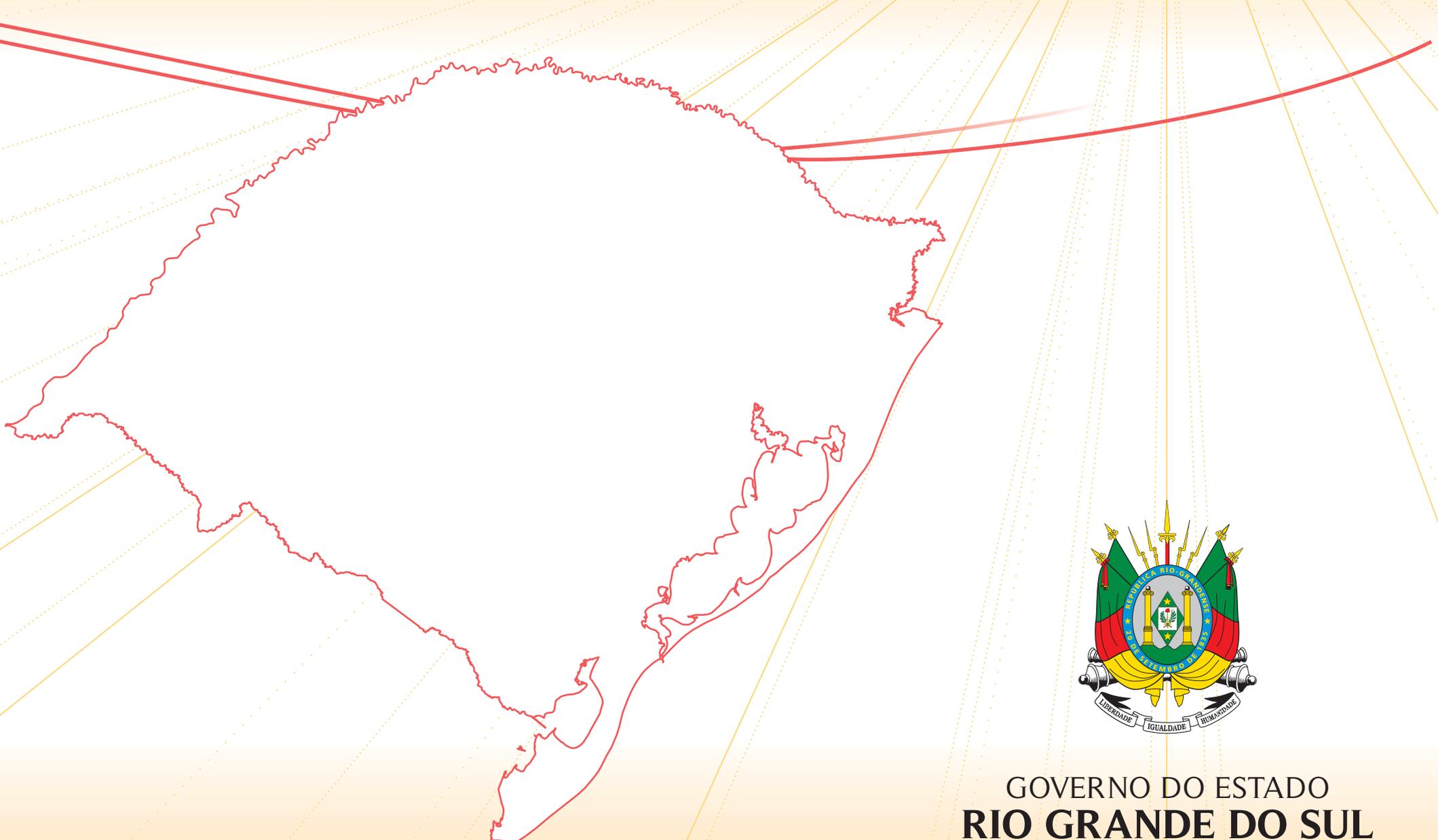
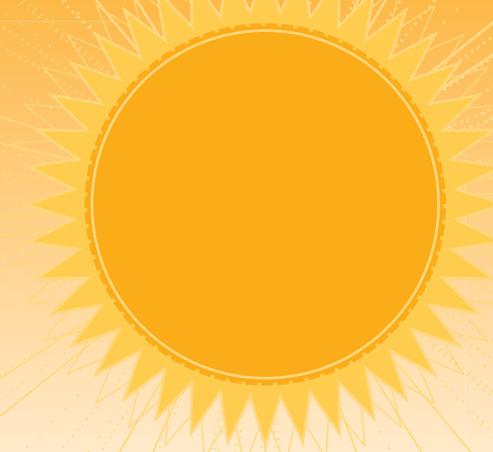
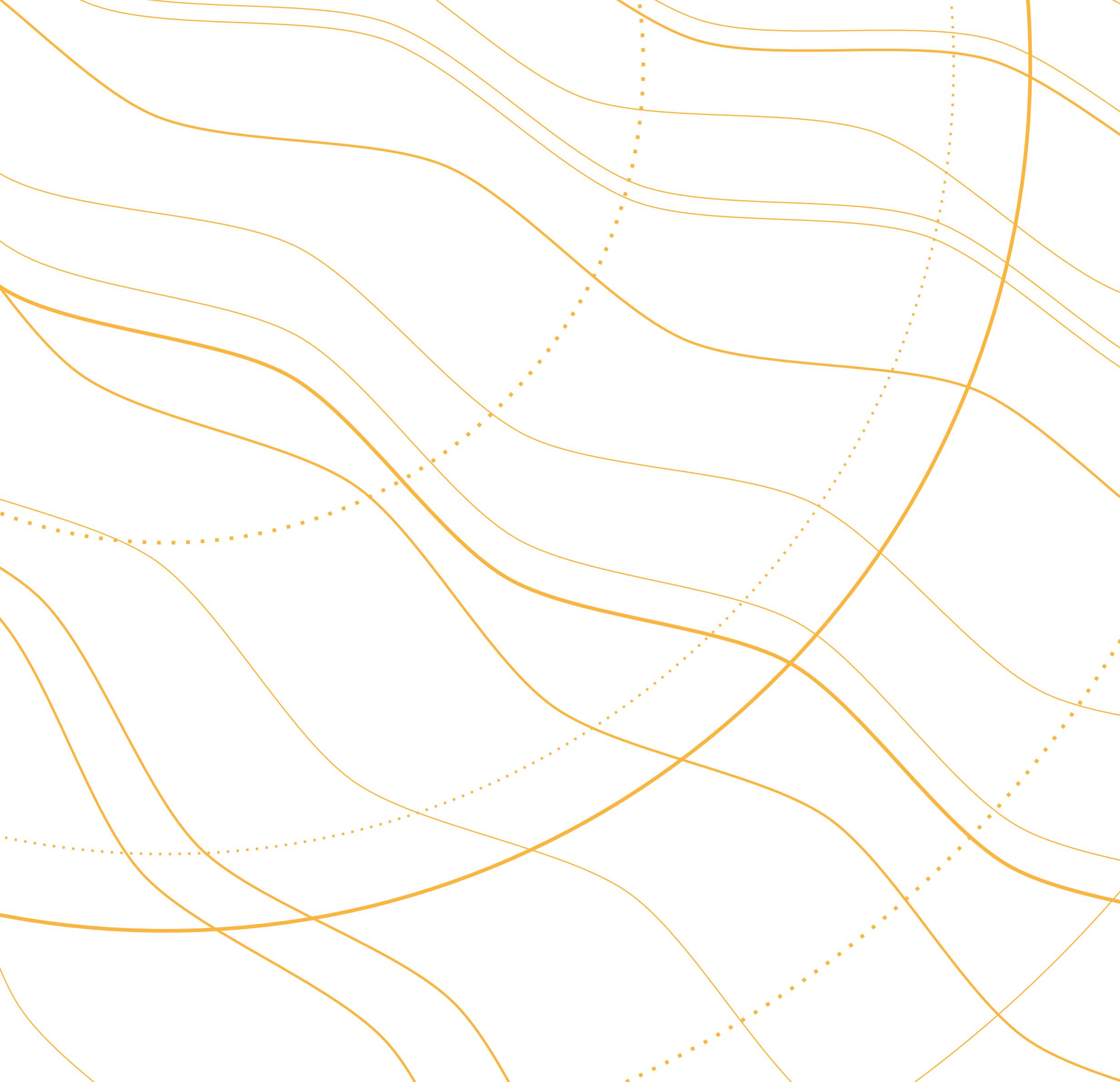
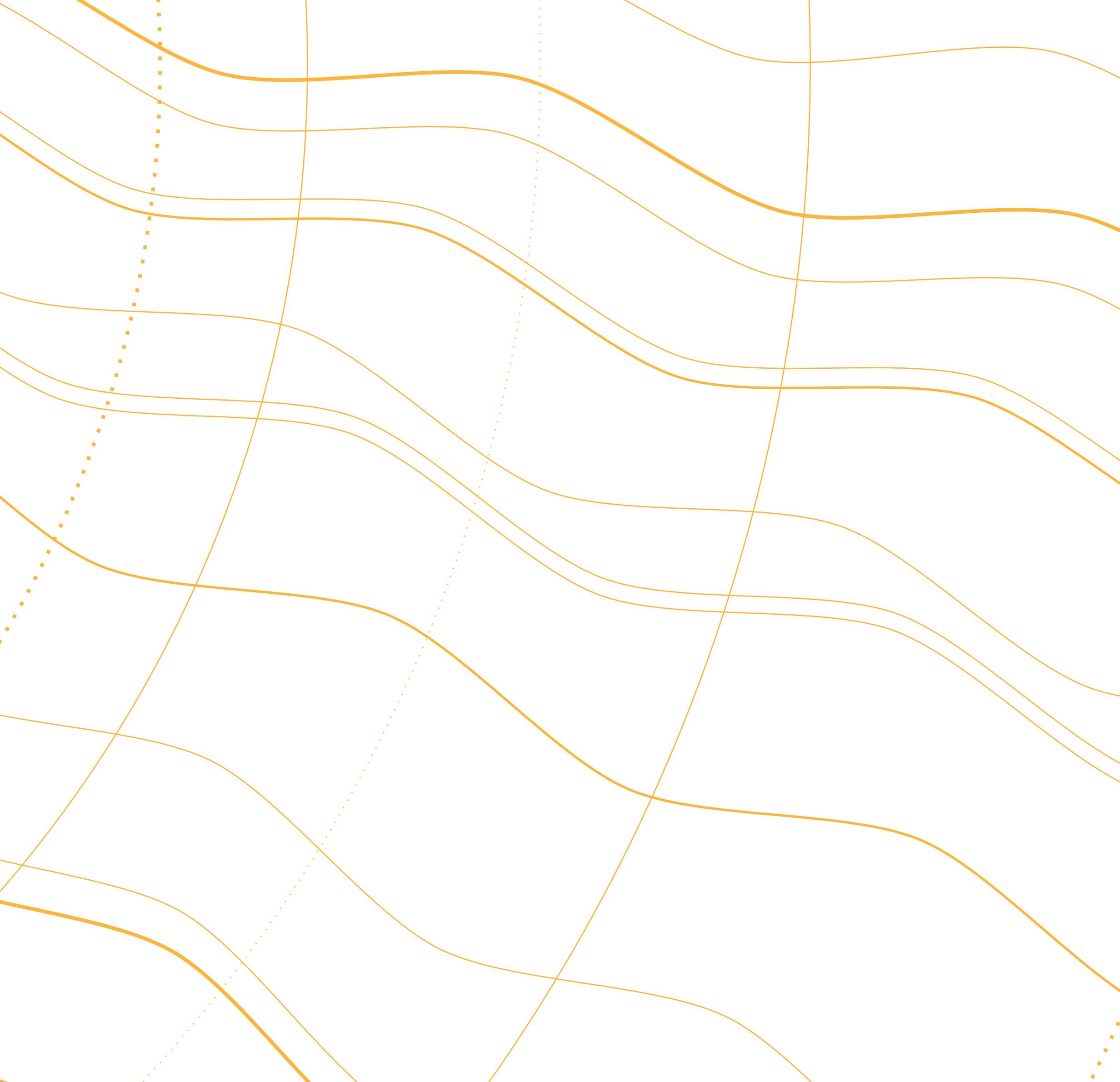


atlas solar
Rio Grande do Sul



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA







atlas solar
Rio Grande
do Sul
• 2018 •



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

atlas solar Rio Grande do Sul

PRODUÇÃO

Estado do Rio Grande do Sul

José Ivo Sartori

Governador

Secretaria de Minas e Energia

Susana Kakuta

Secretária

Eberson José Thimmig Silveira

Diretor de Inovação, Fontes Energéticas e

Mineração

EQUIPE TÉCNICA DE ELABORAÇÃO

Camargo-Schubert Engenharia

Alexander Clasen Back

Fabiano de Jesus Lima da Silva

Fábio Catani

Guilherme Guebur Lima

Isadora Limas Coimbra

Odilon A. Camargo do Amarante

Paulo Emiliano Piá de Andrade

Ramon Morais de Freitas

Vicente Ferrer Correia Lima Neto

Secretaria de Minas e Energia

Eng. Eberson José Thimmig Silveira (Coordenador)

Adm. Márcia Zamberlam

Pontifícia Universidade Católica do

Rio Grande do Sul - PUCRS

Prof. Adriano Moehlecke

Profª. Izete Zanesco

Universidade Federal do

Rio Grande do Sul - UFRGS

Prof. Arno Krenzinger

Eng. César Wilhelm Massen Priebe

Universidade Estadual do

Rio Grande do Sul - UERGS

Prof. Elton Gimenez Rossini

Prof. Fabiano Perin Gasparin

Prof. Rafael Haag

Modelagem de Mesoescala Fornecida pela

UL Truepower

Joan Aymaní

Michael Brower

José Vidal

EDIÇÃO

Fotografias

Bruno Todeschini

Zig Koch

Ramon F.

