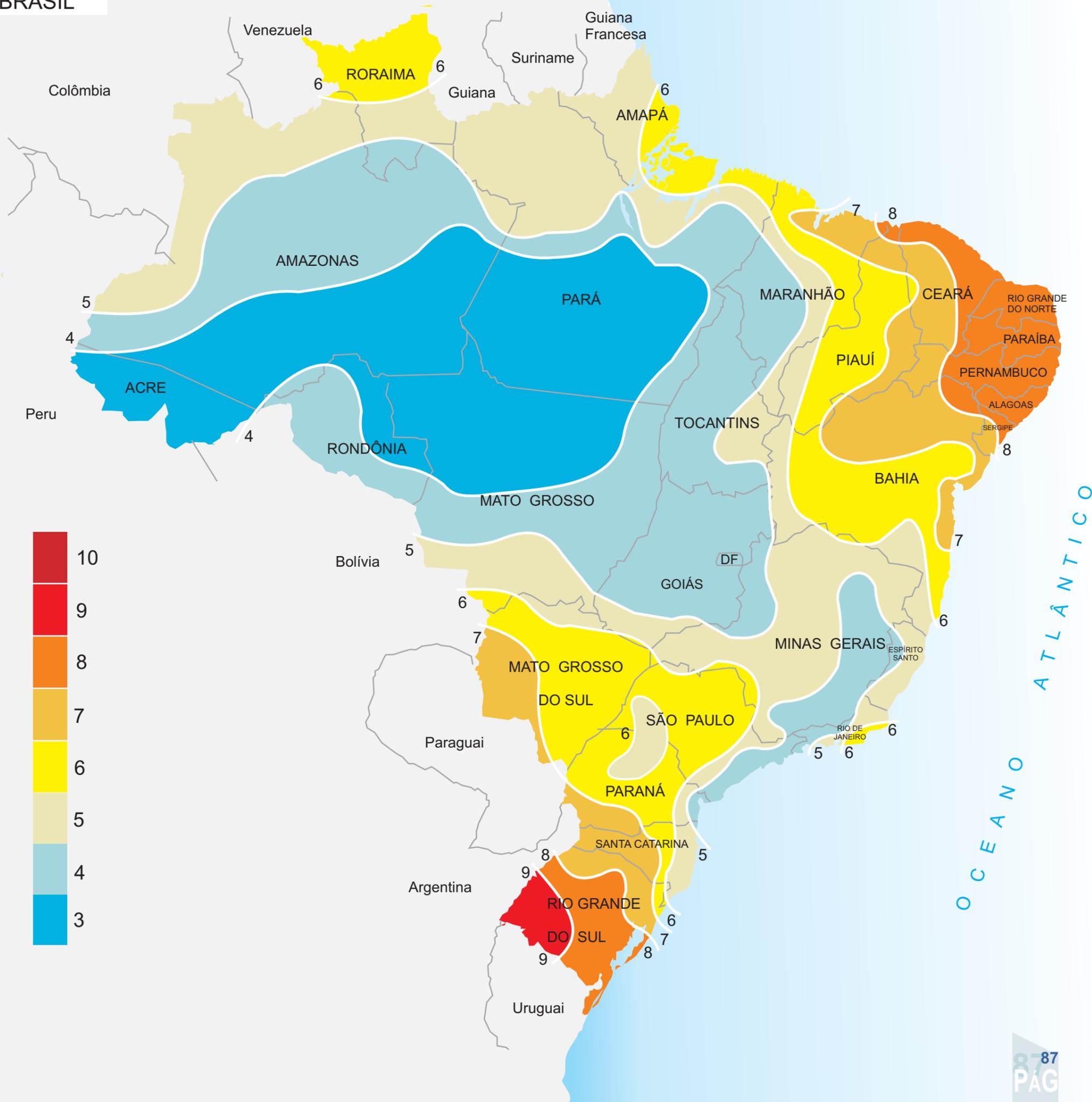




# Dezembro

**CARTA 4.13**

Insolação Diária, Média Mensal  
( horas )



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**

ESCALA GRÁFICA

150 75 0 150 300 450 600 km

OCEANO ATLÂNTICO

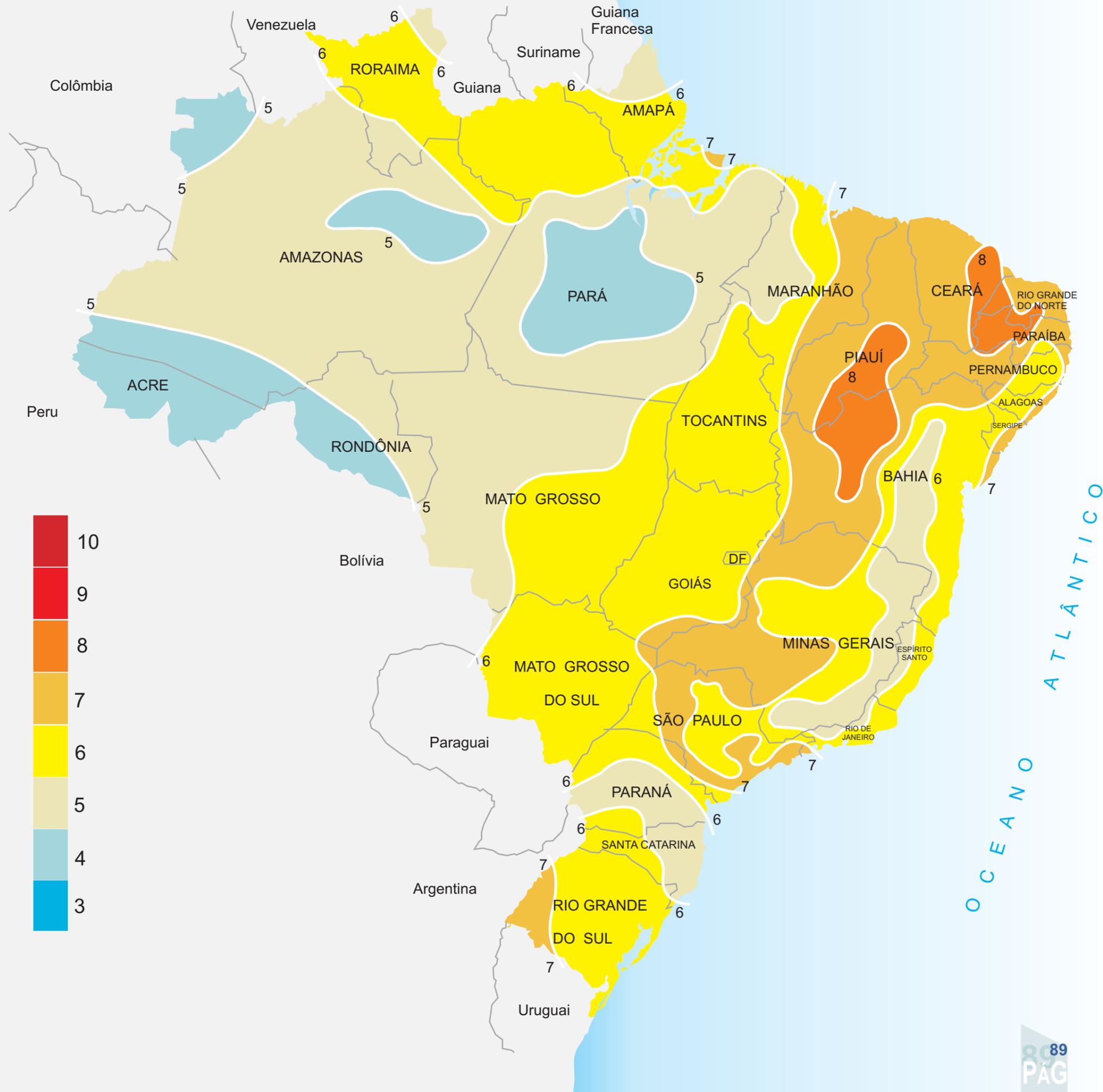




# Anual

## CARTA 4.14

Insolação Diária, Média Anual ( horas)



Coordenador do Projeto  
**Chigueru Tiba**

GRUPO FAE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia-DEN/CT/UFPE  
**Chigueru Tiba / Naum Fraidenraich**

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
**Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira**

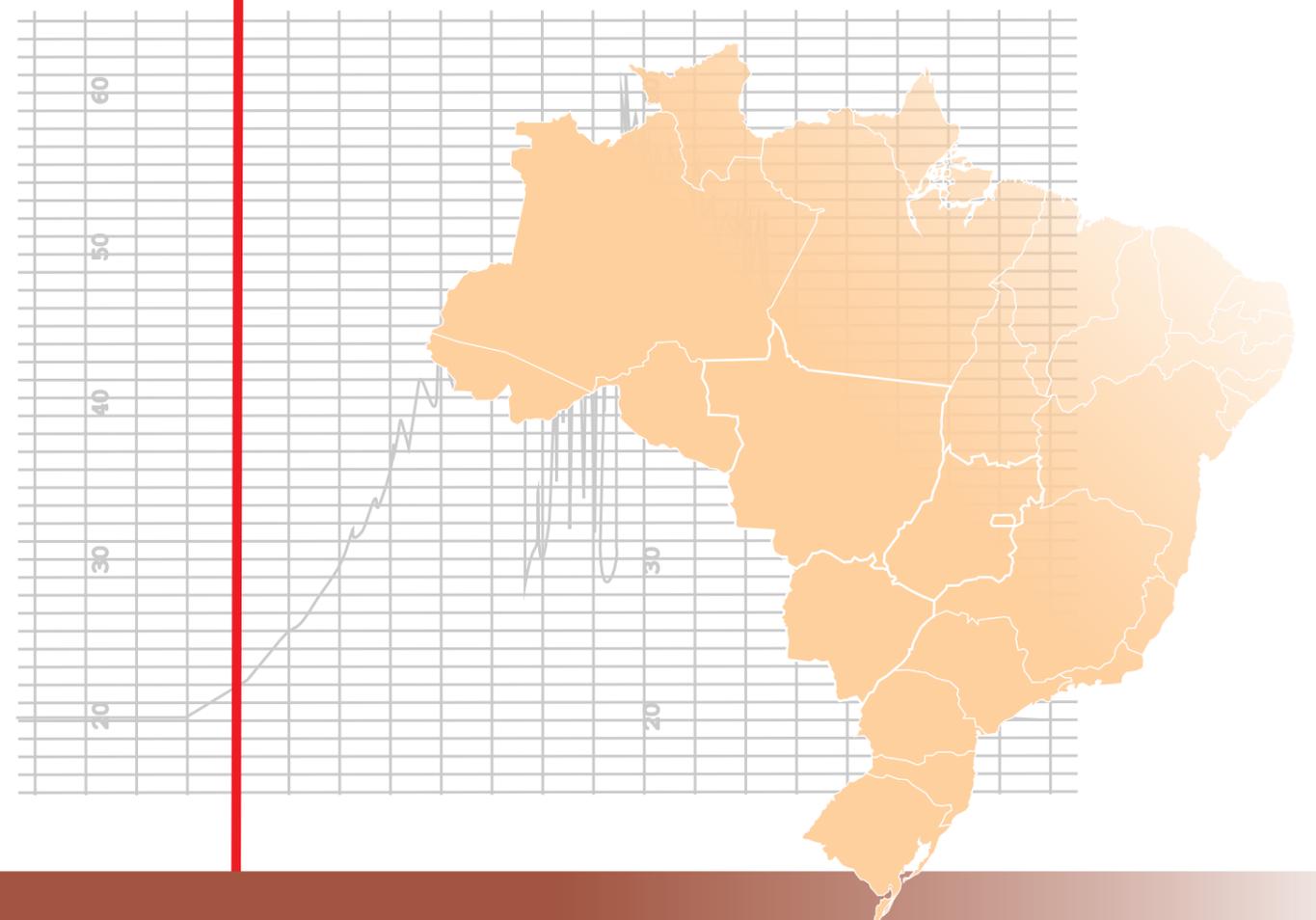
CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultoria Técnica  
**Hugo Grossi Gallegos**