Ilustrações e Capa

Leo Gibran

Projeto Gráfico e Diagramação

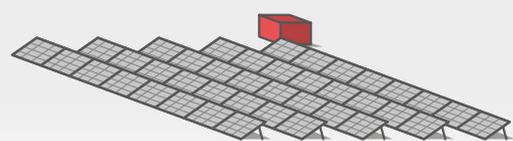
du.ppg.br

Revisão de Texto

Roberto Santos Sobrinho

Impressão e acabamento

OptaGraf



A881 Atlas solar : Rio Grande do Sul / elaborado por Camargo Schubert Engenheiros Associados, SMERS, UERGS, PUCRS, UFRGS. – Curitiba : Camargo Schubert ; Porto Alegre : SMERS, 2018.
144 p. : il., mapas ; 32.6 x 31.4 cm.

Inclui Bibliografia

ISBN 978-85-67342-04-7

1. Energia Solar – Rio Grande do Sul – Mapas. 2. Medições Solarimétricas – Rio Grande do Sul. 3. Geração de energia fotovoltaica – Rio Grande do Sul. 4. Energia – Fontes Renováveis – Rio Grande do Sul. 5. Meio ambiente. I. Camargo Schubert Engenheiros Associados. II. SMERS III. UERGS. IV. PUCRS. V. UFRGS.

CDD (20.ed.) 621.47

CDU (2.ed.) 620.91 (816.5)

IMPRESSO NO BRASIL/PRINTED IN BRAZIL

○ Mensagem do Governador

O Sol é uma fonte inesgotável de energia e tem despertado muito interesse nos últimos anos através da energia fotovoltaica. No Rio Grande do Sul, existe um ambiente favorável para o desenvolvimento dessa fonte, quer pela forte ligação com raízes europeias que fazem uso dela há muito tempo, quer pelo empreendedorismo dos gaúchos.

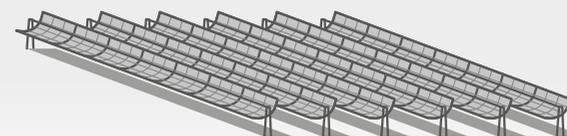
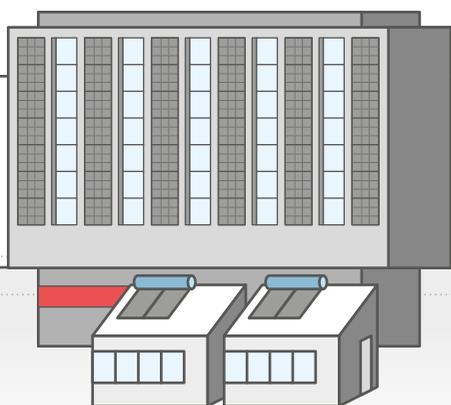
Em janeiro de 2015, comprometidos com um projeto para o desenvolvimento do Estado, criamos a Secretaria de Minas e Energia com o propósito de dar um foco específico para as questões deste segmento fundamental para o crescimento econômico e social. Passados quatro anos, chegamos à vice-liderança nacional em potência fotovoltaica instalada e o quarto lugar em energia eólica.

Apostamos nesse mercado que tem registrado um crescimento exponencial, gerado muitas oportunidades de trabalho em projetos, instalações, vendas de equipamentos e apontado excelentes perspectivas para o estabelecimento da cadeia produtiva e atração de empresas nacionais e estrangeiras.

Criamos a Lei 52.964/2016 sobre isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias na Geração Distribuída e pela Resolução CONSEMA 372/2018 concedemos a isenção de Licenciamento Ambiental para autoprodução e geração distribuída de energia elétrica a partir de fonte solar ou eólica, regradadas pela Resolução Normativa nº 687 da Agência Nacional de Energia Elétrica.

O Atlas Solar é uma fonte importante de informação, especialmente para os empreendedores. Deixa um legado para as futuras gerações e enaltece o nosso papel como indutor de políticas sustentáveis.

José Ivo Sartori
Governador do Estado



○ Apresentação

O Atlas Solarimétrico do Rio Grande do Sul é um importante instrumento para utilização no desenvolvimento de políticas públicas e no incentivo ao uso da energia do Sol para a produção de energia elétrica ou para o aquecimento de água, e complementa outros trabalhos dessa natureza tais como os Atlas Eólico e de Biomassa, publicados em anos recentes. Ele exibe as informações detalhadas do potencial de Radiação Solar apontando os locais mais adequados para a implantação de sistemas de produção de energia a partir da energia solar.

É uma ferramenta fundamental para atrair empreendimentos no setor, identificar o potencial da energia solar, promover o conhecimento inerente ao aproveitamento desta fonte de energia, além de gerar uma base de dados para futuros empreendimentos no Estado. Dentro deste contexto, os resultados aqui alcançados permitem uma apresentação do potencial da energia solar bem como o levantamento de necessidades que possam servir de vetores para o desenvolvimento da indústria e aos empreendimentos de interesse.

Um dos produtos desse estudo mostra que, com a utilização de apenas 2% da área não urbana do Estado, considerada apta para instalação de projetos fotovoltaicos, é possível instalar uma potência de 23 GW de energia fotovoltaica e produzir, anualmente, cerca de 34 TWh de eletricidade, número equivalente à média do consumo gaúcho de energia elétrica registrada nos últimos 7 anos, incluindo as perdas do sistema.

Ressalto a valorosa contribuição e dedicação dos professores envolvidos na elaboração deste projeto, agregando, no conteúdo, suas experiências e conhecimentos, para os quais externo meus agradecimentos, bem como às respectivas instituições acadêmicas representadas.

A energia do Sol é o recurso natural mais abundante e essencial para a vida podendo ser aproveitada em diferentes níveis. Independentemente da localização geográfica, técnicas solares ativas podem utilizá-la através de coletores solares térmicos e das energias fotovoltaica e solar concentrada, para converter a luz solar em resultados úteis como eletricidade ou calor, aumentando a oferta de energia renovável.

Em particular, a energia solar fotovoltaica está em franco desenvolvimento no mundo onde a capacidade instalada vem crescendo de forma exponencial alcançando 404,5 GW em 2017. É um mercado cada vez mais competitivo impulsionado pela diminuição dos preços dos equipamentos e dos aumentos dos preços da eletricidade.

No Brasil, o grande passo para viabilizar a geração distribuída de energia elétrica foi através da Resolução Normativa nº 482 (RN482), da ANEEL, de 17 de abril de 2012, que estabeleceu regras para a geração distribuída e sua integração às redes de distribuição de energia elétrica.

O Rio Grande do Sul, a exemplo do Brasil, possui um mercado bastante promissor para a geração distribuída e tem se consolidado como o segundo estado brasileiro com a maior potência instalada desse segmento. Possui uma excelente malha de distribuição de energia, que abrange todo o seu território, políticas de incentivos à geração distribuída, várias empresas qualificadas em projetos fotovoltaicos, além de uma forte cultura europeia que facilita o intercâmbio de conhecimento e a abertura para a entrada de novas tecnologias.

Nesse sentido, a franca expansão da energia solar fotovoltaica, movimenta a venda de uma considerável cadeia de equipamentos e de serviços, abrindo a possibilidade de implantação de fábricas para alimentar a cadeia produtiva, tais como módulos fotovoltaicos e inversores, bem como para prestadores de serviços especializados em projetos, montagem e manutenção. Assim, várias medidas foram implementadas pelo governo gaúcho para viabilizar esse mercado no Estado.

A micro e mini geração distribuída de energia elétrica possui, no RS, a partir de 01 de junho de 2016, isenção do Imposto Sobre Circulação de Mercadorias – ICMS, incidente sobre a energia elétrica fornecida pela distribuidora à unidade consumidora de energia elétrica na quantidade correspondente à injetada na rede de distribuição por essa mesma unidade, aplicando-se a cobrança de ICMS somente sobre a diferença líquida sobre o que foi consumido, através do convênio ICMS/CONFAZ 16/2015, com adesão do RS através do convênio ICMS 157/2015 e do

Decreto Lei nº 52.964, estabelecendo os limites de potência dos projetos com base na Resolução Normativa 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (até 1 MW). Esse benefício tem impacto direto no tempo de retorno dos investimentos.

Outro benefício diz respeito à isenção do ICMS nas operações com diversos equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica, através do Convênio ICMS/CONFAZ 101/97.

Outra medida adotada pelo governo gaúcho é a isenção de Licenciamento Ambiental, através da Resolução CONSEMA 372/2018 de 22/02/2018, para autoprodução e geração distribuída de energia elétrica a partir de fonte solar ou eólica, regidas pela Resolução Normativa nº 687 da ANEEL.

A matriz de energia elétrica do Estado, que sempre contou com a predominância dos recursos hídricos, teve, a partir do ano de 2006, a inserção da energia eólica que hoje representa 19,1% do total instalado. A partir de 2013, a energia solar fotovoltaica vem conquistando, em evolução geométrica, o mercado nacional através da geração distribuída e de usinas produtoras de eletricidade para o Sistema Interligado Nacional.

Assim, a participação da energia solar na potência instalada de energia elétrica tende a ter um aumento significativo nos próximos anos e dar uma contribuição muito importante na produção gaúcha de eletricidade.

Susana Kakuta
Secretária de Minas e Energia

Índice

1

O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

1.1	Características Geográficas	09
1.2	Infraestrutura de Transporte	11
1.3	Infraestrutura Elétrica e Consumo	11
1.3.1	Transmissão e Geração	11
1.3.2	Concessionárias e Permissionárias de Distribuição	13
1.3.3	Geração Fotovoltaica Distribuída	17
1.3.4	Consumo de Energia Elétrica	17

2

RADIAÇÃO SOLAR E CLIMATOLOGIA

2.1	Geometria Solar	19
2.2	Espectro Solar	20
2.3	Parâmetros de Radiação e Instrumentos de Medição	20
2.3.1	Irradiância Global Horizontal - GHI [W/m ²]	21
2.3.2	Irradiância Total no Plano Inclinado - POA [W/m ²]	21
2.3.3	Irradiância Difusa Horizontal - DHI [W/m ²]	21
2.3.4	Irradiância Normal Direta - DNI [W/m ²]	21
2.3.5	Radiação de Onda Longa	22
2.3.6	Albedo e Radiação Solar Líquida	23
2.3.7	Horas de Sol ou Insolação Total	23
2.3.8	Profundidade Óptica de Aerossóis – AOD	23
2.3.9	Distribuição Espectral da Radiação	26
2.4	Incertezas na Quantificação da Radiação Solar	26
2.5	Outros Parâmetros Meteorológicos	26
2.5.1	Temperatura Ambiente [°C] e Temperatura Média Diurna [°C]	26
2.5.2	Velocidade [m/s] e Direção [°] do Vento	26
2.5.3	Precipitação [mm] e Nebulosidade [octas]	26
2.6	Climatologia	26
2.6.1	Temperatura e Radiação	26
2.6.2	Insolação (horas de Sol) e Nebulosidade	31
2.6.3	Precipitação e Dias de Chuva	31
2.6.4	Variabilidade do Diagrama Solar	38
2.6.5	Variabilidade da Irradiação	38
2.7	Nomenclatura e Unidades Adotadas no Atlas	38

3

MEIO AMBIENTE

3.1	Legislação Ambiental	45
3.2	Unidades de Conservação	45
3.3	Impactos Ambientais	48
3.3.1	Uso do Solo	48
3.3.2	Impacto Visual	48
3.3.3	Uso da Água	48
3.3.4	Materiais Tóxicos	49
3.3.5	Emissões de Gases Associados ao Efeito Estufa	49

4

TECNOLOGIA

4.1	Histórico	51
4.1.1	Histórico da Tecnologia Solar	51
4.1.2	Histórico no Brasil	55
4.1.3	Histórico no Rio Grande do Sul	55
4.2	Tecnologias Atuais para Aproveitamento da Energia Solar	56
4.2.1	Produção de Energia Elétrica	56
4.2.2	Geração de Energia Térmica	59

5

METODOLOGIA

5.1	O Modelo WRF	61
5.2	Medições Solarimétricas	61
5.3	Validação dos Mapas e Incertezas	65
5.3.1	Etapas de Processamento das Estações INMET EMA e Cálculo da Produtividade	66
5.4	Delimitação das Áreas Aptas e Cálculo de Produtividade Fotovoltaica	66

6

MAPAS SOLARES

Mapa 6.1	Irradiação Global Horizontal Sazonal	70
Mapa 6.2	Irradiação Global Horizontal Anual	71
Mapa 6.3	Irradiação Global Horizontal Mensal	72
Mapa 6.4	Irradiação Difusa Horizontal Sazonal	74
Mapa 6.5	Irradiação Difusa Horizontal Anual	75
Mapa 6.6	Irradiação Difusa Horizontal Mensal	76
Mapa 6.7	Irradiação Normal Direta Sazonal	78
Mapa 6.8	Irradiação Normal Direta Anual	79
Mapa 6.9	Irradiação Normal Direta Mensal	80
Mapa 6.10	Irradiação Total Sazonal no Plano Inclinado a 20°	82
Mapa 6.11	Irradiação Total Anual no Plano Inclinado a 20°	83
Mapa 6.12	Irradiação Total Mensal no Plano Inclinado a 20°	84
Mapa 6.13	Irradiação Total Sazonal no Plano Inclinado a 45°	86
Mapa 6.14	Irradiação Total Anual no Plano Inclinado a 45°	87
Mapa 6.15	Irradiação Total Mensal no Plano Inclinado a 45°	88
Mapa 6.16	Produtividade Fotovoltaica Sazonal no Plano Inclinado a 20°	90
Mapa 6.17	Produtividade Fotovoltaica Anual no Plano Inclinado a 20°	91
Mapa 6.18	Produtividade Fotovoltaica Sazonal no Plano Inclinado a 45°	92
Mapa 6.19	Produtividade Fotovoltaica Anual no Plano Inclinado a 45°	93
Mapa 6.20	Áreas Aptas: Intersecção entre Mapas Solar e Eólico	94
Mapa 6.21	Densidade de Potência Instalada Fotovoltaica – Geração Distribuída	95

7

ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS

7.1	Potencial Energético Fotovoltaico	97
7.1.1	Considerações Gerais	97
7.1.2	Resultados	97
7.2	Integração por Microrregiões e a complementaridade solar e eólica	100
7.3	Variabilidade Mensal e Horária da Irradiação e Produtividade Fotovoltaica	101
7.4	Critérios Para Escolha de locais para Plantas Fotovoltaicas	110
7.4.1	Geração Centralizada Fotovoltaica	110
7.4.2	Geração Distribuída	110
7.5	Considerações Finais	111

8

REFERÊNCIAS

112

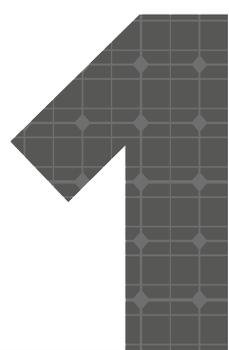
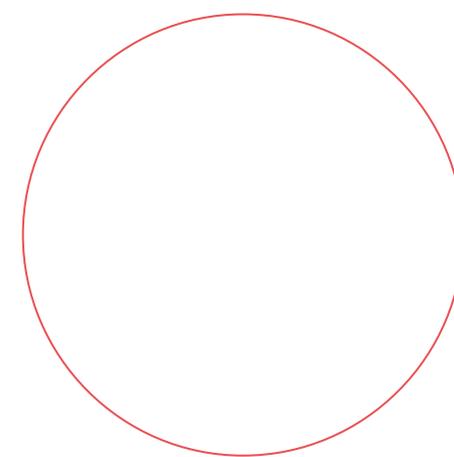
A

APÊNDICES

Apêndice A	Procedimento para o Cálculo da Produtividade Fotovoltaica nas Séries INMET	120
Apêndice B	Guia para Aquisição de Pequenos Projetos de Aproveitamento Solar	124
Apêndice C	Siglas Utilizadas e Glossário	128
Apêndice D	Subestações	130
Apêndice E	Produtividade Fotovoltaica por Município	132
Apêndice F	Ventos Extremos – Rajada Máxima 10 m	142



atlas solar
RiGrande
do Sul



O Estado do Rio Grande do Sul



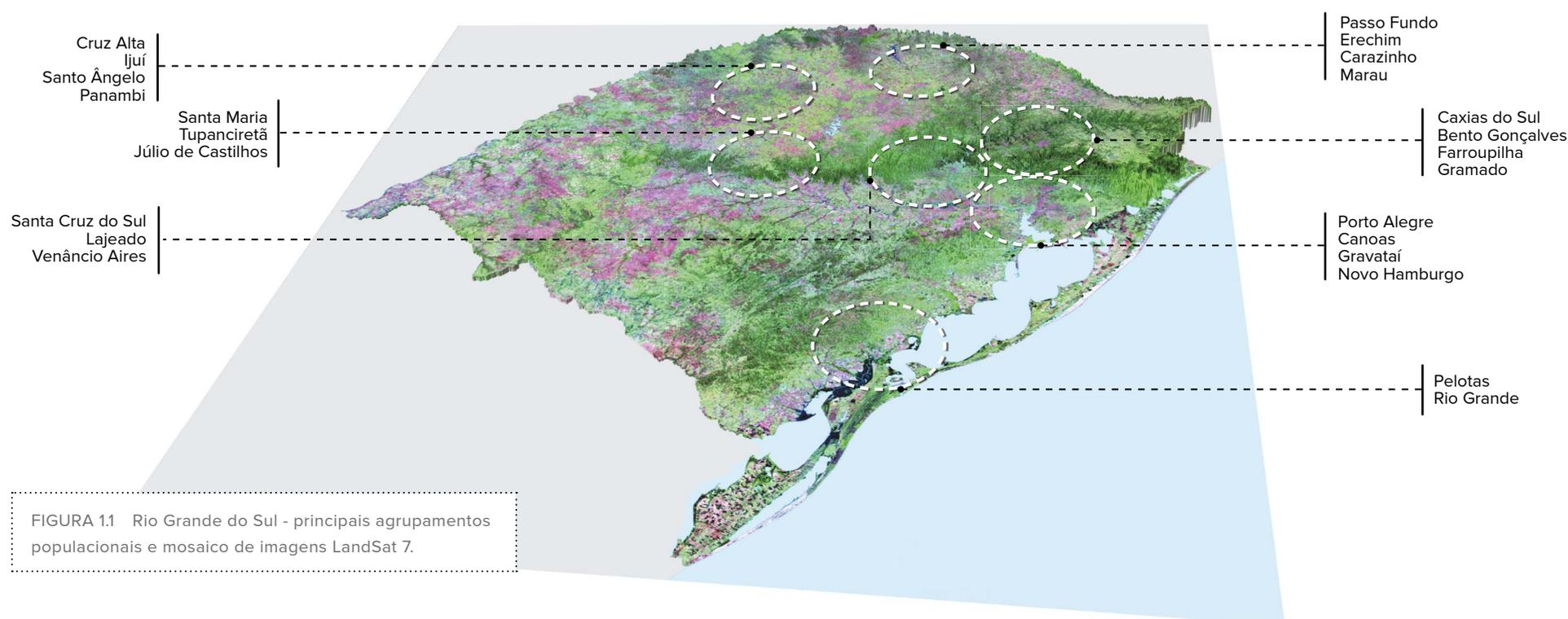
1.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS

O Rio Grande do Sul, o nono maior Estado brasileiro, localiza-se no extremo sul do país em uma área de 281.730 km² entre os paralelos 27° S e 33° S e os meridianos 49° O e 57° O. Limita-se com o Oceano Atlântico a leste e divide fronteiras com o estado de Santa Catarina ao norte e com as Repúblicas da Argentina e Uruguai ao oeste e ao sul, respectivamente.

No que se refere à geomorfologia, o Estado divide-se em cinco grandes regiões: a Planície Costeira, marcada pela umidade oriunda do Oceano Atlântico e ocupada pela agricultura e por projetos florestais; a Serra Geral, com aproveitamentos agrícolas sobre elevadas altitudes; o Pampa, de relevo ondulado e com predominância de campos naturais, estes majoritariamente ocupados pela atividade pecuária; a Depressão Central, coberta por florestas e atividades agrícolas; e o Planalto das Araucárias e das Missões, cujo perfil econômico baseia-se na agricultura.

A população do Estado atingiu 11.329.605 habitantes em 2018, segundo projeções do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE [1], e está distribuída em 497 municípios, os quais, por sua vez, estão agrupados, de acordo com esse mesmo Instituto, em 35 microrregiões e sete mesorregiões, conforme representado no Mapa 1.1 [2]. Esse mapa ilustra também a produção de riquezas observada em 2015.

Verifica-se que 35,7% dos gaúchos residem a uma distância de até 50 km da capital Porto Alegre e são responsáveis por 41,1% do Produto Interno Bruto - PIB do Estado [3]. Outra parcela, de 32,6% da população, está distribuída pelos demais seis grandes núcleos populacionais apresentados na Figura 1.1, e foi responsável por 33,7% do PIB gaúcho no ano de 2015, como observado na Tabela 1.1.



FONTE: DOI [4] E CGIAR [5].

A distribuição do PIB e da população pelo Estado, na maior parte dos casos, é proporcional à distribuição das instalações de geração distribuída fotovoltaica. Destaca-se deste padrão o núcleo de Santa Cruz do Sul - Lajeado - Venâncio Aires, o qual acumula mais de 900 instalações (24%) de capacidade instalada fotovoltaica no Estado, embora seja responsável por apenas 6% do PIB. Isso deve-se principalmente às linhas de financiamento dos painéis fotovoltaicos e também ao incentivo do Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina - Ideal, através do Projeto 50 Telhados [6] [7].

TABELA 1.1 Unidades fotovoltaicas instaladas nas principais concentrações urbanas do Estado.

REGIÕES considerando raio de 50 km	PARTICIPAÇÃO RELATIVA		APROVEITAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO ago/2018	
	População 2018	PIB 2015	Unidades	Capacidade Instalada kW _p
Porto Alegre e região metropolitana	35,7%	41,1%	880	1.1017
Caxias do Sul - Bento Gonçalves - Farroupilha - Gramado	9,7%	11,7%	454	5.328
Pelotas - Rio Grande	6,4%	4,7%	105	687
Santa Cruz do Sul - Lajeado - Venâncio Aires	5,4%	6,0%	946	12.441
Passo Fundo - Erechim - Carazinho - Marau	4,6%	5,3%	145	1.649
Santa Maria - Tupanciretã - Júlio de Castilhos	3,6%	2,8%	190	1.529
Cruz Alta - Ijuí - Santo Ângelo - Panambi	2,9%	3,2%	190	1.767
Restante do Estado	31,7%	25,2%	1.433	15.624

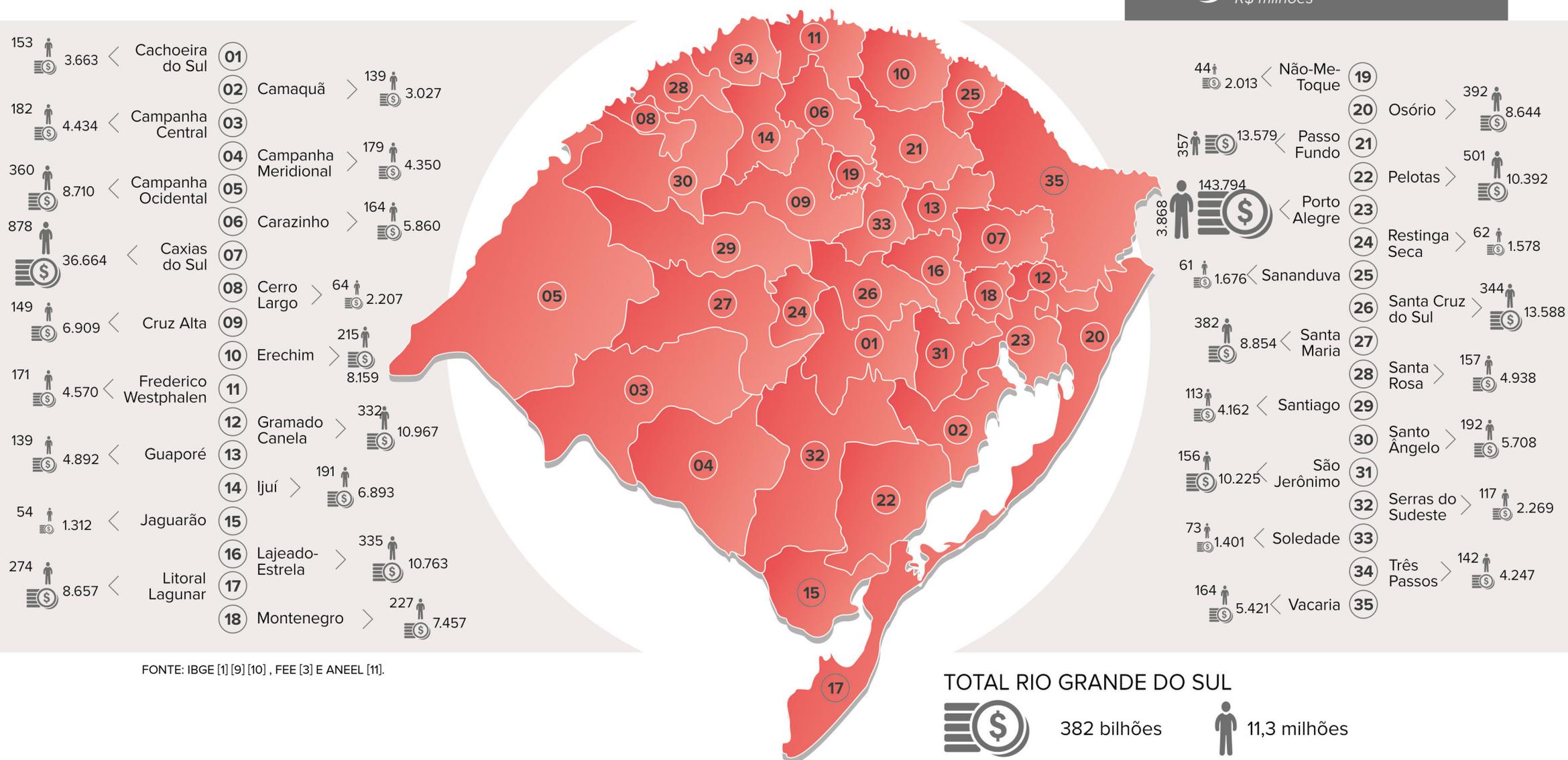
FONTE: IBGE [1], FEE [3] E ANEEL [8].