# **T**abelas de Dados Solarimétricos e Localidades.





## 5. TABELAS DE DADOS SOLARIMÉTRICOS E DE LOCALIDADES



As informações solarimétricas para o Brasil e algumas localidades dos países limítrofes foram organizadas num banco de dados gravado no CD ROM em anexo e que faz parte desta publicação. Para consultar o banco de dados o mesmo deverá ser instalado em um computador pessoal cujos requisitos mínimos de equipamentos e softwares são:

Computador tipo PC, Pentium ou equivalente, com 16MB de memória RAM e Placa de vídeo com resolução de no mínimo de 600 x 800 pixels;

- Drive de CD ROM;
- Windows 95 ou superior;

A instalação do Banco de Dados Solarimétricos é feita facilmente conforme as instruções na capa do CD ROM.

A pesquisa de informações solarimétricas no Banco de dados pode ser feita mediante dois mecanismos de busca:

1- Mediante uma barra de rolagem onde estão localizadas as estações por ordem alfabética;

2- Por navegação em mapas sucessivamente expansíveis de regiões para estados e de estados para localidades.

Apresentamos a seguir, os dois procedimentos de pesquisa (busca) de informações.



**A.** Se a estação ou a localidade é conhecida, a BUSCA é DIRETA. Basta localizá-la mediante a barra de rolagem e depois clicar **Exibir**. Para ir com a barra de rolagem rapidamente a um dado local, digitar a letra inicial da estação.

**B.** Com o cursor navegue pelo mapa Sul americano que está dividido em 6 grandes regiões: países limítrofes, e pelo Brasil que se divide em 5 regiões: Norte, Nordeste, Centro Oeste, Sudeste e Sul. Escolhendo (click) uma dada região, a mesma se expande e apresenta os estados ou países (se a região escolhida for países limítrofes). Finalmente, escolhendo um dado estado ou país, as estações ou localidades serão mostradas na tela. Selecione (click) a estação desejada e surgirá na tela as informações disponíveis para essa localidade. Essas informações são de três tipos:

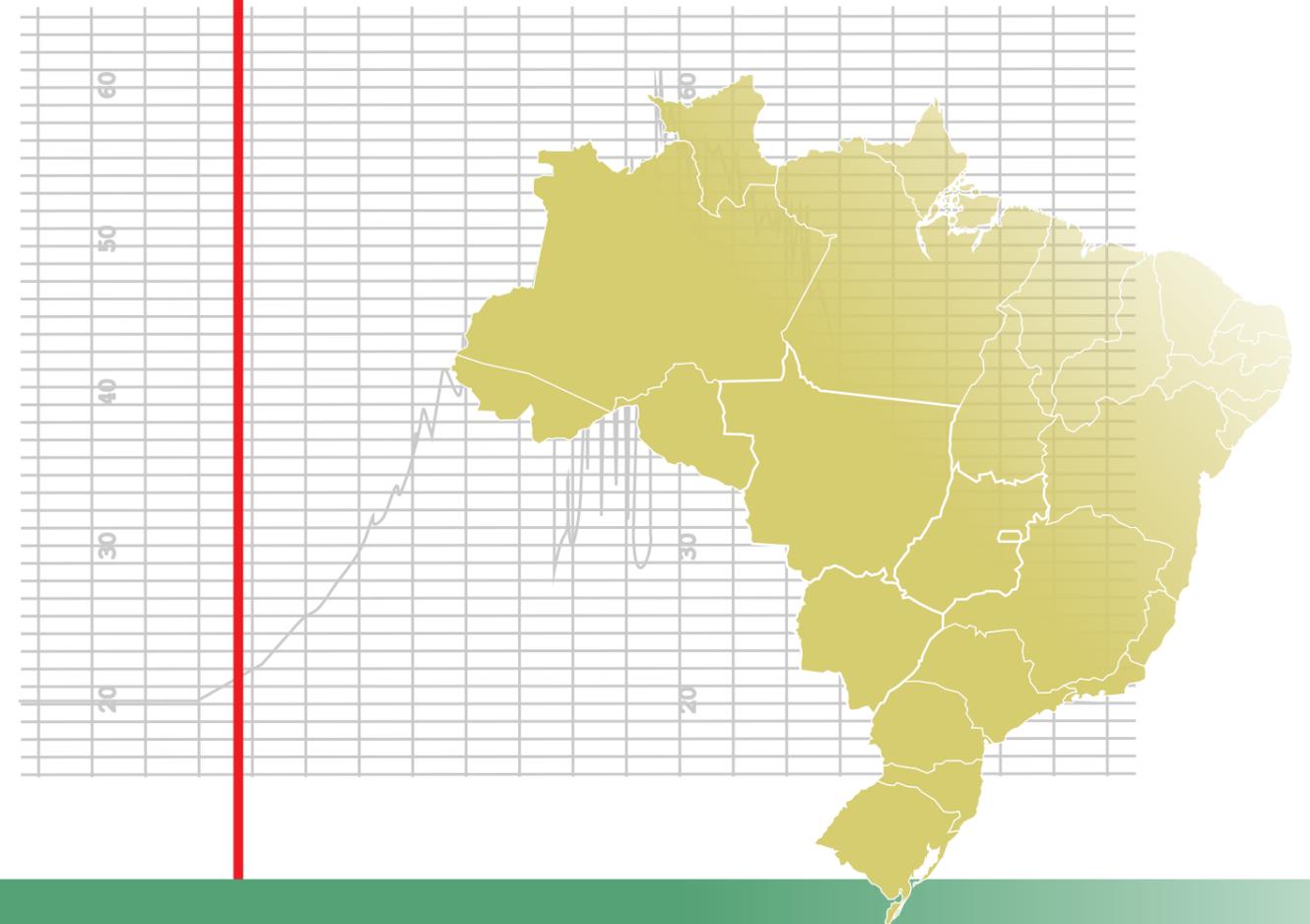
- Coordenadas geográficas, tipos de instrumentos e período de medida;
- Valores diários, médias mensais da radiação solar ou insolação e
- Fontes (referências bibliográficas)

The image shows a software interface for solar data. On the left, there is a vertical bar labeled "TABELAS" (Tables) with the subtitle "Dados Solarimétricos e Localidades" (Solarimetric and Localities Data). Below this bar is a search bar with the text "BUSCA DIRETA" (Direct Search) and a dropdown menu showing "Recife" with a downward arrow, followed by a red "EXIBIR" (Show) button. The main area of the interface displays a map of South America, with the Brazilian states highlighted in different colors (green, orange, blue). A mouse cursor is pointing to the Northeast region of Brazil. Below the map is a bar labeled "BUSCA POR NAVEGAÇÃO" (Search by Navigation). At the bottom right of the map area, there are two small circular icons, one red and one grey. In the bottom left corner, there is a logo for "SOLARIMÉTRICO DO BRASIL".

As informações disponíveis para uma dada localidade poderão ser impressas (emissão de Relatórios) ou salvas como Quick Report File (QRP) mediante a escolha do tipo de informação e acionando o comando Exibir e posteriormente Imprimir/Salvar.



# Resumo das Publicações.





## 6. ANÁLISE DAS PUBLICAÇÕES SOLARIMÉTRICAS

Todas as publicações solarimétricas foram sistematicamente analisadas. As informações solarimétricas de caráter numérico foram digitadas na forma de tabelas. A análise de cada trabalho foi registrada resumidamente numa ficha, que pode ser vista abaixo. Os resumos elaborados foram publicados entre outros, pelos seguintes motivos:

- A consulta à esses resumos permitirá ter uma rápida visão sobre o riquíssimo acervo de publicações resgatadas e que se constitui seguramente, num conjunto quase completo de trabalhos sobre o tema, publicados no Brasil, ao longo dos últimos 40 anos;
- Possibilitar aos potenciais usuários das informações solarimétricas a possibilidade de voltar à origem das fontes de informações, quando ou se necessário;
- E, finalmente, mostrar que existiu ao longo das últimas décadas, um significativo e árduo trabalho de levantamento solarimétrico no Brasil, realizado por diferentes atores institucionais e/ou individuais. Portanto, as informações contidas no Atlas Solarimétrico é o produto coletivo destas instituições/indivíduos.

### 6.1 PUBLICAÇÕES COM DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR OU INSOLAÇÃO INSERIDOS NO ATLAS SOLARIMÉTRICO

#### 01. Berlato, M., *Radiação Global no Estado do Rio Grande do Sul, Separata da Agronomia Sulriograndense, Vol. V, Porto Alegre, RS, 1971.*

O autor estuda a correlação existente entre a radiação global medida por actinógrafo Robitzsch-Fuess e a insolação medida por heliógrafo tipo Campbell-Stokes. É apresentada uma equação de predição da radiação global a partir da radiação no topo da atmosfera e da insolação efetiva ( $n/N$ ), válida para o espaço geográfico que compreende o Estado do Rio Grande do Sul (Latitude 27 a 34° S e Longitude 50 a 57° Oeste). Esta equação permitiu estimar a radiação global mensal em  $\text{cal/cm}^2$  para 10 estações em que o valor da insolação é conhecido, elevando-se de 7 para 17 os pontos no Estado, que agora dispõem desta informação climática. Os dados de radiação solar utilizados para a obtenção dos coeficientes de correlação são de 7 estações e compreendem o período de 1956 a 1965.

#### 02. Briuett, E., *Dados solarimétricos para Bolívia, Texto datilografado, Comunicação pessoal do Prof. Hugo Grossi, sem maiores informações, 1992.*

Trata-se exclusivamente de tabelas com dados de radiação solar em algumas localidades da Bolívia.



03. Cavalcanti, E.S.C., Analysis of experimental solar radiation data for Rio de Janeiro, Brazil, Solar Energy, Vol. 47, number 3, pp. 231-235, 1995.

Uma análise da radiação solar global, medida no Rio de Janeiro (Latitude = 22° 55'S, longitude = 43° 12'W, nível do mar), é apresentada na forma de médias horárias, decádicas e mensais, bem como a distribuição de frequência. Os dados experimentais são do período que vai de junho de 1979 a agosto de 1983. Os resultados são comparados com valores anteriormente publicados.

04. CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), Estudos sobre aproveitamento da Energia Solar e Eólica em Minas Gerais, 01000-TN/TE-093, Departamento de Tecnologia de Engenharia, CEMIG, Belo Horizonte, julho de 1987.

A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) realizou este trabalho, no período de 83/86, para o levantamento do potencial eólico e solar no Estado de Minas Gerais, bem como para a análise do funcionamento de alguns sistemas instalados, que utilizam as energias solar e/ou eólica. O volume referente ao potencial de energia solar abrange uma parte conceitual sobre a energia solar, sua utilização através de diversos sistemas de conversão, fundamentos para tratamento dos dados e dimensionamento de sistemas, além da parte sobre o levantamento de potencial.

Para a realização do trabalho foram instalados vinte e quatro estações solarimétricas, procurando cobrir todas as regiões fisiográficas do Estado, mantendo-se uma distância média entre estações de 150Km. Cada estação possui um piranômetro tipo "black e white" da Ph. Schenk, de fabricação austriaca e integradores que fornecem valores instantâneos e acumulados de radiação global e o período (horas) de insolação com radiação superior a 45 W/m<sup>2</sup>.

Os resultados obtidos, após dois anos e meio de operação das estações solarimétricas, são apresentados na forma de tabelas e gráficos. São apresentadas tabelas para cada ano (84/86) e a média do período, com os valores de radiação solar global média diária para cada mês e média diária anual. Em forma gráfica, foram traçados, para comparação, os valores médios diário e mensal, da radiação fora da atmosfera, a global medida e estimada por correlações e a direta e difusa estimadas a partir da radiação global medida.

05. CENSOLAR, Valores medios de irradiacion solar sobre suelo horizontal, Centro de Estudios de la Energia Solar, PROGENSA, Argentina, 1993.

É uma base de dados internacionais, realizada com a colaboração de diversos Organismos e Centros de Investigação de um considerável número de países, representando seis anos de trabalhos. Estão relacionados 109 países. O trabalho contém dados de latitude e radiação solar global média mensal. Não é possível identificar se os dados de radiação solar foram medidos ou estimados.

06. CHESF(Companhia Hidro Elétrica do São Francisco), Fontes Energéticas Brasileiras, Inventário/Tecnologia-Energia Solar, Recife/PE, CHESF, DEG/DETE, 1987.

O trabalho está apresentado em cinco volumes, assim distribuídos:

*VOLUME I - Conceituação Teórica e Análise de resultados. Descreve a*

*metodologia adotada para o levantamento solarimétrico, apresentando os conceitos teóricos e analisando os resultados obtidos.*

*VOLUME II - Estações Meteorológicas Solarimétricas - Coordenadas Geográficas, Período de Observação e Total de Dados Analisados.*

*VOLUME III - Compilação de Dados Referentes a Insolação e Radiação e Respectivas Frequências de Ocorrência.*

*Tabelas com dados estatísticos referente à insolação, radiação e energia solar para cada estação solarimétrica e dados referente à frequência de dias nublados, frequência diária de insolação e radiação solar global para cada classe de radiação.*

*VOLUME IV - Variações Estacionais de Insolação e Radiação Solar.*

*Apresenta a variação estacional e anual da radiação solar global diária, insolação máxima em função da latitude e frequência de dias consecutivos com nebulosidade superior a 80%.*

*VOLUME V - Cartas de Isolinhas de Insolação e Radiação Solar no Nordeste do Brasil.*

*Apresenta o zoneamento do potencial de Radiação Solar através de diversas cartas de isolinhas de radiação e insolação solar global em bases de médias mensais e anuais.*

As informações utilizadas neste trabalho foram coletadas pela Rede de Estações Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia e processados por convênio FINEP/SUDENE/UFPB. Os dados usados são os de radiação global no plano horizontal e de insolação, obtidos respectivamente por actinógrafos e heliógrafos.

07. CODEVASP (Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco), Dados Climatológicos, Texto datilografado, 1996.

Trata-se de tabelas com dados climatológicos para 03 estações localizadas em Sergipe: Betume, Contiguiba/Pindoba e Propriá. Para as duas primeiras estações, o período compreendido é de novembro de 1993 a dezembro de 1995 e são mostrados os valores diários dos seguintes parâmetros: Precipitação, Evaporação, Temperatura do ar, Temperatura máxima, Temperatura mínima, Umidade relativa, Velocidade do vento e Insolação (só Contiguiba). Para a estação de Propriá, o período compreendido é de janeiro de 1990 a dezembro de 1995 e são mostrados os valores de precipitações médias mensais, média anual, máxima e mínima no ano e o número de dias de chuva.

08. Ederich, M., Formas de Aproveitamento da Energia Solar, Canoas, RS, sem data.

A publicação apresenta isolinhas da insolação diária, média anual para o Brasil. Para o estado do RS são mostradas as isolinhas da radiação solar diária, médias mensal (janeiro) e anual. São apresentadas também, para 8 estações situadas no RS, tabelas numéricas com dados de temperatura máxima, mínima, média, número de dias de chuva, radiação solar, insolação, número de dias claros e número de dias encobertos.

09. EMPAER ( Empresa Mato-Grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural S/A), Dados Meteorológicos diários no período de 1989 a 1992, Texto datilografado, 1995.

Trata-se exclusivamente de tabelas com dados meteorológicos para diversos períodos e locais.

10. EPAGRI ( Empresa de Pesquisa Agropecuário e Difusão de Tecnologia de Sta. Catarina S/A), Dados de insolação e radiação solar para diversos locais no período de 1923 a 1992.

Trata-se exclusivamente de tabelas com dados de insolação ou radiação ou outros dados meteorológicos para diversos períodos e locais.

11. FAO (Food and Agriculture Organization) of the United Nations, Agroclimatological Data, Latin America and the Caribbean, sem data.

Para cada estação , além das coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude), são apresentados os seguintes dados: Precipitação, Temperatura Média, Temperatura média máxima, Temperatura média mínima, Temperatura média durante o dia, Temperatura média durante a noite, Velocidade do vento a 2m, Brilho do sol (%), Radiação total e Evapotranspiração. São relacionadas 204 estações situadas no Brasil. Não é possível identificar se os valores da radiação solar diária, média mensal apresentados foram medidos ou estimados. Também não existe informações a respeito dos equipamentos de medida da radiação ou insolação.

12. FUNARI, F. L., Insolação, Radiação Solar Global e Radiação Líquida no Brasil, São Paulo, Dissertação de Mestrado do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, 1983.

Neste trabalho, são apresentadas para 204 estações situadas no Brasil, as seguintes grandezas: Temperatura diária do ar, média mensal; Insolação total mensal; Radiação solar global diária, média mensal; Radiação efetiva terrestre diária, média mensal e radiação líquida diária, média mensal. Em locais onde não existiam dados de radiação solar global (medidos), foram feitas estimativas baseadas em dados de insolação, utilizando-se da relação de Angstrom. Os dados foram coletados através de diversas instituições: INMET, Serviço de Ecologia Agrícola do RS, DAEE/SP, UFPB, Instituto Agrônomo de Campinas, UNESP, USP e ESALQ. São mostrados também cartas de isolinhas de radiação global diária e insolação diária, médias mensais e anuais.

13. Grossi Gallegos, H., Garcia, M., Atienza, G. y Castel, M.E.G., Estimación de la distribución de la radiación solar global en la Republica del Paraguay, Instituto Nacional de Tecnologia y Normalizacion, Ministerio de Industria y Comercio, Paraguay, 1994.

Baseado nos dados de insolação da Seccion Estadística del Departamento del Climatología del Servicio de Meteorología e Hidrología del Paraguay, e utilizando diferentes correlações , foi feita a estimativa da componente global da radiação solar recebida ao longo do ano. Os resultados obtidos foram comparados com valores medidos na Argentina e Brasil, assim como com resultados estimados via satélite.

14. Grossi Gallegos, H., Atienza, G., Garcia, M., Renzini, G., Peralta, M., Saravia, Unzueta, I. y Arteaga Tamayo, A., Estimación de la distribución de la radiación solar global en la Republica de Bolivia, En Actas de la 12ª Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar, Buenos Aires, Vol.I, pp.83-93, 1982.

Trata-se de um trabalho de estimação da radiação solar em várias localidades da Bolívia.

15. GUYANE, Dados de radiação solar, Reseau radiometrique de la Guyane, Service Meteorologique de la Guyane, Comunicação pessoal ao Prof. Hugo Grossi Gallegos, 1996.

Trata-se exclusivamente de tabelas com dados de radiação solar para diversos períodos e locais.

16. INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), Boletins de Radiação Solar Trimestral, Ministério da Agricultura, Brasília-DF, 1978 a 1990.

Nestes Boletins são apresentados os valores de radiação diária global no plano horizontal. As medidas foram efetuadas com piranômetros Eppley modelo 8-48 (preto e branco). As eventuais falhas no registro da radiação solar estão complementadas por estimativas feitas a partir da insolação, utilizando a equação de Angstrom.

17. INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), Normais Climatológicas (1961-1990), Departamento Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, DF, 1992.

É a versão mais recente das Normais Climatológicas do Brasil. Contém informações obtidas de 209 estações meteorológicas. As estações são relacionadas com coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) e período de operação (nem sempre de 1961-1990). Existem informações sobre a insolação em 203 estações. Não constam registros de radiação solar.

18. IOUSP (Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo), Dados de Insolação e Radiação solar para Cananéia-SP, no período de 1956 a 1995, Texto datilografado, 1996.

Trata-se basicamente de tabelas com dados de Insolação total mensal e relativa , no período de 1956 a 1995. Consta também do texto informações sobre a Radiação solar global diária (Ly), média mensal e anual para o período de 1954-1991.

19. IPA (Instituto de Pesquisa Agropecuária), Climatologia das Estações Experimentais do IPA, Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Recife, 1994.

São apresentados dados climatológicos mensais, das estações operadas no estado de PE, pelo Laboratório de Meteorologia e Recursos Hídricos de Pernambuco (LAMEPE). Os seguintes parâmetros são apresentados: dados de precipitação, temperatura, umidade relativa, velocidade e direção de vento, insolação totais mensais para cada ano observado e valores médios mensais no período, mais média máxima e média mínima.

20. Lopes, N. F., Gomes, A. S., Mota, F. S., Garcez, J.R.B., Goerdet, C.O. e Boing, J., Estimativa da Radiação Solar Durante o Ciclo Vegetativo dos Cereais no Rio Grande do Sul, Boletim Técnico número 73, Instituto de Pesquisa Agropecuária do Sul, RS, 1971.

No presente trabalho os autores estudaram a estimativa da radiação solar global total no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, a partir de dados de insolação. O coeficiente de correlação entre a radiação solar medida e a estimada foi de 0,97. É apresentado também o mapa de isolinhas de radiação solar diária, média anual.

21. Macagnan, M. H., Zilles, R. e Corbella, O.D., *Curvas de Iso-radiação para o Rio Grande do Sul*, Anais do Congresso Brasileiro de Energia, pp. 190-199, 1987.