MAPA 1.1

RIO GRANDE DO SUL: População e PIB por Microrregiões

POPULAÇÃO
estimada para 2018
milhares de habitantes

PIB
Produto Interno Bruto em 2015
R\$ milhões



FONTE: IBGE [1] [9] [10], FEE [3] E ANEEL [11].

1.2 INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE

O Estado do Rio Grande do Sul possui mais de 17 mil quilômetros de rodovias estaduais e federais, dos quais aproximadamente 80% são pavimentados [12]. Além das rodovias, há também uma infraestrutura de portos, aeroportos, ferrovias e hidrovias que são fundamentais no processo de logística para a instalação de grandes projetos solares. É preciso observar que todo o setor de transporte possui um grande potencial de utilização do recurso solar, seja em pequena escala, como em placas de sinalizações, seja em grande escala, como na produção de energia elétrica em terminais de passageiros ou carga.

A infraestrutura de transporte do Estado, com a localização dos principais portos, aeroportos e rodovias é apresentada no Mapa 1.2.

1.3 INFRAESTRUTURA ELÉTRICA E CONSUMO

1.3.1 TRANSMISSÃO E GERAÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul possui uma ampla rede de transmissão, distribuição e geração de energia elétrica. O Estado conta atualmente com mais de 8 GW de potência instalada utilizando distintas fontes de energia, tais como hidrelétricas, termelétricas e eólicas. O sistema de transmissão é interligado com linhas de 525 kV e 230 kV ao Sistema Interligado Nacional - SIN. Já a distribuição opera com linhas de 138 kV e 69 kV. A capacidade total de energia instalada no Rio Grande do Sul, incluindo tanto a geração distribuída como as usinas eólicas, termelétricas e hidrelétricas é apresentada nas Tabelas 1.2 a 1.6, respectivamente. O Mapa 1.4 apresenta a infraestrutura elétrica do Estado, com a localização das principais subestações e linhas de transmissão e distribuição a partir de 69 kV.

TABELA 1.2 Potência de geração elétrica instalada no RS.

TIPO DE USINA	POTÊNCIA INSTALADA		NÚMERO DE USINAS
	MW	%	
HIDRELÉTRICAS*	4.534,6	55,5	125
• UHE	3.869,4	47,4	18
• PCH	575,1	7,0	54
• CGH	90,1	1,1	53
TERMELÉTRICAS	1.806,9	22,1	128
• Biomassa	318,4	3,9	17
• Fóssil	1.488,5	18,2	111
EÓLICA	1.828,0	22,4	80
FOTOVOLTAICA	0,1	0,0006	0
TOTAL	8.169,5	100	333

FONTES: ANEEL [17]. *AS USINAS NA DIVISA COM SC FORAM CONSIDERADAS COM METADE DA POTÊNCIA.

TABELA 1.3 Potência de geração elétrica instalada no RS em geração distribuída.

FONTE	POTÊNCIA INSTALADA [KW]	[%]
Fotovoltaica	61.150,5	93,07
UTE	34,0	0,05
Eólica	20,7	0,03
CGH	4.500,0	6,85
TOTAL	65.705,2	100,00

FONTES: ANEEL [17].

TABELA 1.4 Potência de geração elétrica instalada no RS em usinas eólicas.

USINA	MUNICÍPIO	MW
Chuí	Chuí	161,9
Osório, Sangradouro e Índios	Osório	314,0
Palmares, Fazenda Rosário e Atlântica	Palmares do Sul	177,5
Corredor do Senandes, Vento Aragano e Cassino	Rio Grande	172,0
Verace, Aura Mirim e Aura Mangueira	Santa Vitória do Palmar	627,9
Cerro Chato, Cerro dos Trindade, Ibirapuitã, Galpões, Coxilha Seca e Capão do Inglês	Santana do Livramento	217,2
Elebrás Cidreira	Tramandaí	70,0
Pontal	Viamão	59,8
Xangri-lá	Xangri-lá	27,7
TOTAL INSTALADO		1.828,0

FONTES: ANEEL [17].

TABELA 1.5 Potência de geração elétrica instalada no RS em usinas termelétricas.

USINA	COMBUSTÍVEL	MW
Uruguiana	Gás Natural	639,9
Candiota III	Carvão Mineral	350,0
CMPC	Licor Negro	251,0
Sepé Tiaraju	Gás Natural	248,6
REFAP	Óleo Combustível	74,7
Copesul	Outros Derivados de Petróleo	74,4
São Borja	Casca de Arroz	12,5
Piratini	Resíduos Florestais	10,0
Biotérmica Recreio	Biogás - RU	8,6
Energir	Resíduos Florestais	7,0
PCT SLC Alimentos	Casca de Arroz	5,8
SVA	Casca de Arroz	4,9
S. A. V. - Unisinos	Gás Natural	4,6
115 outras termelétricas	Vários	114,9
TOTAL		1.806,9

FONTES: ANEEL [17].

TABELA 1.6 Potência de geração elétrica instalada no RS em usinas hidrelétricas.

USINA	RIO	MW*
Itá	Uruguai	725,0
Machadinho	Pelotas	570,0
Itaúba	Jacuí	500,4
Foz do Chapecó	Uruguai	427,5
Barra Grande	Pelotas	349,1
Passo Fundo	Passo Fundo	226,0
Jacuí	Jacuí	180,0
Passo Real	Jacuí	158,0
Castro Alves	das Antas	130,8
Monte Claro	das Antas	130,0
Dona Francisca	Jacuí	125,0
14 de Julho	das Antas	100,7
Passo São João	Ijuí	77,0
Monjolinho	Passo Fundo	74,0
São José	Ijuí	51,0
Canastra	Santa Maria	44,8
Passo do Meio	Rio das Antas	30,0
Serra dos Cavalinhos II	Das Antas	29,0
Jararaca	Da Prata	28,0
Da Ilha	Prata	26,0
Serra dos Cavalinhos I	Das Antas	25,0
Palanguinho	Lajeado Grande	24,2
Boa Fé	Carreiro	24,0
Autódromo	Carreiro	24,0
Criúva	Lajeado Grande	23,9
Caçador	Carreiro	22,5
Esmeralda	Bernardo José	22,2
Linha Emília	Carreiro	19,5
Cotiporã	Carreiro	19,5
Pezzi	Antas	19,0
Engenheiro Ernesto Jorge Dreher	Ivaí	17,9
Marco Baldo	Turvo	16,8
Ouro	Marmeleiro	16,0
São Paulo	Carreiro	16,0
São Bernardo	Bernardo José	15,0
José Barasuol	Ijuí	14,3
Moinho	Bernardo José	13,7
Engenheiro Henrique Kotzian	Ivaí	13,0
Toca do Tigre	Turvo	11,8
12 outras pequenas centrais hidrelétricas	Vários	103,7
75 outras centrais geradoras hidrelétricas	Vários	90,1
TOTAL		4.534,6

FONTES: ANEEL [17]. *AS USINAS NA DIVISA COM SC FORAM CONSIDERADAS COM METADE DA POTÊNCIA.



MAPA 1.2

INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE

BASE CARTOGRÁFICA: DAER-RS [13], IBGE [14], [15], DNIT [16].



PUCRS



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

- Portos
- Ancoradouros
- Travessias de balsa
- Aeroportos internacionais
- Aeroportos domésticos
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais
- Estradas duplicadas
- Estradas em duplicação
- Estradas pavimentadas
- Estradas em pavimentação
- Estradas não pavimentadas
- Estradas planejadas
- Estradas e vias municipais, pavimentadas e não pavimentadas
- Ferrovias
- Sedes municipais
- Vilas

1.3.2 CONCESSIONÁRIAS E PERMISSIONÁRIAS DE DISTRIBUIÇÃO

A distribuição de energia elétrica no Estado é realizada por oito distribuidoras e quinze cooperativas de eletrificação permissionárias. Uma representação simplificada dos componentes do sistema elétrico com geração centralizada e distribuída fotovoltaica é apresentada na Figura 1.2. A distribuição geográfica das respectivas áreas de concessão e a atuação destes agentes são apresentadas no Mapa 1.3. As coordenadas das subestações encontram-se no Apêndice D.

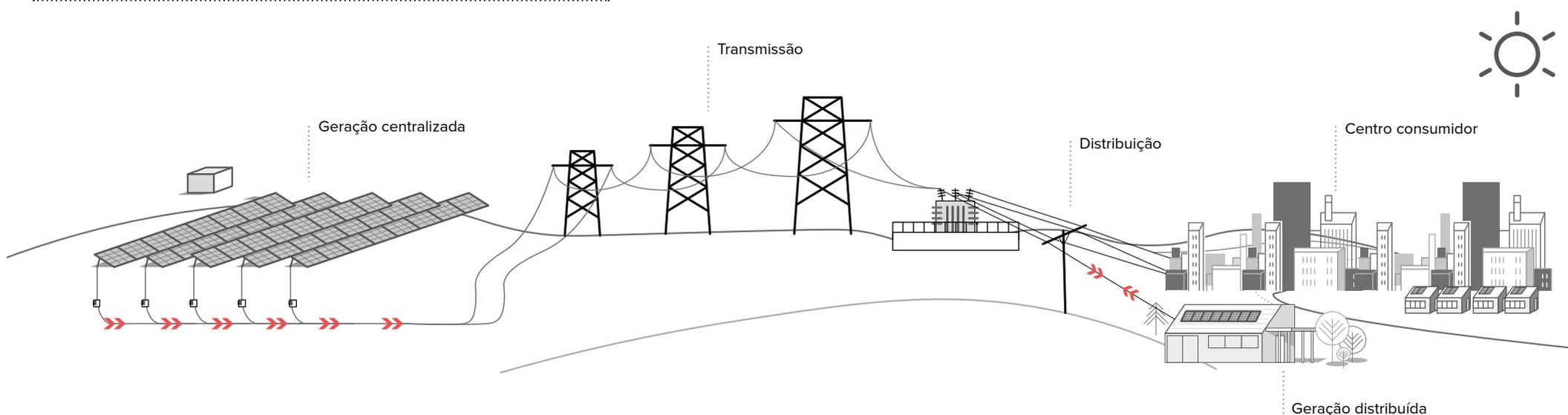
As três maiores distribuidoras gaúchas, CEEE-D, RGE e RGE SUL, atendem aproximadamente 91% das 4,89 milhões de unidades consumidoras do Estado, sendo a parcela restante atendida pelos demais agentes [8]. A Tabela 1.7 apresenta o número de unidades consumidoras (por classe de consumo) atendidas por cada agente (os dados de alguns agentes não estavam disponíveis).

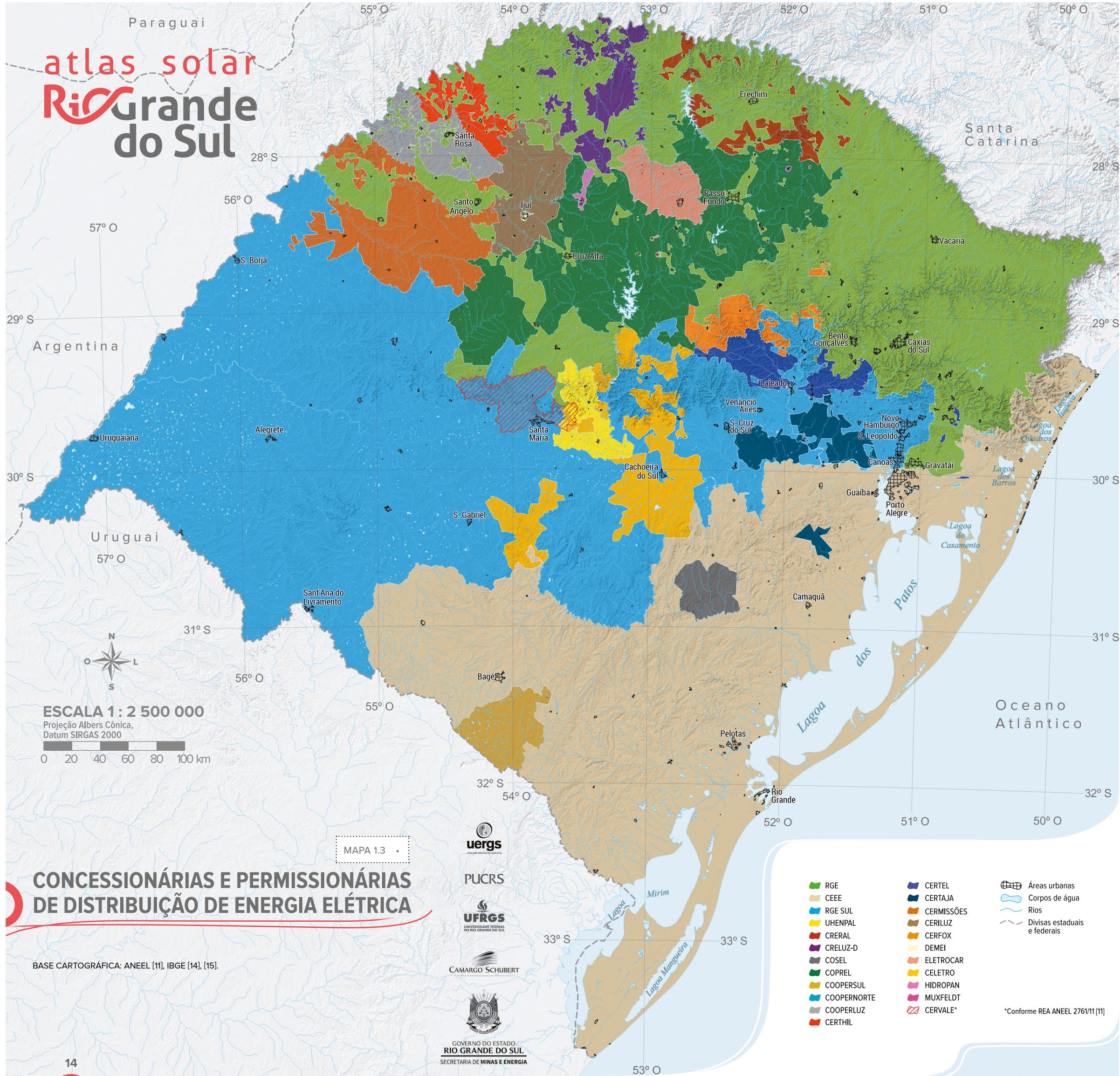
TABELA 1.7 Unidades consumidoras por agente distribuidor e classe de consumo.

UNIDADES CONSUMIDORAS POR AGENTE* E CLASSE DE CONSUMO (2017)						
EMPRESA	RESIDENCIAL	COMERCIAL	INDUSTRIAL	RURAL	PÚBLICO	TOTAL
CEEE-D	1.405.697	146.854	12.792	88.927	8.989	1.663.259
RGE	1.199.549	101.131	13.154	137.353	14.413	1.465.600
RGE SUL	1.118.374	85.200	7.034	107.630	10.248	1.328.486
CERTEL	41.017	3.700	587	16.175	772	62.251
COPREL	9.872	2.110	434	38.038	2.077	52.531
ELETROCAR	28.563	3.708	189	3.930	412	36.802
DEMEI	29.397	2.725	94	15	190	32.420
CERMISSÕES	8.399	1.367	20	15.717	608	26.110
CERTAJA	12.670	465	60	10.472	285	23.951
CRELUZ-D	7.161	1.385	62	13.460	492	22.559
HIDROPAN	16.393	1.147	161	277	187	18.164
NOVA PALMA	9.689	1.089	99	4.430	367	15.674
COOPERLUZ	3.323	626	28	11.050	265	15.291
CERILUZ	1.556	681	55	11.157	260	13.709
MUXENERGIA	9.435	1.585	84	24	107	11.235
CRERAL	1.253	254	42	5.633	155	7.338
TOTAIS	3.902.348	354.027	34.895	464.288	39.827	4.795.385

FONTE: ANEEL [8] E EPE [18]. * DADOS PROVENIENTES DOS AGENTES CELETRO, CERFOX, CERTHIL, CERVALE, COOPERNORTE, COOPERSUL E COSEL NÃO DISPONÍVEIS.

FIGURA 1.2 Diagrama simplificado do sistema elétrico com energia solar.





ESCALA 1 : 2 500 000

Projeção Albers Cônica,
Datum SIRGAS 2000

0 20 40 60 80 100 km

MAPA 1.3

CONCESSIONÁRIAS E PERMISSONÁRIAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

BASE CARTOGRÁFICA: ANEEL [1], IBGE [14], [15].



PUCRS



CAMARGO SCHUBERT



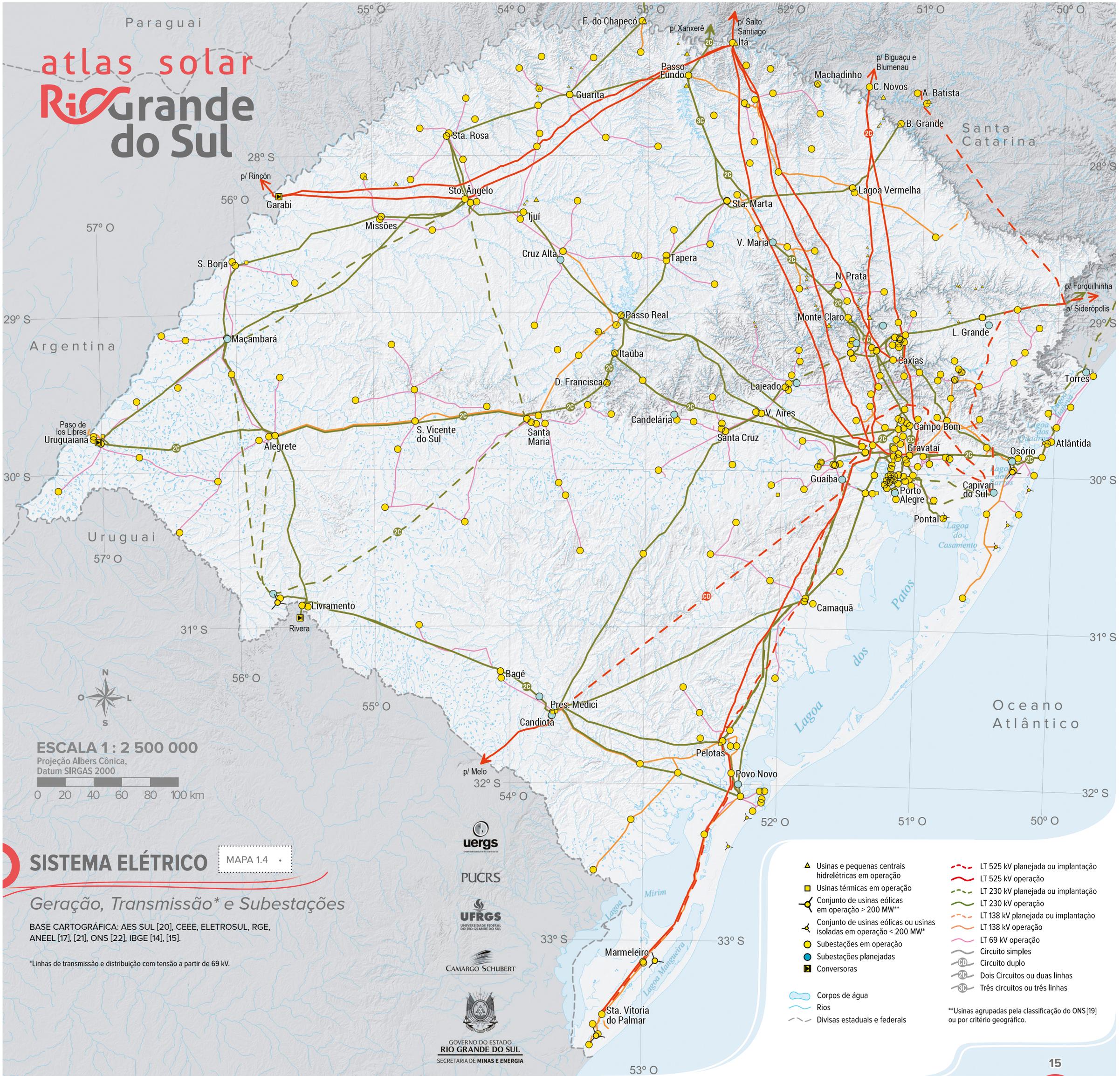
GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

- | | | |
|-----------|------------|------------------------------|
| RGE | CERTEL | Áreas urbanas |
| CEEE | CERTAJA | Corpos de água |
| RGE SUL | CERMISSÕES | Rios |
| UHENPAL | CERILUZ | Divisas estaduais e federais |
| CRERAL | CERFOX | |
| CRELUZ-D | DEMEI | |
| COSEL | ELETROCAR | |
| COPREL | CELETRO | |
| COOPERSUL | HIDROPAN | |
| COOPNORTE | MUXFELDT | |
| COOPERLUZ | CERVALE* | |
| CERTIL | | |

*Conforme REA ANEEL 2761/11 [11]

atlas solar

Rio Grande do Sul



57° O

29° S

30° S

31° S

55° O

54° O

52° O

51° O

50° O

32° S

33° S

33° S

53° O

ESCALA 1 : 2 500 000
 Projeção Albers Cônica,
 Datum SIRGAS 2000

SISTEMA ELÉTRICO

MAPA 1.4

Geração, Transmissão e Subestações*

BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL [20], CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL [17], [21], ONS [22], IBGE [14], [15].