O presente trabalho elabora tabelas de radiação solar diária, média mensal em plano horizontal e em inclinações de interesse ( $30^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $90^\circ$  - Norte), e mapas de isolinhas de radiação para o Rio Grande do Sul para os meses de junho e dezembro.

22. Macêdo, I.C. e Maciel, T.T., *Radiação Solar no Estado de São Paulo*, Contrato CESP-FUNICAMP 1030/09-8-78, DEM-FEC, UNICAMP, 1981.

Foram elaboradas estimativas de radiação média mensal difusa, direta e global para quarenta localidades do estado.

Para cada localidade são mostrados os seguintes parâmetros:

Duração do dia solar, visibilidade, relação de insolação, radiação direta normal para dia claro, radiação direta horizontal para dia claro, radiação direta em plano inclinado para dia claro, média diária mensal de radiação direta normal, média diária mensal de radiação direta em plano horizontal, média diária mensal de radiação difusa em plano horizontal, média diária mensal de radiação global em plano horizontal, média diária mensal de radiação direta em plano inclinado, média diária mensal de radiação difusa em plano inclinado, média diária mensal de radiação global em plano inclinado, média diária mensal de radiação direta para superfície com seguimento do sol em eixo polar, média diária mensal de radiação direta para superfície com seguimento do sol em eixo horizontal.

Para as estimativas, foram utilizados dados de insolação e visibilidade noturna das quatro estações, pertencentes ao Instituto Agrônomo de Campinas, Departamento Nacional de Meteorologia (atual INMET) e Departamento de Água e Energia Elétrica.

Muitas das estações possuíam séries de dados de insolação com mais de dez anos de medidas. Os registros de visibilidade são menos frequentes e existentes apenas para 20 estações, sendo estimado para as demais.

Também são apresentados mapas de isolinhas para as quatro estações do ano com os valores de radiação global em plano inclinado (latitude + 10 graus) e radiação direta normal, um mapa com os valores médios anuais de visibilidade para cada localidade e tabela com as probabilidades de variação de dias bons (relação de insolação  $> 0,5$ ) e ruins.

23. Macedo, I.C., Pereira, J.T.V. e Milanez, L.F., *Aplicação de um Método Indireto de Solarimetria para a Energia Incidente na Região Amazônica*, Anais do I Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, pp. 127-137, 1978.

método para cálculo da radiação global, direta e difusa a partir dos dados de insolação, altitude do local e visibilidade. Foi aplicado para dezesseis estações na Região Amazônica, sendo 11 na Região Norte e 5 na Centro-Oeste. Os resultados estão apresentados na forma de tabelas de valores de radiação diária média mensal global, direta e difusa.

24. Mota, F.S.da e Beirsdorf, M.I.C, *Novas Estimativas da Radiação Solar Sobre o Sul do Brasil*, Ciência e Cultura, 23(5):573-576, 1971.

São apresentadas as estimativas (Angstrom) de radiação Solar global para diversas localidades dos estados do RS e SC, calculadas para cada região com suas constantes particulares ou com constantes de regiões climaticamente análogas. Apresenta ainda, valores de "a" e "b" da equação de Angstrom para diversas regiões climáticas do RS e SC, que permitem o cálculo da radiação média diária mensais e anual para 16 estações no RS e 6 em SC, agrupadas em diferentes regiões climáticas.

25. Nunes, G.S., André, R.G.B., Vianello, R.L. e Marques, V.S., *Estudo da Distribuição da Radiação Solar Incidente sobre o Brasil*, São José dos Campos, INPE, 45pp., 1978.

Este trabalho coloca-se como um primeiro esforço no sentido de conhecer a distribuição temporal e espacial da radiação solar incidente sobre o Brasil. Baseia-se na formulação de Bennett (1965) para o hemisfério Norte, adaptada ao Brasil. Utiliza dados de insolação, tomando-se um período de dez anos para o Brasil (1961-1970) e de trinta anos para alguns países limítrofes. A rede utilizada é em número de 187 estações, divididas entre as várias regiões.

Os autores consideram que a densidade de estações para o Sul, Sudeste e Nordeste apresentam boa concentração, enquanto para o Centro-Oeste e Norte é mais rarefeita.

É apresentada a lista das estações, bem como um mapa com a sua distribuição. Os resultados são mostrados na forma de mapas de isolinhas de radiação solar para intervalos de 50 cal/cm<sup>2</sup>.dia, valores médios para cada mês.

Consta ainda uma discussão das variações sazonais, destacando-se o verão e o inverno e a análise dessa variação por região do país. Os autores sugerem, no final, que se amplie a rede atual e que se incluam instrumentos para medição de radiação solar, ao invés de horas de brilho do sol.

26. Ogura, M.K. e Daud, M.A., *Estimativas das Quantidades de Radiação Solar Global e Difusa em Médias Mensais para o Estado de São Paulo*, Anais do I Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 1978.

Utilizando dados de diversas estações meteorológicas e com base em um método empírico, adaptado às condições regionais, foram obtidas diversas tabelas. Num primeiro conjunto de tabelas são apresentados os valores médios mensais da relação entre horas de brilho registradas e o máximo teórico, radiação solar global registrada e a calculada.

A comparação entre os valores calculados e os registrados é satisfatória para nove localidades, das onze apresentadas nas tabelas. Para outras quinze localidades são apresentadas tabelas com as médias mensais da relação de insolação (registrado/máximo teórico) e os valores calculados de radiação global e difusa.

27. Ometto, J.C., Estudo das relações entre: radiação solar global, radiação líquida e insolação, Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de S. Paulo, Piracicaba, 1968.

Neste trabalho é estabelecido, além das equações de Radiação Líquida em função da Insolação, as equações de Radiação Solar Global em função da Insolação e Radiação Líquida em função de Radiação Solar Global, para a localidade de Piracicaba.

Os coeficientes das equações de regressão encontrados indicam que, para a relação entre Radiação Solar Global e Insolação, as épocas pouco diferiram; na relação entre Radiação Solar Global e Radiação Líquida, foram bastante diferentes as épocas consideradas e na relação entre Radiação Líquida e Insolação, as épocas também mostraram diferenças acentuadas nos coeficientes de regressão."

Foram utilizados para os registros: Heliógrafo Campbell-Stokes, Pireliômetro Eppley e Radiômetro Líquido - Net Exchange Radiometer".

28. Pedro Jr., M.J., Alfonsi, R.R., Camargo, M.B.P., Chiavegatto, O.M.D.P., Ortolani Chiavegatto, O.M.D.P., Ortolani, A.A. e Brunini, O., Disponibilidade de radiação solar global para o estado de S. Paulo, Boletim Técnico 123, Instituto Agrônomo, Campinas, S. Paulo, Março 1989.

Os valores médios diários mensais de radiação global estimados pela relação de Angstrom são apresentados na forma de tabelas para 47 localidades do Estado de São Paulo e 7 localidades de estados limítrofes (2 do MS, 2 do RJ, 2 de MG e 1 do PR).

Os dados de outros Estados foram utilizados para auxiliar no traçamento dos mapas de isolinhas de radiação solar diária para as 4 estações do ano.

29. 5º DISME (Distrito Meteorológico - Instituto Nacional de Meteorologia), Dados de insolação, Texto datilografado, 1995.

Trata-se exclusivamente de tabelas com dados de insolação total para diversos períodos e locais.

30. Ribeiro, M.N.G., Salati, E., Villa Nova, N. A. e Demetrio, C.G.B., Radiação solar disponível em Manaus (AM) e sua relação com a duração do brilho solar, Acta Amazônica 12(2), pp. 339-346, 1982.

Medidas de radiação solar global, ao nível do solo, foram realizadas na sede do INPA em Manaus-AM, com um piranômetro Eppley, no período de 1977 a 1979.

Foi estudada a correlação entre a radiação solar global e a insolação. O resultado obtido foi  $Q_g = Q_0 (0,26 + 0,49n/N)$ . São apresentados também os valores diários da radiação e de insolação. O valor médio diário, de radiação solar encontrado para o período, foi de 373 cal/cm<sup>2</sup>.dia.

31. Sá Diniz, T.D. de A., Bastos, T.X., Kobayashi, L.T., da Silva, M M M. e Araújo J. A., Avaliação do Potencial de Energia Solar no Trópico Úmido Brasileiro - Resultados parciais, Anais do III Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia - Instituto Agrônomo/SAESP, pp.111-122, 1984.

São apresentados os resultados dos estudos que o CPATU-EMBRAPA vêm desenvolvendo desde 1982, com vistas à avaliação do potencial de energia solar no trópico úmido brasileiro. Tais estudos, englobam o cálculo de constantes de equações estimativas da radiação global, utilizando registros de brilho solar, nebulosidade, e de radiação disponíveis; medição e análise da distribuição diária da radiação global em estações actinométricas, sob responsabilidade do CPATU; comparação do desempenho de diferentes sensores de radiação global e de equações estimativas desse parâmetro, em relação a piranômetro calibrado segundo a WRR\* e, avaliação do desempenho de secadores, utilizando energia solar, para produtos agrícolas no trópico úmido brasileiro.

32. Sá, D.F. de, Radiação Solar e sua Importância no Aproveitamento Agrícola de Encostas no Nordeste do Brasil, São José dos Campos-SP, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1976. Relatório Técnico INPE-1005-TPT/049, 1976.

Mediante o uso dos dados médios de radiação solar global diária incidente sobre uma superfície plana horizontal, ao nível do solo (24 estações da Rede Meteorológica do Nordeste), foram traçadas 12 cartas mensais e 1 anual de radiação global média para o Nordeste do Brasil.

Foi calculada também, a radiação global incidente sobre superfícies planas com inclinações de 5°, 10°, 15°, 20°, 30°, 45°, 60°, 75° e 90°, para as exposições N, NE, E, SE, S, SW, W e NW, válidas para as vizinhanças das referidas estações. Tais determinações, além do objetivo agrônomo de contribuir para o estudo do aproveitamento de encostas, poderá constituir um valioso subsídio na aplicação de modelos matemáticos que procurem estudar o clima da região, levando em conta a radiação solar incidente na superfície. Também foi incluída uma aplicação preliminar deste estudo, no estabelecimento da evapotranspiração potencial relativa, para as encostas úmidas da Serra de Baturité-CE, incrustada no sertão semi-árido daquela região.

33. STA. CATARINA, Atlas Solarimétrico do Estado de Santa Catarina, Comissão Estadual de Energia, Secretaria de Planejamento do Estado de Santa Catarina, 1982.

Neste trabalho, são analisados dados de vinte e quatro estações espalhadas pelo Estado, obtendo-se tabelas de dados e mapas de isolinhas. As tabelas de dados correspondem ao valor de radiação solar global média diária para cada mês, a média diária anual e o total de radiação recebida no ano. São apresentados também os dados médios diários mensal e anual de insolação, coeficientes de transmissividade da atmosfera, utilizados na equação de Angstrom e ainda valores da razão entre o número de horas de brilho solar observado e o número de horas de brilho máximo possível para cada mês. Os mapas apresentados são para a radiação solar global média diária mensal e anual.

34. 6º DISME (6º Distrito Meteorológico - Instituto Nacional de Meteorologia), Dados de insolação, Texto datilografado, 1995.

Trata-se exclusivamente de tabelas com dados de insolação total para diversos

35. Tubelis, A., Nascimento, F.J.L. do e FOLONI, L.L., Radiação solar global e insolação em Botucatu-SP, Botucatu Científica, Série A, 2(1) : 25-34, 1977.

No trabalho, é feita uma análise das médias mensais de radiação solar global diária, radiação solar global relativa diária, insolação diária e insolação relativa diária para Botucatu - SP. O objetivo do trabalho foi contribuir para o "Levantamento Solarimétrico do Território Nacional", do Programa de Pesquisas e Desenvolvimento em Energia.

Os dados meteorológicos utilizados foram medidos no posto meteorológico do Departamento de Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônomicas, instalado na Estação Experimental "Presidente Médici". Os dados diários de insolação, foram registrados por heliógrafos Campbell - Stokes e a Radiação Solar Global registrados por actinógrafos tipo bimetálicos em diagrama semanal. O período de medição foi de junho/71 a dezembro/74.

36. UFPB (Universidade Federal da Paraíba), Dados solarimétricos, Texto datilografado, Núcleo de Meteorologia, Setor de Solarimetria, sem data.

Trata-se exclusivamente de tabelas com dados de insolação ou radiação para diversos períodos e locais.

37. Villa Nova, N.A. e Sallati, E., Radiação Solar no Brasil, Anais do I Simpósio Anual da Academia de Ciências do Estado de São Paulo, pp. 27-61, 1977.

Nesta publicação, foi feito um mapeamento solarimétrico para o Brasil.

Foram analisadas e/ou utilizadas as informações de 97 estações do Brasil:

Acre(2), Amapá(1), Amazonas(1), Bahia(8), Ceará(7), Espírito Santo(1), Goiás(1), Maranhão(3), M.Gerais(2), M.Grosso(12), Pará(5), Paraíba(16), Paraná(7), Pernambuco(4), Piauí(2), Rio Grande do Norte(2), Rio Grande do Sul(11), São Paulo(11) e Sergipe(1).

As seguintes instituições foram as responsáveis pelas medidas:

INMET (diagramas de actinógrafos cotados com planímetros e dados de insolação); INPA (piroheliômetro Eppley-início de 1976, série de dois anos); Instituto Agrônomo de Campinas (CIA); Laboratório de Energia Solar da UFPB; Secretaria de Agricultura do Rio Grande do Sul; SUDENE, Fac. Ciências Agrárias do Pará.

## 6.2 OUTRAS PUBLICAÇÕES CONSULTADAS PARA ELABORAÇÃO DO ATLAS SOLARIMÉTRICO

01. Azevedo, D.C., Pinto, M.M. e Azevedo, D.L., Distribuição da radiação solar na região Amazônica, Departamento Nacional de Meteorologia, 2º Simpósio Brasileiro de Energia Solar/João Pessoa/PB, 1974.

É calculada a radiação global média mensal e média de 10 dias para 15 estações na região Amazônica, partindo-se de dados de insolação. Os dados se referem ao período de 1951 a 1960. Também são apresentados dados médios mensais e de 10 dias de Razão de insolação (n/N); Radiação absorvida; Radiação emitida e Radiação líquida.

02. Burgos, J.J., González, E. y Carrillo, J.S., Estimación de la radiación global en Venezuela, Agronomía Tropical, Vol. XV, sem maiores informações.

Verificação e adaptação para diferentes regiões climáticas, das expressões de diversos autores da relação entre radiação global e outros elementos meteorológicos. Na Venezuela existem umas 15 estações de radiação global (piranógrafo), 43 estações com observações de insolação (heliógrafo), 35 com observações de nebulosidade. Considerou-se as seguintes estações com registros de radiação global, registros diários de heliógrafos Campbell-Stokes e de pluviógrafos e observações de nebulosidade: Mérida, Coro, San Fernando de Apure, Maturin.

Calculou-se os totais mensais de radiação global, os valores reais e relativos de insolação e os valores médios mensais de nebulosidade geral e precipitação diurna. Estimou-se a radiação global em função da radiação recebida sobre a terra sem a atmosfera (valor teórico), insolação relativa e nebulosidade geral (valores experimentais)

03. Bastos, T.X. e Diniz, T.D.de A.S., Estudos microclimáticos - Radiação global em áreas de floresta e regeneração natural em Capitão Poço-PA, Pesquisa em Andamento, nº 137, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, (CPATU), Belém, Pará, pp. 1-4, 1984.

Foi feita uma identificação de microclimas naturais resultantes de modificações advindas de alterações no ecossistema - campo experimental do CPATU em Capitão - Poço-PA. Foram realizadas medidas de temperatura, umidade do ar, precipitação pluviométrica, radiação global e temperatura do solo. Também foram obtidos dados de Radiação Global diária (jan. a out/83) em três condições de incidência: reserva de floresta, vegetação em processo de regeneração natural e área gramada da estação meteorológica, a 1°46'S de latitude e 47°04'W de longitude.

04. Burgos, J.J., González, E. y Carrillo, J.S., Estimación de la radiación global en Venezuela, Agronomía Tropical, Vol. XV, sem maiores informações.

Verificação e adaptação para diferentes regiões climáticas, das expressões de diversos autores da relação entre radiação global e outros elementos meteorológicos. Na Venezuela existem 15 estações de radiação global (piranógrafo), 43 estações com observações de insolação (heliógrafo), 35 com observações de nebulosidade. Considerou-se as seguintes estações com registros de radiação global, registros diários de heliógrafos Campbell-Stokes e de pluviógrafos e observações de nebulosidade:

Mérida, Coro, San Fernando de Apure, Maturin. Calculou-se os totais mensais de radiação global, os valores reais e relativos de insolação e os valores médios mensais de nebulosidade geral e precipitação diurna. Estimou-se a radiação global em função da radiação recebida sobre a terra sem a atmosfera (valor teórico), insolação relativa e nebulosidade geral (valores experimentais).

05. Butler, D.R. e Miranda, R.C., Estimativa do fluxo de radiação global no Centro de Pesquisa do Cacau e áreas circunvizinhas, Revista Theobroma, V. 13, nº 4, Centro de Pesquisa do Cacau, Ilhéus, Bahia, 1983.

São analisados os valores diários de radiação, 1973-1975, estimados a partir de dados de insolação, utilizando a correlação de Angstrom, levantados no Centro de Pesquisa do Cacau em Ilhéus/BA. Determinou-se os valores mensais de "a" e "b", sendo posteriormente tabelados. Faz-se a análise dos valores de "a" e "b", inclusive comparando com resultados de outros locais

06. Cardon, D.A. e Maltez, M.G.L., Influência da nebulosidade na estimativa da radiação global em Belém, Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Belém, PA, pp. 202-210, 1987.

Neste trabalho, é feita uma análise da aplicação da Equação de Angstrom modificada para obtenção de radiação a partir de insolação em Belém /PA. No método proposto, atribui-se a cada hora o peso energético que lhe corresponde, ao contrário do método clássico, onde se atribui o mesmo "peso" à todas as horas de insolação. Os resultados finais não mostraram grandes diferenças entre o método proposto e o método clássico.

07. Ceballos, J.C., Moura, G.B. de A., Bezerra, V. de F. e Farias, J.D.A., Desempenho de heliógrafos e actinógrafos na estimativa de insolação e fluxo direcional, Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Ciências Atmosféricas, CCT - Campus II - Campina Grande, PB, sem data.

São comparadas as precisões exibidas por dois instrumentos usuais: heliógrafo do tipo Campbell-Stokes e actinógrafo Fuess (do tipo Robitzsch), para estimativas de insolação e de irradiação à incidência normal. Os dados provêm de estações da rede solarimétrica da UFPB (situadas no Estado da Paraíba). A calibração de actinógrafos com relação a piranômetro (PSP- Eppley) evidencia desempenho excelente, tanto para irradiações como para irradiação global diária (Qg). Os erros associados são da ordem de 3-5% e 3-4%, respectivamente. O fluxo direcional médio horário pode ser avaliado mediante partes de actinógrafos (com e sem banda de sombreamento), e utilizado para avaliações acuradas de fração horária de insolação.

A comparação com heliógrafo evidencia a imprecisão deste instrumento, sugerindo limitar seu uso à estimativas de médias mensais de insolação diária. A insolação diária determinada por actinógrafo exibe linearidade excelente com relação à irradiação à incidência normal  $Q_n$  (não é o caso dos heliógrafos); por outro lado, é aproximadamente linear com relação à irradiação direta ( $Q_g - Q_d$ ).

Propõe-se um critério de estimativa do coeficiente linear, que varia entre 1,25 e 1,5. Os resultados sugerem que o erro previsto é da ordem ou inferior a 7%.

08. Ceballos, J.C., Moura and G.B., Solar radiation assessment using Meteosat 4-VIS imagery, Solar Energy, Vol. 60, no. 3/4, pp. 209-219, 1997.

Foi feita uma estimativa da radiação solar no Nordeste do Brasil, utilizando imagens de alta definição do satélite Meteosat 4-VIS. A referência terrestre foi feita pelas estações actinográficas do Estado da Paraíba. Foi desenvolvido um modelo físico simples, baseado em duas hipóteses básicas: os intervalos visível e infravermelho são desacoplados e a transferência radiativa no visível é essencialmente conservativa. O resultado do modelo é bom em escala mensal, produzindo um desvio padrão menor que  $10 \text{ W/m}^2$ . Como esperado, as principais fontes de erro parecem ser a refletividade planetária e a nebulosidade.

09. CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), Radiação solar no Estado de Minas Gerais, Relatório Técnico, TN/TNI-134, Minas Gerais, 1978.

Neste Relatório é apresentado o cálculo da intensidade e distribuição da energia solar (direta e difusa) no estado de MG, comparando-o com outras regiões da terra, estimando-se os custos e viabilidade de seu aproveitamento.

A estimativa num plano horizontal, baseia-se no "Método de Jeevananda Reddy", S., Solar Energy, Vol. 13 (1971). Com dados mensais de horas de insolação, dias de chuva e umidade relativa do ar, para o período de 1918 a 1960, foram calculados para 35 localidades os valores máximos, médios e mínimos da radiação solar média diária anual incidente em plano horizontal na superfície terrestre.

Os resultados, apresentam em média, 2195h de insolação por ano, sendo o Norte, Noroeste e o Sudeste as regiões mais ensolaradas, com decréscimo ao se deslocar para leste. A energia Solar é mais intensa no Norte do Estado; o Leste e o Sul apresentam os menores níveis. Também foram feitas comparações dos níveis de radiação solar com valores de diversos países. Apresenta ainda os custos de geração de energia elétrica para o Estado, oriunda de diversas fontes.

10. CEPEL (Centro de Pesquisa de Energia Elétrica), Dados de radiação solar, sem maiores informações, 1995.

Disquete com dados de radiação global horizontal, radiação direta normal e radiação difusa horizontal, médias de 10 min. para o período de 01/05/94 a 30/04/95, no município de Salvaterra, no Pará.

11. Cervelline, A., Salati, E. e Godoy, H., Estimativa da distribuição da energia solar no Estado de São Paulo, Bragantia, Vol. 25, nº 3, 1966.