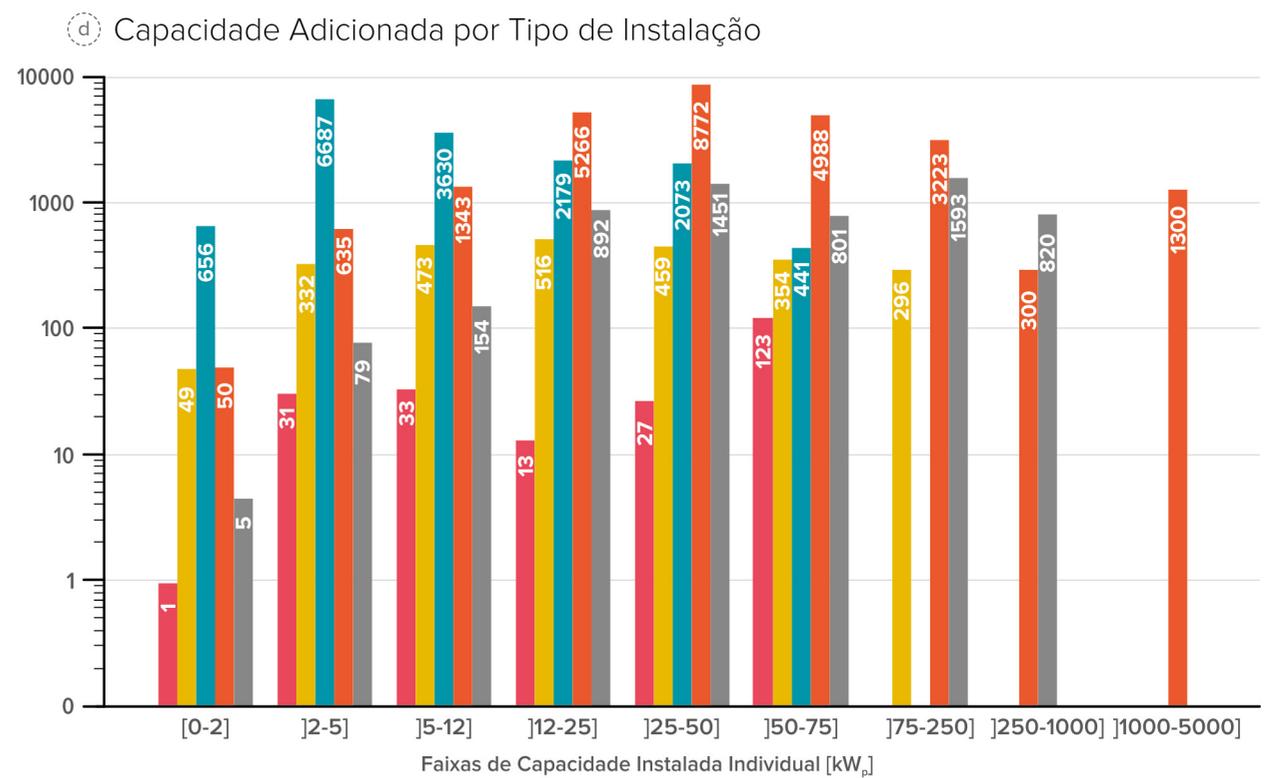
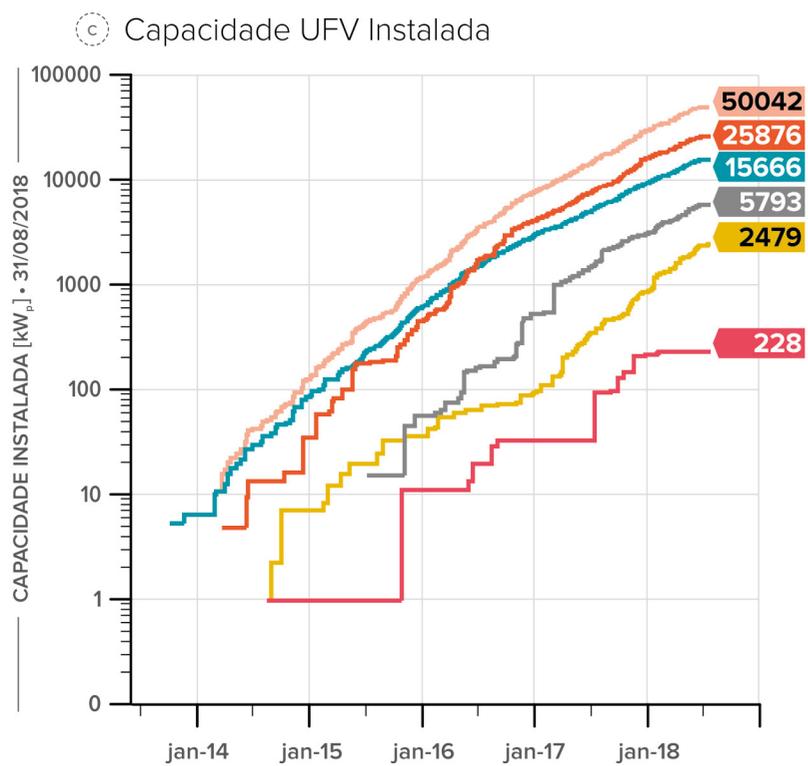
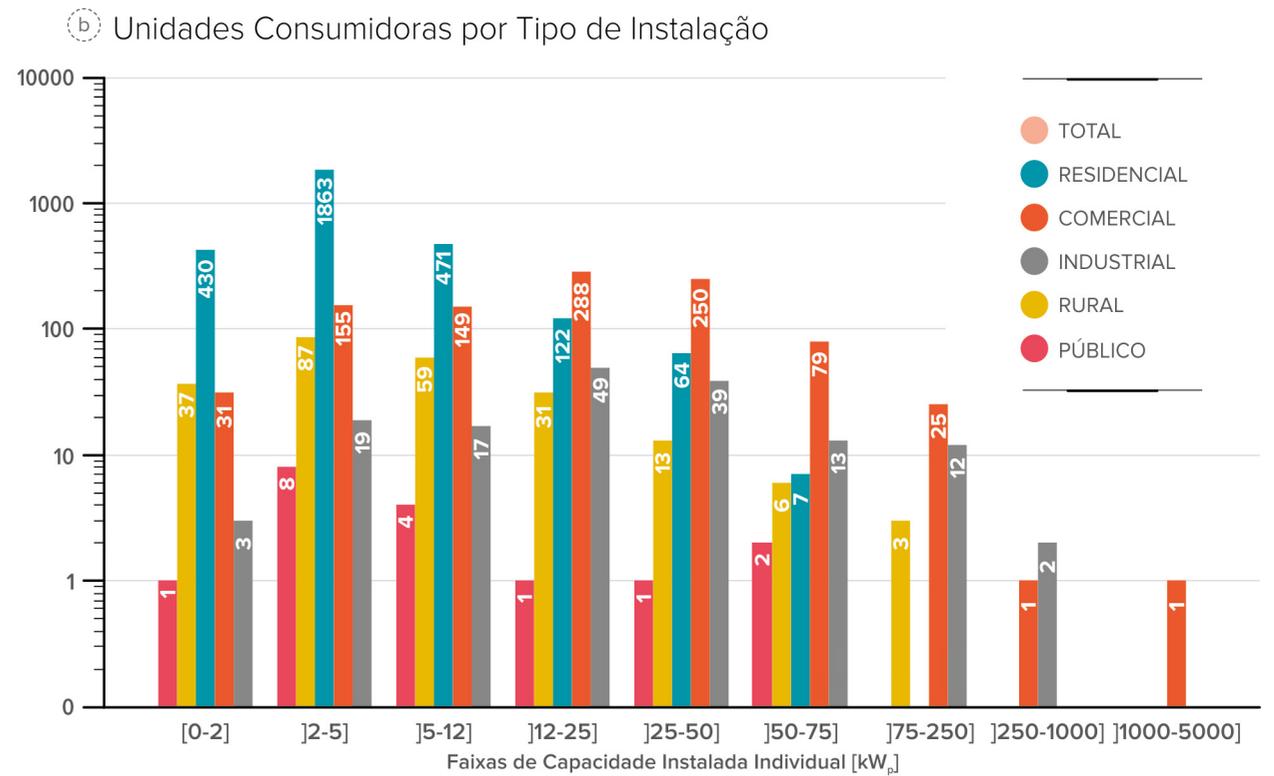
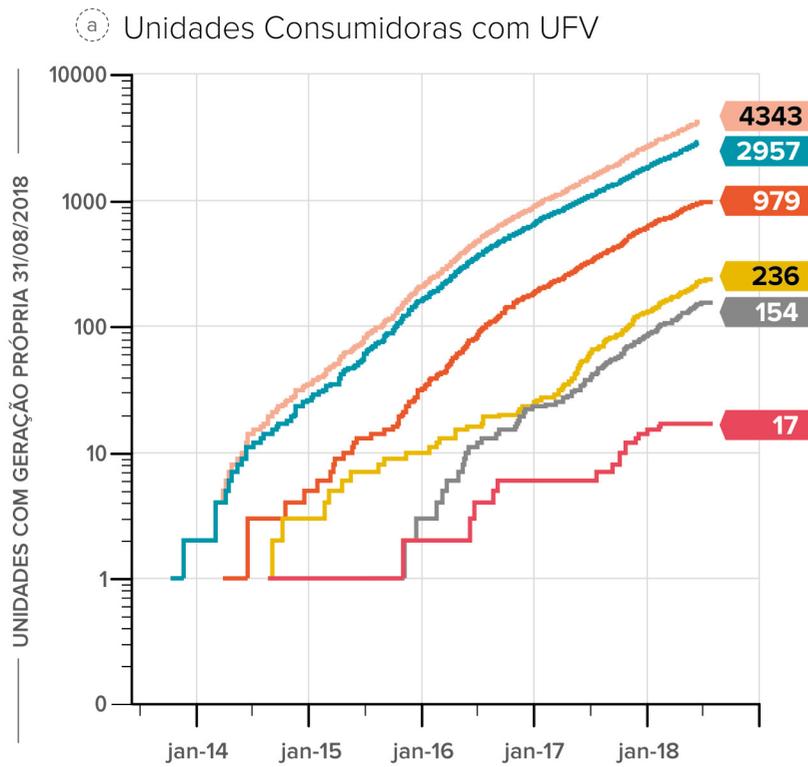
*Linhas de transmissão e distribuição com tensão a partir de 69 kV.

GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

- ▲ Usinas e pequenas centrais hidrelétricas em operação
- Usinas térmicas em operação
- ⚡ Conjunto de usinas eólicas em operação > 200 MW**
- ⚡ Conjunto de usinas eólicas ou usinas isoladas em operação < 200 MW*
- Subestações em operação
- Subestações planejadas
- Conversoras
- LT 525 kV planejada ou implantação
- LT 525 kV operação
- LT 230 kV planejada ou implantação
- LT 230 kV operação
- LT 138 kV planejada ou implantação
- LT 138 kV operação
- LT 69 kV operação
- Circuito simples
- Circuito duplo
- Dois circuitos ou duas linhas
- Três circuitos ou três linhas
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais

**Usinas agrupadas pela classificação do ONS[19] ou por critério geográfico.

GRÁFICO 1.1 (a) Unidades consumidoras com geração fotovoltaica. (b) Unidades consumidoras com geração fotovoltaica por classe de consumo e capacidade instalada. (c) Evolução da capacidade de geração fotovoltaica instalada no Estado. (d) Capacidade de geração fotovoltaica adicionada por classe de consumo e capacidade instalada.



FONTE: ANEEL [25].

1.3.3 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA

Com o incentivo à autoprodução de energia elétrica através do ambiente de Geração Distribuída aliado aos avanços tecnológicos (ver Capítulo 4), regulatórios [23] e fiscais [24], tem-se percebido um crescimento exponencial no número de instalações com aproveitamento da energia solar em unidades consumidoras no Rio Grande do Sul. Desde 2014, a capacidade de produção com tecnologia fotovoltaica no Estado multiplica-se por um fator de dez a cada dois anos, aproximadamente (ver Gráfico 1.1). No entanto, esta geração ainda não é significativa frente à quantidade de unidades consumidoras. Em agosto de 2018, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL [25] contabilizava 4.343 unidades consumidoras com painéis fotovoltaicos no Rio Grande do Sul, número inferior a 0,1% de todas as unidades consumidoras do Estado [8].

Até agosto de 2018, o Rio Grande do Sul já contava com mais de 50,0 MW_p em capacidade instalada fotovoltaica. As instalações comerciais lideram a capacidade de aproveitamento energético solar: 979 instalações, totalizando mais de 25,8 MW_p, equivalente a metade da capacidade instalada. O aproveitamento comercial típico (61,6% das instalações) possui capacidade individual entre 20 kW_p e 100 kW_p. Já em quantidade de projetos conectados à rede, a classe residencial soma 2.957 instalações, responsáveis por uma capacidade instalada de 15,7 MW_p. O projeto típico desta classe de consumo (66,3% dos projetos residenciais) possui capacidade individual igual ou inferior a 10 kW_p.

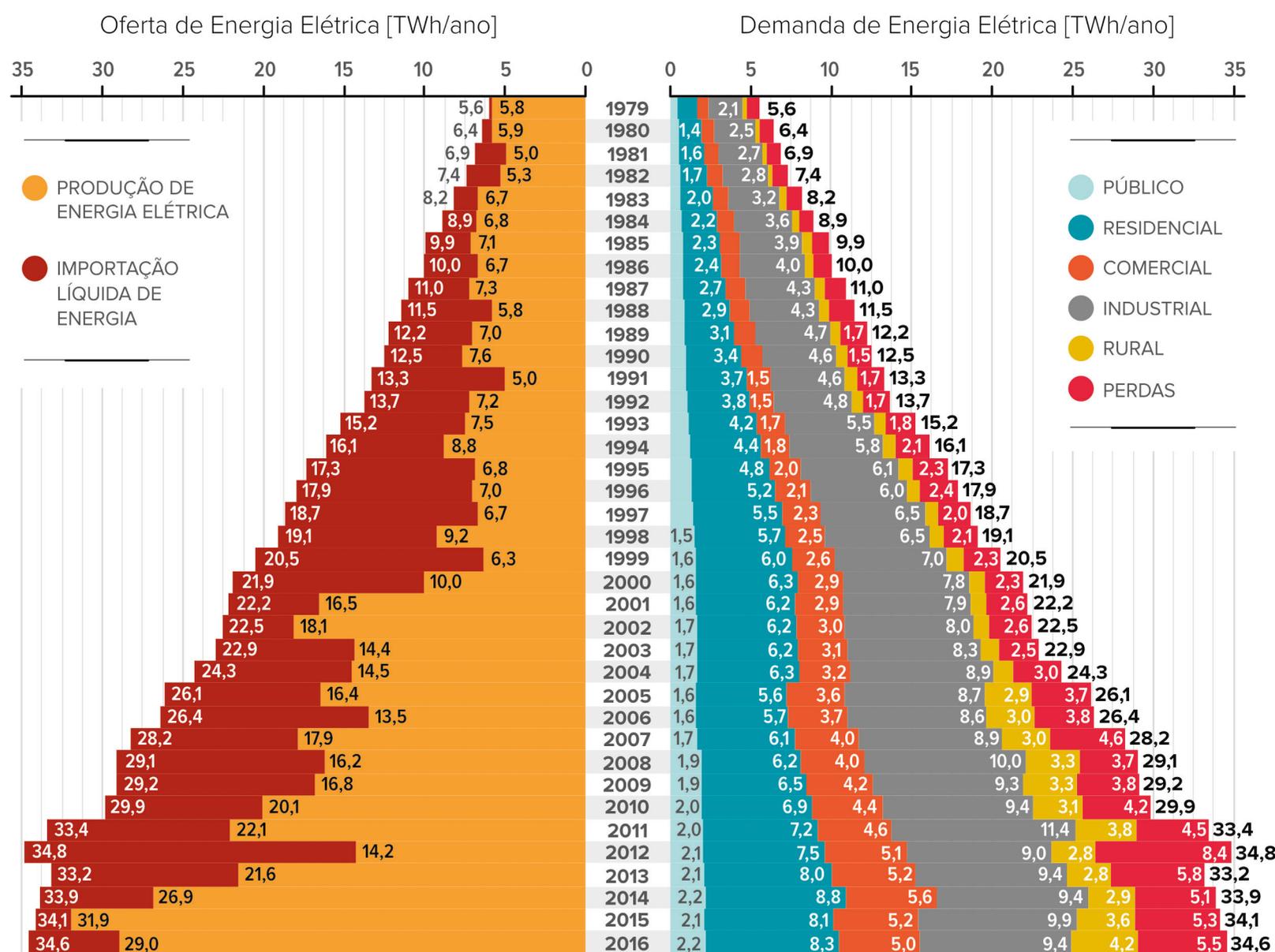
1.3.4 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

De acordo com os dados sobre o consumo de energia elétrica da Secretaria dos Transportes do Rio Grande do

Sul - SEINFRA-RS [26], a demanda global no Estado tem permanecido relativamente estável desde o ano 2012. Entretanto, ao analisar os dados por classe de consumo, constata-se que o setor rural apresentou forte crescimento no período 2012-2016, contrabalançando reduções verificadas no setor comercial. O consumo e a demanda dos setores industrial e residencial permaneceram relativamente constantes (Gráfico 1.2) [18] [26].

Quanto à oferta de energia, houve significativa evolução da produção estadual, devida principalmente ao rápido avanço da produção eólica a partir de 2012, que reduziu o déficit de energia elétrica de 41,1% (média do período de 2004-2013) para 14,5% (média de 2014-2016). Considerando a capacidade fotovoltaica instalada no Estado até novembro de 2018 e a produtividade esperada, estima-se que atualmente a conversão de energia solar seja capaz de suprir 80 GWh/ano, equivalente a 0,2% da demanda elétrica gaúcha em 2016 (Gráfico 1.2) [18] [26].

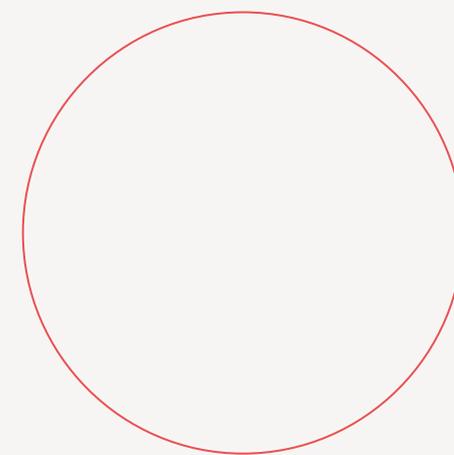
GRÁFICO 1.2 Demanda e oferta de energia elétrica no Rio Grande do Sul.



FONTE: EPE [18] E SEINFRA-RS [26]. *PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO E ARMAZENAMENTO ESTIMADAS ENTRE 2012-2016. **FOI CONSIDERADO A METADE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DAS USINAS DE FRONTEIRA (BARRA GRANDE, FOZ DO CHAPECÓ, ITÁ E MACHADINHO).



atlas solar
Rio Grande
do Sul



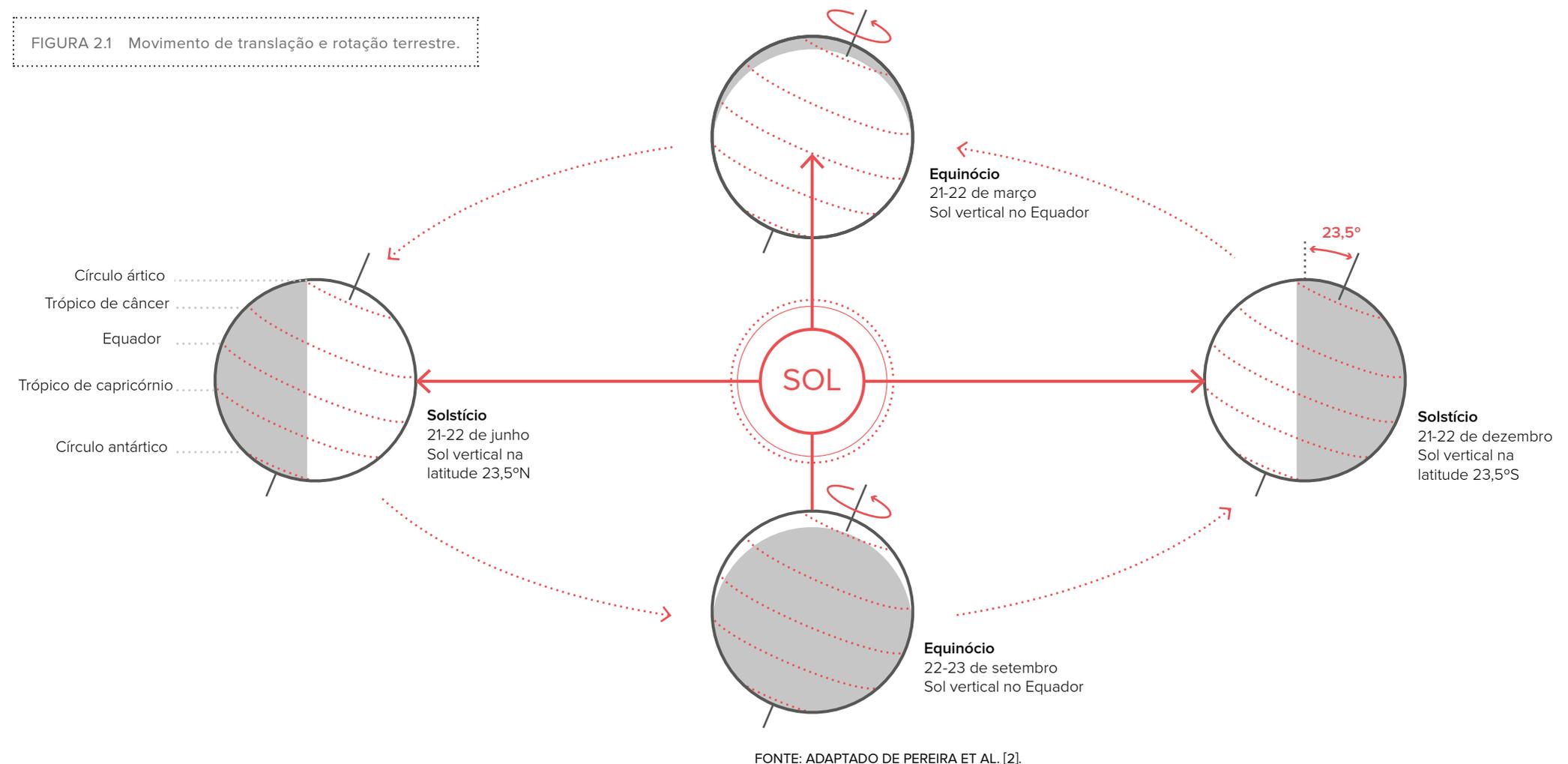
2

Radiação Solar e Climatologia



2.1 GEOMETRIA SOLAR

O planeta Terra descreve dois principais movimentos que fazem com que a quantidade de radiação solar na superfície se altere ao longo do dia e ao longo do ano. Enquanto o movimento de rotação terrestre em torno do seu próprio eixo dá a definição de dia e noite, o movimento elíptico de translação terrestre ao redor do Sol delimita os anos. Devido à inclinação do eixo da Terra de $23^{\circ}27'$ em relação ao plano da Linha do Equador, o movimento de translação faz com que os hemisférios recebam quantidades diferentes de radiação ao longo do ano, resultando nas estações do ano (Figura 2.1). Na primavera e no outono, a incidência de radiação solar é maior próximo à Linha do Equador, e os inícios dessas estações são marcados pelos equinócios (dias e noites com durações iguais). No verão e no inverno, essa incidência de radiação alterna-se entre os trópicos, e o início dessas estações coincide com os solstícios (dias e noites com maior diferença de duração) [1].



Quanto maior a latitude, maiores são a definição de cada estação e a variação da altura do Sol em relação ao horizonte durante o ano. Na Linha do Equador, as estações do ano são pouco distintas: nos equinócios, o Sol atinge a altura de 90° exatamente ao meio do dia; entre março e setembro, ele passa mais ao norte; e de setembro a março, ele passa mais ao sul. As menores alturas ocorrem quando o Sol está sobre os trópicos de Câncer (ao Norte) e Capricórnio (ao Sul), ou seja, nos solstícios, exatamente $66,5^{\circ}$ em relação ao horizonte. Como se percebe, a altura do Sol não varia muito para o observador que se encontra na Linha do Equador, enquanto tal variação é máxima para o observador localizado nos polos [1].

2.2 ESPECTRO SOLAR

O Sol contribui com cerca de 99,8% da massa total do Sistema Solar e é composto predominantemente pelos elementos químicos hidrogênio e hélio. A estrela está a uma distância aproximada de 150 milhões de quilômetros da Terra, para onde irradia a energia necessária e suficiente para a manutenção e desenvolvimento da vida. A temperatura e a pressão no núcleo do Sol favorecem processos de fusão nuclear, os quais liberam energia como radiação, isto é, como uma forma de transporte de energia por meio de ondas eletromagnéticas. Estudos indicam que no Sol ocorre a transformação de mais de quatro toneladas de massa em energia por segundo [3].

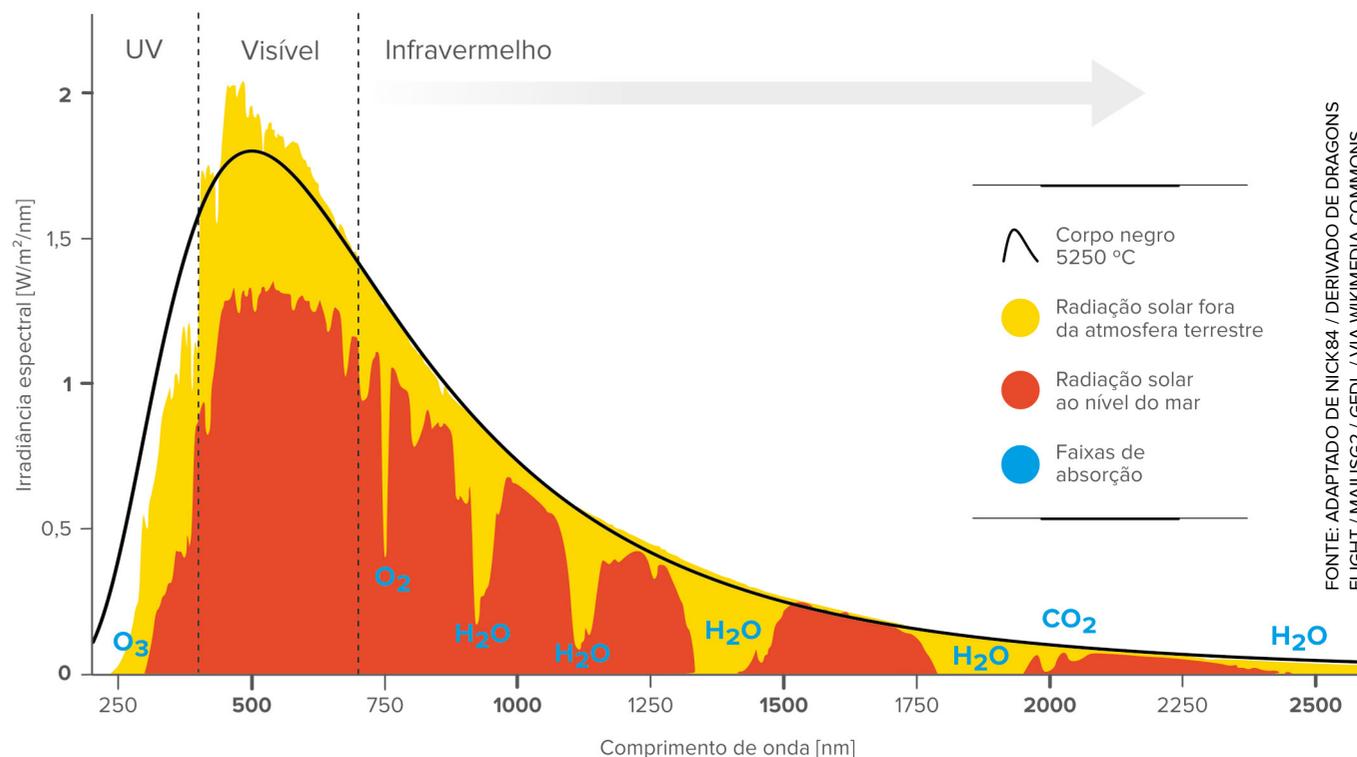
A radiação emitida pelo astro varia predominantemente entre o infravermelho e o ultravioleta, passando pelos comprimentos de onda de 200 a 3000 nm. A Figura 2.2 mostra a distribuição espectral da radiação solar no topo da atmosfera e seu decaimento pela presença de cada elemento da atmosfera (ozônio O_3 , oxigênio O_2 , vapor d'água H_2O e gás carbônico CO_2).