Os autores analisam a distribuição da energia solar no Estado de São Paulo, área limitada pelas latitudes de  $20^\circ \text{ S}$  a  $25^\circ \text{ S}$ . É apresentada uma equação média para determinação da radiação na superfície, partindo de dados de insolação para as condições da referida área.

Utilizou-se o método clássico da correlação entre dados de actinógrafos e heliógrafos. A radiação solar é estimada a partir da insolação por Angstrom, para várias localidades do Estado de São Paulo, e são obtidas as constantes "a" e "b" para cada local.

12. Costa, H.S. e Fraidenraich, N., Estimativa da componente direta da radiação solar no Nordeste brasileiro, *Ciência e Cultura*, Vol. 33, Fasc. 5, pp. 684-689, 1981.

O trabalho procura tratar a radiação solar no Nordeste em termos de suas componentes direta e difusa. No estudo é calculado, a partir de correlações, a componente direta da radiação solar para 24 estações do Nordeste que possuem actinógrafo.

Os resultados são apresentados na forma de tabelas com valores diários médios mensais e anual de radiação total, direta e de radiação fora da atmosfera e médias mensais e anual do índice de transmitância da atmosfera. Os valores são colocados para cada estação. Também é apresentado um mapa do Nordeste com demarcação de algumas regiões, de acordo com a classificação estabelecida a partir do nível de radiação direta.

13. Diniz, T.D. de A.S., Bastos, T.X., Kobayashi, L.T. e da Silva, M.M.M., Radiação global e seus componentes em Belém, Pará, *Pesquisa em Andamento*, nº 135, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, (CPATU), Belém, Pará, pp. 1-4, 1984.

O CPATU vem desenvolvendo atividades visando reunir, gerar e analisar dados de Radiação Global e seus componentes em Belém-Pará. Assim, neste trabalho, foi realizada a análise da variabilidade da radiação global diária, cujas medidas foram realizadas na Estação Meteorológica do 2º Distrito do INMET (latitude 1° 27' e long. 48° 28' W), com Piranômetro Eppley acoplado a integrador de energia, no período de maio de 1978 a dezembro de 1981.

14. Diniz, T.D. de A. S., Bastos, T.X. e da Silva, M.M.M., Levantamento climático da Amazônia Brasileira - Contribuição da rede de actinógrafos do CPATU ao conhecimento da radiação global, *Pesquisa em Andamento*, nº 138, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, (CPATU), Belém, Pará, pp. 1-3, 1984.

O CPATU - Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, em 1982 iniciou a implantação de uma rede de Actinógrafos, cobrindo 12 (doze) localidades distribuídas em cinco unidades Federativas da Amazônia. Este trabalho apresenta tabelas com localização das estações, modelo do actinógrafo e início das observações. Também são apresentados gráficos com valores médios e extremos mensais de radiação global (ly/dia) em áreas cobertas por esta rede.

15. Diniz, T.D. de A. S., Cardon, D.A. , Bastos, T.X. e Maltez, M.G.L., Relação entre Radiação Solar Global e Insolação para a região de Belém, Pará, I Simpósio do Trópico Úmido, EMBRAPA/CPATU, Belém, Pará, 12-17 de novembro de 1984.

Foram avaliados 1274 pares de dados diários de radiação solar global (Q) e de insolação (n), obtidos entre 1978 e 1983, em Belém, Pará, com vistas à determinação de modelos estocásticos do tipo Angstrom-PreScott, para a estimativa da radiação solar global, utilizando valores diários de radiação solar no topo da atmosfera (Qo) e do comprimento do dia (N). Com a totalidade dos dados,

foi obtida a seguinte relação:  $Q=Q_0(0,266+0,409 n/N)$ , enquanto que a aplicação de testes estatísticos apropriados revelou dois períodos distintos dentro do ano.

O primeiro, de novembro a maio, correspondendo aos meses chuvosos e de transição, e o segundo, de junho a outubro, para os quais foram desenvolvidas, respectivamente, as equações:  $Q=Q_0(0,275+0,376 n/N)$  e  $Q=Q_0(0,261+0,428 n/N)$ . Os resultados mostraram boa concordância com os obtidos anteriormente para a mesma região, com menores séries de dados, bem como os encontrados para áreas geográficas e/ou climaticamente semelhantes a esta.

16. ECEPLAN (Escritório Central de Planejamento e Controle), Atlas Climatológico do Brasil (Reedição de Mapas Seleccionados), Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, 1969.

Atlas direcionado para a agricultura, com dados de 371 estações meteorológicas, no período entre 1911 e 1942. Trabalho provisório até a publicação de um Atlas completo, correspondente ao período "standard" de 1931 a 1960, estabelecido pela Organização Meteorológica Mundial. Utiliza dados de 371 estações meteorológicas com períodos variáveis, compreendidos entre 1911 e 1942.

17. EMDAGRO (Empresa Agropecuária do Sergipe), Dados climatológicos, Texto datilografado, sem maiores informações, 1996.

Dados médios mensais e anual de insolação para o período de Abr/73 a Dez/95 e valores médios anuais da estação de Boquim/SE. Outros dados apresentados: Temperatura do ar: média máx/média, mín/máxima e mínima absoluta/média, umidade relativa, nebulosidade, precipitação e evaporação total.

18. FERNANDO DE NORONHA, Dados de Insolação e Radiação Solar, Universidade Federal da Paraíba, Núcleo de Meteorologia Aplicada, Texto Datilografado, sem maiores informações.

Dados diários de insolação, no período de 1964 a 1972 e de radiação solar, no período de 1977 a 1978, em Fernando de Noronha.

19. FRANCA, Fundação Padre Leonel, Relatório Final, Mapeamento do potencial nacional de energia Solar, Rio de Janeiro, RJ, 1988.

Trata-se de um extenso trabalho de análise de informações solarimétricas publicadas no Brasil. Os Relatórios do projeto tratam dos seguintes temas em detalhe.

1) Introdução:

Seleção de bibliografia de trabalhos sobre potencial solar;  
Análise da distribuição das estações, tipo de dados e instrumentos;  
Análise dos procedimentos (fórmulas, etc.) => a homogeneidade de comparação inter-regionais.

2) Análise dos Enfoques Metodológicos dos Trabalhos.

3) Levantamento da Rede Solarimétrica Nacional.

20. Frulla, L.A., Gallegos, H.G., Gagliardini, D.A. and Atienza, G., *Analysis o satellite-measured insolation in Brazil, Solar & Wind Technology, Vol.7, n.º. 5 1990.*

Comparação entre medidas de radiação solar obtidas por satélite (GOES) e medidas realizadas por 9 estações terrestres que possuíam piranômetro Eppley. A área abrangida, pelo estudo corresponde ao território brasileiro, localizada entre 15 e 34 graus S de latitude e 40 graus e 67 graus O de longitude. Os resultados da comparação para valores diários mostram uma boa linearidade entre as medidas, com coeficiente de correlação da ordem de 0,9 e erros entre 15-20% em relação ao valor médio.

Os resultados são melhores para os dias claros em relação a dias parcial ou totalmente nublados. Os autores concluem que é possível estimar a radiação solar na superfície terrestre da região sul do Brasil, utilizando-se dados de satélite e o modelo operacional desenvolvido. É sugerida a reanálise do modelo que foi obtido para o caso dos EUA, o que poderia melhorar os resultados para a região sul do continente.

21. Galdino, M.E., *Tratamento e análise dos dados anemométricos e solarimétricos provenientes de Joanes/Salvaterra-PA, Relatório Técnico, ACEL/SGC, CEPTEL, 1995.*

Descrição do tratamento e análise dos dados anemométricos e solarimétricos desta estação meteorológica, para levantamento do potencial eólico e solar e futura instalação de sistema híbrido-fotovoltaico-eólico-diesel, conectado à rede elétrica. As medições realizadas foram : radiação global horizontal, direta normal e difusa horizontal; temperatura ambiente, velocidade e direção do vento. Foram feitas também, avaliações eólicas e de radiação solar, classificando o local como bom sítio em termos de potencial eólico e solar. Sugere-se aprofundamento da análise, com ajuste de distribuição de Weibull aos dados de vento, correlação da curva de distribuição de velocidade do vento, determinação dos parâmetros de modelo de radiação solar, simulações utilizando as séries de dados disponíveis.

22. Grossi Gallegos, N.G., Atienza, G.Y. y Garcia, M., *Cartas de radiación solar global diária para la region meridional de America del Sur, II Congreso Interamericano de Meteorologia y V Congreso Argentino de Meteorologia, Buenos Aires, Argentina, 1987.*

Foi realizado o mapeamento solarimétrico da região da América do Sul compreendida entre 10 graus e 60 graus de latitude Sul, o que engloba boa parte do território brasileiro. Foram elaborados 12 mapas mensais, do valor médio diário da radiação global no plano horizontal. Foram utilizados principalmente os dados de piranômetros, complementados com extrapolação baseada nas características de homogeneidade e isotropia da radiação solar em certas regiões. Também foram utilizados dados de actinógrafos e heliógrafos, além de estimativas obtidas por satélite.

Cada tipo de dados foi analisado e ponderado, de acordo com a qualidade do instrumento e período de medição.

Os instrumentos citados acima estavam localizados em estações espalhadas pelos países compreendidos na área estudada, ou seja, Argentina, Chile, Uruguai, Paraguai, Brasil, Peru e Bolívia. Os mapas elaborados são baseados em dados com período de registro ou densidade de instrumentos suficientes para preencher os requisitos de significação climatológicas.

23. Grossi Gallegos, H., *Estado de conocimiento del recurso solar en la Republica Argentina, Relatório Técnico para o Programa de Energia não Convencional da Subsecretaria de Política e Planejamento da SECYT, Buenos Aires, 1994.*

O trabalho aborda diversos temas de interesse, no âmbito da solarimetria. Os tópicos principais são: Antecedentes Nacionais e Internacionais; Instrumentos de medição e sua precisão; Rede solarimétrica na Argentina; Evolução da radiação solar nos outros países da região; Estudo da variabilidade espacial dos dados de radiação solar global; Estudo da representatividade temporal dos valores médios de radiação; Estudo de correlações alternativas; Atividades multinacionais em execução e Cartas de radiação solar global. Além disso, discute também os critérios básicos que deverão nortear a implantação de uma rede solarimétrica.

24. Grossi Gallegos, H., Nolmann, L. y Atienza, G., *Evaluación preliminar del recurso solar en Argentina, 8ª Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energia Solar, Santa Rosa, Argentina, 1983.*

Apresentam-se neste trabalho os resultados das medidas realizadas durante os vários anos de operação da rede solarimétrica Argentina, indicando-se a distribuição espaço-temporal da radiação solar global diária média registrada na zona considerada, e analisando-se a distribuição de frequência da mesma. Discute-se a validade dos resultados e compara-se os mesmos com os de outros trabalhos existentes.

25. Grossi Gallegos, H., *Distribución espacial del promedio anual de la radiación solar global diária en América del Sur, Memorias do III Congreso Nacional de Energia, La Serena, Chile, pp.51-56, 1996.*

Neste trabalho, é elaborado um mapa de radiação média anual para América do Sul. São discutidos aspectos metodológicos como: a possibilidade de proceder extrapolações de valores mensais médios com incertezas de 10 % até 200 Km do lugar de medição (com nível de confiança de 90 %) ; estimativa da radiação solar utilizando equações do tipo Angstrom, que introduz incerteza maior que 10 %; estimativa baseada em imagens de satélite, que produzem incerteza entre 8 e 13 % em valores mensais comparados com dados terrestres.

26. IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), *Atlas Nacional do Brasil, sem data.*

Mapas do Brasil consultados na escala de 1:10.000.000 e 1:5.000.000 : Relevos - Unidades de Relevos e Hipsometria, Tipologia Climática - Umidade Efetiva, Cobertura Primitiva da Vegetação Nativa - Principais Tipos.

27. IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), *Anuário Estatístico, 1994.*

Obra com a síntese das pesquisas, estudos e levantamentos realizados pelo IBGE e

demais órgãos que compõem o Sistema Estatístico Nacional. A seção "CLIMA", tabelas 1.16 a 1.39 - Principais Observações Meteorológicas de diversos Municípios, contém, entre outros, dados de Insolação total mensal (horas e décimos), 1992 ou 1993.

28. INEMET (Instituto Nacional de Meteorologia), *Relações de Estações meteorológicas de superfície*, Ministério da Agricultura, DIOME/Brasília, 1978.

Este documento contém todas as estações operadas pelo INEMET (atual INMET) e às pertencentes a outros órgãos, operando ou que operaram em convênio com este Instituto. O INEMET classificou as estações meteorológicas em: Climatológica Principal (observações climatológicas e sinóticas), Agroclimatológica (observações de dados meteorológicos e biológicos) e climatológica auxiliar (observações das temperaturas extremas e da precipitação e outros elementos necessários), relacionadas por Estado e numeradas conforme critérios da OMM.

Estas estações (em funcionamento, fechadas temporariamente e definitivamente, porém com dados climatológicos listados), estão relacionadas em tabela, contendo: número indicativo - antigo/atual, estações, ano de fundação, tipo, coordenadas geográficas - latitude/longitude, altitudes - da cuba do barômetro da estação.

29. INEMET (Instituto Nacional de Meteorologia), *Normais Climatológicas (1961-1990)*, Instituto Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, RJ, 1979.

A edição refere-se a dados obtidos no período de 1931 a 1960 para 158 estações situadas no Brasil. Além da insolação, a publicação apresenta tabelas com a relação das estações, dados de pressão atmosférica, temperatura ambiente, precipitação, evaporação, umidade relativa e nebulosidade. Os dados de insolação são em total de horas média para cada mês e o total médio anual.

30. INEMET (Instituto Nacional de Meteorologia), *Relação de estações meteorológicas de superfície*, DIOME, Brasília, DF, 1978.

Relação de estações de superfície operadas pelo INMET ou às pertencentes a outros órgãos que operam ou operaram em convênio com este Instituto. As estações estão listadas por Estado e classificadas de acordo com os tipos de observações realizadas.

31. IPAGRO (Instituto de Pesquisas Agronômicas), *Atlas Agroclimatológico- Estado do Rio Grande do Sul, Rede Meteorológica - volume III, Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Instituto de Pesquisas Agronômicas, Seção de Ecologia Agrícola, Porto Alegre, RS, 1989.*

Atlas contendo mapas mensais e anual de Isolinhas de Temperatura Média, Precipitação Pluvial, Número de Dias de Chuva, Umidade Relativa do Ar, Radiação Solar, Insolação e Horas de frio. Contém os seguintes dados solarimétricos: Radiação Solar valor médio diário mensal e anual, com medidas realizadas no período de 1957 a 1984 e Insolação medidos no período de 1957-1984.

32. Justus, C.G., Paris, M.V. and Tarpley, J.D., *Satellite Measured insolation in the United States, Mexico and South America, Remote Sensing of Environment, Vol. 20, pp. 57-83, New York, 1986.*

Neste trabalho, é descrito o desenvolvimento, testes e aplicações de métodos para estimativa da radiação solar por medição de satélite. Dados do satélite geoestacionário - GOES são utilizados para a estimativa da radiação diária total em plano horizontal para os Estados Unidos, México e partes da América do Sul.

33. Kessler, M.C. e Corbella, O.D., *Mapas de radiação solar diária total média mensal, sobre superfície horizontal para o Rio Grande do Sul, para os doze meses do ano, Atas do 2º Congresso Latino Americano de Energia, João Pessoa/PB, 1979.*

Apresentam-se as isolinhas mensais da radiação solar no Estado do Rio Grande do Sul. São discutidos os critérios usados para a confecção, as possíveis fontes de erros e a validade dos resultados obtidos.

34. Löff, G.O.G., Duffie, J.A. and Smith, C.O., *World distribution of solar radiation, Solar Energy, Vol. 10, No. 1, 1976.*

São apresentados doze mapas mundiais de isolinhas de radiação total média diária no plano horizontal (na publicação, só são mostrados março, junho, setembro e dezembro - equinócios e solstícios). Os mapas foram traçados com dados obtidos de 661 estações com radiação e 233 com valor estimado a partir da insolação. É mostrada também uma tabela com a distribuição de instrumentos por continente. Avalia-se e discute-se os resultados à luz dos tipos de instrumentos solarimétricos, do período de medição e da metodologia utilizada.

35. Lyra, F., Fraidenaich, N. e Tiba, C., *Solarimetria no Brasil - Situação e Propostas, Grupo de Trabalho em Energia Solar Fotovoltaica - GTEF, Sub-Grupo de Solarimetria, Recife, 1993.*

O trabalho aborda a problemática da obtenção dos dados de Radiação Solar no Brasil, apresentando diagnóstico da solarimetria, propostas para melhoramento da quantidade, qualidade, disponibilidade e acesso aos dados solarimétricos, discussões sobre os tipos de instrumentação utilizada e finalmente o uso de satélites.

As conclusões ressaltam a situação da solarimetria no Brasil como acentuadamente negativa, com problemas de manutenção e operação dos instrumentos, falta de processamento dos dados, carência de pessoal, dados inadequados, seja devido à escassez de estações meteorológicas devidamente equipadas, ou tempo limitado de registros ou imprecisão dos instrumentos de medição da radiação global ou horas de insolação. Salienta-se que a partir de 1977, instalou-se a Rede Solarimétrica com vinte estações, dentro de critérios estabelecidos pela O.M.M (Organização Meteorológica Mundial), criando-se em 1978, o Centro Nacional de Radiação Solar, visando o controle da qualidade dos dados Solarimétricos.

Finalizando, o documento faz uma série de recomendações para que o país possa dispor de uma base de dados solarimétricos confiável e adequado para projetos de sistemas solares.

36. Macêdo, I.C., Comparação entre métodos de mapeamento solarimétrico, Anais do III Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, COPPE/CAPES, 1975.

A insuficiência de dados solarimétricos existentes no Brasil torna necessário o uso de estimativas indiretas. É apresentado estudo dos métodos potencialmente interessantes, desde a relação linear entre fração de insolação e energia total até o uso da cobertura de nuvens dada por satélites síncronos.

Dada a abundância de dados de heliógrafos, o primeiro tipo pode ser aplicado imediatamente ao Brasil, no entanto, recomenda-se o aperfeiçoamento de métodos baseados no cálculo da transmitância direta da atmosfera e medidas da fração de insolação, por sua maior precisão em aplicações locais e maior quantidade de informação resultante.

37. Melo, C., Manual de Radiação Solar para o Estado de Santa Catarina, Santa Catarina, Comissão Estadual de Energia - Governo do Estado, 1982.

Neste trabalho, são apresentados alguns fundamentos de engenharia solar, que permitem calcular a radiação diária média mensal e anual e o total anual incidente sobre uma superfície com qualquer inclinação. Como resultado, são apresentadas tabelas dos valores de radiação, para as 24 cidades com dados disponíveis e para os vários ângulos de inclinação.

38. Mota, F.S., Beirsdorf, M. e Acosta, M.J.C., Estimativa preliminar da radiação solar no Brasil, Ciência e Cultura, Vol. 29, nº 11, 1977.

Utilizando valores de insolação de 96 estações do INMET-Brasil, sendo 90 no período de 1931-1961 e seis estações no período de 1912-1942, os coeficientes "a" e "b" da relação de Angstrom foram obtidos para cada estação. A seguir, foram calculados os valores de radiação global, mensal e anual, e elaborado um mapa da distribuição anual da radiação.

39. Muller, A., Perspectivas de Utilização de Energia Solar em Porto Alegre, Porto Alegre, RS, sem maiores informações, 1976.

Analisa diversos dados climáticos (precipitação, umidade relativa e nebulosidade, inclusive insolação), levantados no 8º DISME do INMET, no período de 1916 a 1975 (60 anos) para Porto Alegre. São apresentadas as médias mensais dos parâmetros climatológicos e é calculada a radiação solar a partir dos valores de insolação.

40. OLADE (Organização Latino-americano de Energia), Atlas de climatologia, Volumes I e II, Quito, Equador, 1987.

É uma base de dados climatológicos que contém as seguintes informações: nome e local da estação, período de observação, tipo de dados medidos, insolação média mensal, radiação média mensal calculada, radiação total máxima média mensal e radiação direta máxima média mensal. Para o Brasil, são relacionados 354 estações (INMET) com dados de insolação e 20 com dados de radiação solar (estimados ou medidos).

41. OMM - WMO - UNESCO, Atlas Climatológico da América do Sul, preparado sob a direção de Hoffmann, A.J., sem data.

Este Atlas contém mapas climatológicos mensais e anuais, de Temperatura Média e Quantidade Média de Precipitação para os países da América do Sul, com dados coletados, para elaboração dos mapas, de 700 e 1700 estações, para temperatura e precipitação respectivamente, correspondentes ao período de 1931-1960, 1951-1960 e de outros períodos como complementação das informações, para o traçado das isolinhas. Os mapas foram publicados na escala 1:10.000.000 e 1:5.000.000.

42. Pereira, E.B., Abreu, S.L., Stuhlmann, R., Rieland, M. and Colle, S., Survey of the incident solar radiation in Brazil by use of Meteosat satellite data, Solar Energy, Vol. 57, no. 2, pp. 125-132, 1996.

As imagens (no espectro visível) do satélite Meteosat-2 foram utilizadas para estimar a radiação solar diária, média mensal sobre o Brasil. O modelo físico denominado IGMK foi utilizado para o período 1985-86 e os resultados comparados com dados de 22 estações terrestres. O desvio médio quadrático entre o modelo e os resultados terrestres foi de 13%.

43. Pinho, J. T., Estudos climáticos do Pará, sem maiores informações, Belém, PA, 1993.

Dados de precipitação média mensal para 100 localidades no estado do Pará. Dados de umidade relativa, temperatura (média, máxima e mínima) e insolação. Valores médios mensais e anuais apresentados, retirados das Normas Climatológicas 1961-1995.

44. 4º DISME-INMET(Salvador/BA),Dados climatológicos, sem maiores informações.

Disquete do 4º DISME - INMET (Salvador/BA) com lista de estações, coordenadas geográficas e valores de insolação, total mensal, no período de 1993-1995.

45. Ratisbona, L.R., The Climate of Brazil, sem maiores informações.

Trata-se de um extenso trabalho que descreve de forma geral o clima do Brasil. Faz uma descrição dos vários aspectos dos elementos climáticos, precedido por uma discussão dos fatores climáticos. A compreensão destes fatores é o instrumental para a explicação da distribuição geográfica e variações anuais dos elementos climáticos.

São mostrados para algumas estações meteorológicas, os elementos mais importantes, em forma de tabelas de dados climatológicos. Finalmente é incluído uma breve exposição das zonas climáticas mais importantes do Brasil, além de algumas questões da climatologia brasileira.

46. Reis, A.C.S., Coelho, T.J.F. e Alves, N.L.L., Estimativa da energia solar global na área do Recife, baseada em registros de insolação, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Ser. Agron. 8:177-179, 1973.

Foi feita uma avaliação estatística de Radiação Global (direta e difusa) a partir de dados de Insolação, na área do Recife, através de equação de regressão entre dados de registros simultâneos de radiação global e de número de horas de insolação. O trabalho apresenta equação obtida por correlação entre dados de radiação global (actinógrafo bimetálico Robitzsch Fuess de rotação diária) e insolação (heliógrafo Campbell Stokes, modelo Fuess) para a estação Meteorológica do Curado-PE (sede do Instituto de Pesquisas Agropecuária do Nordeste- IPEANE), com 306 observações diárias de radiação global e horas de insolação.

47. Rendeiro, G., Ponte, M.X., Gomes, A. e Lima Filho, S. da S., Modelo de radiação para a região Metropolitana de Belém, Simpósio do Trópico Úmido, EMBRAPA/CPATU, Belém, Pará, 12-17 de novembro de 1984.

É proposto um modelo determinístico de radiação solar global numa superfície horizontal, para a região metropolitana de Belém. A metodologia utilizada foi baseada nos dados climáticos e microclimáticos da região, num período significativo e na proposição de um algoritmo baseado na lei da atenuação exponencial da radiação solar. O modelo foi testado mediante comparações com dados medidos de radiação solar global numa superfície horizontal.

48. Ribeiro, A.M.A., Estudo das relações entre radiação solar global e razão de insolação em algumas regiões do Brasil, Dissertação de Mestrado ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 1980.

Na Dissertação de Mestrado são apresentadas as relações entre Radiação Solar Global ( $Q_g$ ) e Insolação ( $n$ ), e propõe-se equações empíricas para a estimativa dos totais de Radiação Solar Global, a partir dos registros de insolação. Dados de 83 estações serviram de base para o estudo.

49. RORAIMA, Dados de Boa Vista (Eletronorte-Flachglas), sem maiores informações.

Radiação Global, direta e difusa: valores médios para cada hora de cada mês medido (12/90 a 01/92) e valor médio diário.

50. Sá Diniz, T.D.A. e Bastos, T.X., Avaliação do clima em áreas agrícolas representativas dos ecossistemas de terra firme na Amazônia brasileira, CPATU, sem maiores informações.

Trata-se de determinar a Radiação Solar Total (global) sobre uma superfície horizontal, quando não se dispõe dos instrumentos que medem diretamente esta grandeza. A estimativa é feita de forma indireta, utilizando dados de insolação, cuja obtenção é mais fácil e se executa em maior número de localidades. Para encontrar a correlação entre ambos valores, utilizou-se dados de quatro localidades venezuelanas com situações geográficas diferentes.

Previamente, trata-se de comprovar a validade para a Venezuela, de algumas fórmulas existentes, baseadas na Insolação e na Nebulosidade. Os resultados do estudo assinalam que não são adequados os coeficientes adotados em outras regiões do mundo. Também estabelece-se que há uma maior correlação

entre Radiação e Insolação que no caso de Radiação/Nebulosidade. Mostra-se graficamente a comparação entre os valores observados (reais) e os computados (estimados), segundo as equações de regressão obtidas. Foram processados dados de um período de quatorze anos (1970 a 1983), provenientes da estação do CPATU.

51. Sá, D.F. de, Radiação Solar Global sobre Superfícies Inclinadas e Evapotranspiração Potencial Relativa na Região da Serra de Baturité -CE, SUDENE, Recife/PE, 1971.

De posse dos dados médios de radiação solar global diária, incidente sobre uma superfície plana e horizontal, ao nível do solo, da estação meteorológica de Fortaleza (26m) e dos dados de insolação - período efetivo de brilho solar (horas e décimos) - da Estação meteorológica de Guaramiranga, calculou-se a radiação global incidente sobre superfícies planas com inclinação de 10°, 20° 30°, para exposições N, NE, E, SE, S, SW, W e NW, válidos para a Serra de Baturité-CE.

52. Sá, D.F. de, Alguns aspectos da energia solar em Mandacaru-BA, SUDENE, B. Rec. Nat., Recife, 11(1/2): 11-26, 1973.

O trabalho apresenta uma revisão bibliográfica dos conceitos fundamentais da radiação solar, com as equações de Angstrom, Penman, Chang, Fritz e MacDonald, Black, Bonython, Prescott, Hounmam, Mateer, Glover e McCulloch, Cervellini, Salati e Godoy, Reis, Coelho e Alves. Foram feitas estimativas da Radiação Solar Diária, incidente sobre uma superfície plana horizontal, situada no topo da atmosfera, baseado em Angstrom e Penman e medição da Radiação Solar que atinge uma superfície plana horizontal, situada a 1,80m acima do solo, com o céu limpo e em condições naturais de nebulosidade, baseado em registros piranográficos. As medições foram efetuadas por heliógrafo Campbell-Stokes e piranógrafo bimetálico Robitzsch-Fuess. O trabalho apresenta dados de insolação medidos por 5 anos e dados de radiação solar medidos com actinógrafo por 4 anos.

53. Santos, J.M., Ratisbona, L.R. e Carneiro, L.M.P., Estimativa da distribuição mensal da radiação solar no Estado do Rio de Janeiro, Boletim Técnico nº 3, Serviço de Meteorologia, Ministério da Agricultura, 1966.

O trabalho trata da estimativa do total de Radiação Solar Global nas diversas localidades do Estado do Rio de Janeiro, tendo por base fórmula empírica com os índices propostos por Cervellini e outros (1965). Período de 36 anos, relativo às observações de insolação em Campos, Cabo Frio, Alto do Itatiaia, Petrópolis, Pinheiro e Teresópolis. São utilizados dados diários de insolação para o cálculo da razão da insolação e estimativa do total da Radiação Solar Global. Os resultados são apresentados em forma de tabelas e gráficos.

54. Santos, P.U.M., Levantamento solarimétrico: Projetos de estudos, dimensionamento e pré-instalação, sem maiores dados, CESP, São Paulo, SP, 1979.

Além do levantamento solarimétrico, o trabalho analisa as necessidades de uma rede para obtenção de dados adequados. Apresenta mapa de insolação média anual no Estado e tabela com valor médio anual de radiação para 16 estações. Tais estações possuem piranômetros (6 das quais com piranômetro com banda de

sombra para medir radiação difusa). Porém, tais dados não foram utilizados e a radiação solar foi calculada por regressão, a partir da dados de insolação.

55. Silva, M.A.V., Aguiar, M.J.N., Nietzsche, M.H. e Silva, B.B., Atlas Climatológico do Estado da Paraíba, Universidade Federal da Paraíba, Núcleo de Meteorologia Aplicada, 2ª edição, Campina Grande, PB, 1987.

Trata-se de um detalhado estudo onde são analisadas e apresentadas tabelas e mapas relativos aos parâmetros climatológicos, tais como: precipitação e temperatura e diagramas com valores mensais de umidade relativa, nebulosidade, frequência relativa de direção e velocidade do vento. Utiliza dados de estações da SUDENE, INMET da PB e estados vizinhos PE, RN e CE.

Em termos de dados solarimétricos, são apresentados mapas com valores médios mensais de insolação diária e valores médios diários de radiação solar global (06 localidades, 3 com período de registro menor que 5 anos).

56. Simas, V.N.D.B., Um modelo numérico para estudo do balanço de radiação solar aplicado à cidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, Instituto Astronômico e Geofísico - USP, 1980.

Utilizando dados meteorológicos e de radiação solar, coletados na Estação Meteorológica do Instituto Astronômico e Geofísico da USP (IAG), calibrou-se o modelo proposto por Lettau e Lettau, para São Paulo, a partir de dados diários, dos anos de 1974, 1975, 1976 e 1978, reproduzindo a média de radiação global observada. Após a calibração, estudou-se as modificações no balanço de radiação de onda curta, decorrentes das transformações no albedo de superfície e da quantidade de aerossóis na coluna atmosférica local.

Foram feitas duas simulações, considerando-se as modificações causadas pela ação do homem; em uma, supondo-se uma variação na quantidade local de aerossóis e na outra, uma variação no albedo da superfície. No primeiro caso, obteve-se que qualquer modificação na quantidade de aerossóis afeta mais a radiação solar direta que atinge a superfície do que a transmissividade atmosférica.

A radiação difusa não apresentou variações significativas, pois a cobertura por nuvens locais é fator dominante. No segundo caso, obteve-se que a transmissividade atmosférica praticamente não é afetada por modificações no albedo da superfície.

57. Tarifa, J.R., Estimativa da radiação solar em função da insolação para Presidente Prudente, Cadernos de Ciências da Terra, Instituto de Geografia-USP, SP, 1982.

Foi obtido o valor de radiação solar para Presidente Prudente, a partir da insolação, mediante o uso da relação de Angstrom.

São apresentados os coeficientes para 2 períodos do ano, primavera-verão, outono-inverno e anual. Há uma abordagem voltada para a metodologia de obtenção das constantes, porém, os dados de radiação não são apresentados.

58. UFPB (Universidade Federal da Paraíba), Boletim solarimétrico e cartas de zoneamento do potencial de radiação solar no Nordeste, Departamento de Ciências Atmosféricas/CCT/UFPB, Subcomissão de Regionalização de Energéticos, Grupo de trabalho sobre Energia Solar, Eólica e de Biomassa, Convênio SERM-PB/UFPB-CT, João Pessoa/PB, 1989.

Na Paraíba, foram realizados vários estudos solarimétricos pelo Núcleo de Meteorologia Aplicada do CCT/UFPB, em Campina Grande. Este núcleo, além de operar diversas estações solarimétricas na Paraíba, realizando o levantamento solarimétrico do estado, elaborou as "Cartas de Zoneamento do Potencial de Radiação Solar no Nordeste".

O Boletim Solarimétrico contém dados de radiação global, difusa e de insolação, além de alguns dados de interesse climatológico, obtidos de dezesseis estações da Paraíba e locais vizinhos ao Estado, sendo duas estações em Pernambuco e uma no Rio Grande do Norte.







### Coordenação e execução



### Financiamento



### Apoio



ISBN 85 - 7315-142-0



9 788573 151428