2.3 PARÂMETROS DE RADIAÇÃO E INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

Para o sucesso de um empreendimento de aproveitamento de energia solar, é necessário um planejamento adequado, que passa pela aquisição de equipamentos para estudo de parâmetros atmosféricos até a construção, operação e posterior descarte da central fotovoltaica. Da mesma forma, as escolhas da metodologia e da tecnologia a serem utilizadas no projeto também são fundamentais, sendo as medições e estudos preliminares essenciais para garantir confiabilidade sobre o retorno do investimento.

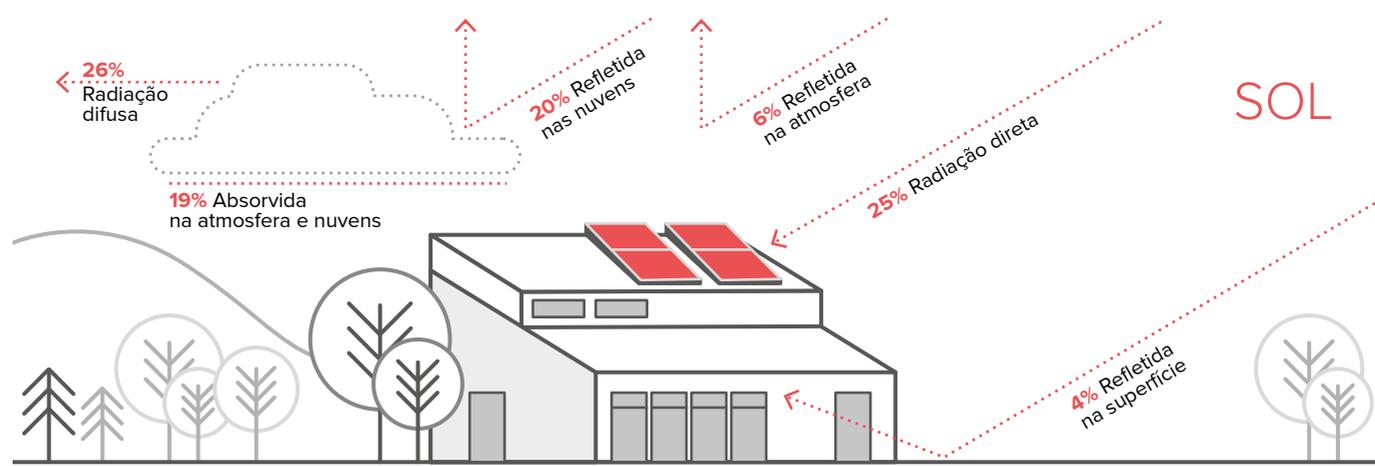
A radiação solar incidente sobre a Terra pode ser separada em frações que seguem cursos distintos (Figura 2.3): aproximadamente 30% é perdida para o espaço por reflexão e espalhamento (20% por reflexão pelas nuvens, 4% por reflexão pela superfície dos continentes e oceanos e 6% por espalhamento pela atmosfera); cerca de 19% é absorvida pela atmosfera e nuvens; e 51% é absorvida pela superfície terrestre (25% de radiação solar direta e 26% de radiação difusa, i. e., espalhada até chegar à superfície), sendo esses números sujeitos a variações em função da posição geográfica.

FIGURA 2.2 Espectro de radiação solar.



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

FIGURA 2.3 Caminho da radiação até chegar à superfície de aproveitamento do recurso solar.

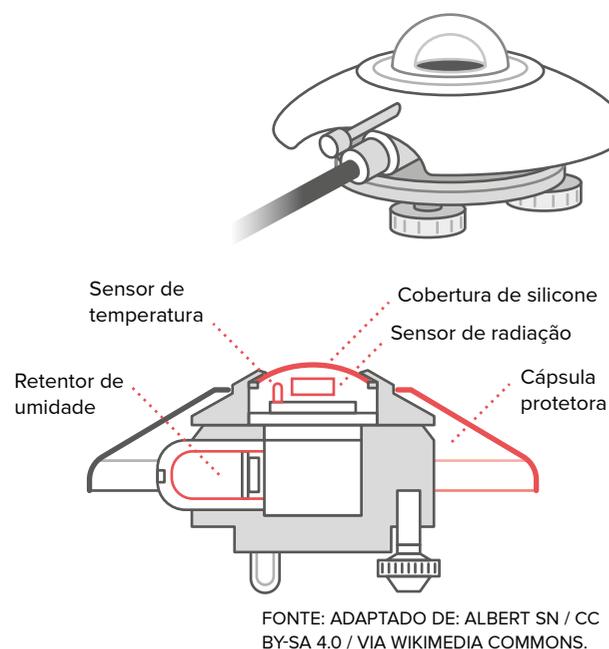


A medida da irradiância solar pode ser expressa por meio de três componentes principais: Irradiância Direta Normal (*Direct Normal Irradiance* - DNI), Irradiância Difusa Horizontal (*Diffuse Horizontal Irradiance* - DHI) e Irradiância Global Horizontal (*Global Horizontal Irradiance* - GHI). Define-se a integral da irradiância no tempo como irradiação solar [$\text{W/m}^2/\text{tempo}$], p. ex. [kWh/m^2] ou [J/m^2] [4]. Cada uma das componentes é analisada nas seções a seguir, juntamente com outros parâmetros da radiação considerados importantes para estudos de aproveitamento do recurso solar. Os principais instrumentos de medição também são resumidamente descritos, com o intuito de familiarização com os procedimentos de prospecção.

2.3.1 IRRADIÂNCIA GLOBAL HORIZONTAL - GHI [W/m^2]

A Irradiância Global Horizontal - GHI é a potência da radiação solar recebida em uma unidade de área de superfície horizontal, constituindo-se no parâmetro fundamental para o cálculo de aproveitamento do recurso solar. Possui duas componentes: a Irradiância Direta Horizontal e a Irradiância Difusa Horizontal. A GHI pode ser medida por um piranômetro de termopilha (Figura 2.4), que consiste em um detector térmico passivo (termopilha) que responde à potência total absorvida por um revestimento de superfície preta (de alta absorvidade), transformando calor em tensão pela variação de temperatura de sua resistência. Com a calibração, é possível extrair uma relação linear entre a tensão elétrica gerada e a irradiância total absorvida, e medir o recurso solar disponível.

FIGURA 2.4 Piranômetro de termopilha.

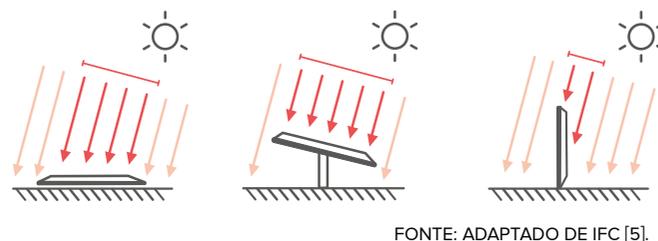


2.3.2 IRRADIÂNCIA TOTAL NO PLANO INCLINADO - POA [W/m^2]

A Irradiância Total no Plano Inclinado (*Plane of Array* - POA) é a potência da radiação solar recebida em uma unidade de área de superfície inclinada. Projetos solares em geral, principalmente aqueles localizados em maiores latitudes (onde o Sol está, durante a maior parte do ano, em posição inclinada, isto é, com inclinação menor que 90° em relação ao horizonte) são dispostos em estruturas inclinadas para evitar o sombreamento e aproveitar melhor o recurso. A POA pode ser medida por um piranômetro disposto em posição inclinada. Essa medição, porém, raramente é realizada porque usualmente a inclinação dos coletores só é definida nas fases finais dos projetos, quando já se têm definidos os azimutes finais e a disposição dos receptores. A POA para a inclinação ideal é, portanto, calculada já na fase de modelagem e simulação energética, a partir da medida da GHI e dos parâmetros finais de localização e disposição do projeto.

A Figura 2.5 ilustra a importância da inclinação dos módulos fotovoltaicos para a captação ideal da irradiação solar. A inclinação maximiza a incidência da radiação solar sobre o módulo.

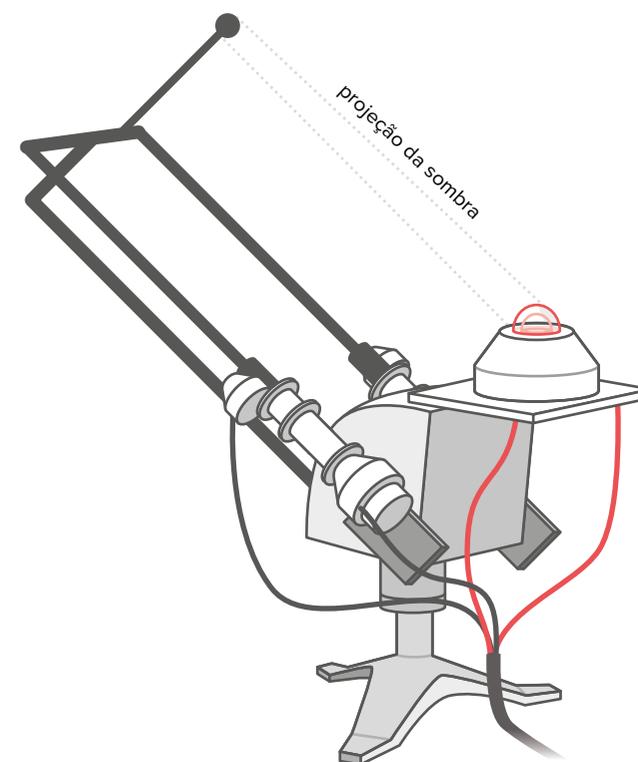
FIGURA 2.5 Influência da inclinação dos módulos fotovoltaicos na irradiação recebida.



2.3.3 IRRADIÂNCIA DIFUSA HORIZONTAL - DHI [W/m^2]

A Irradiância Difusa Horizontal é a potência da radiação solar recebida em uma unidade de área de superfície horizontal, subtraída da irradiância direta. Em outras palavras, é a radiação que atinge a superfície terrestre após ter sofrido espalhamento pelos componentes da atmosfera. Este parâmetro pode ser medido por um arranjo de um piranômetro com sistema de sombreamento (Figura 2.6), em que a esfera de sombreamento bloqueia a radiação solar direta, impedindo-a de atingir o sensor de radiação.

FIGURA 2.6 Sistema de medição da DHI.

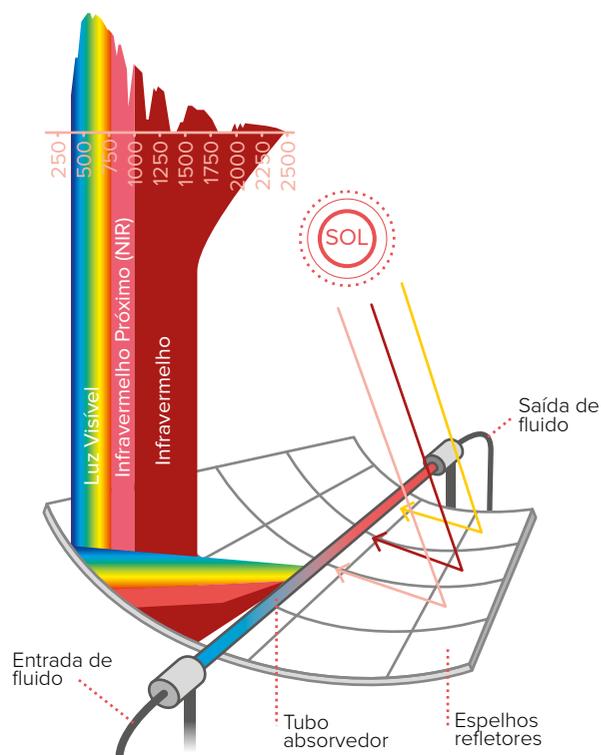


A razão DHI/GHI é utilizada na determinação da tecnologia de aproveitamento da energia solar. Quanto menor a razão, mais limpo é o caminho da radiação até a superfície e melhor é o aproveitamento do recurso, o que favorece o emprego de sistemas com Concentradores de Energia Solar (*Concentrating Solar Power* - CSP) ou Concentradores Fotovoltaicos (*Concentrated PhotoVoltaics* - CPV), como os vistos na Figura 2.7.

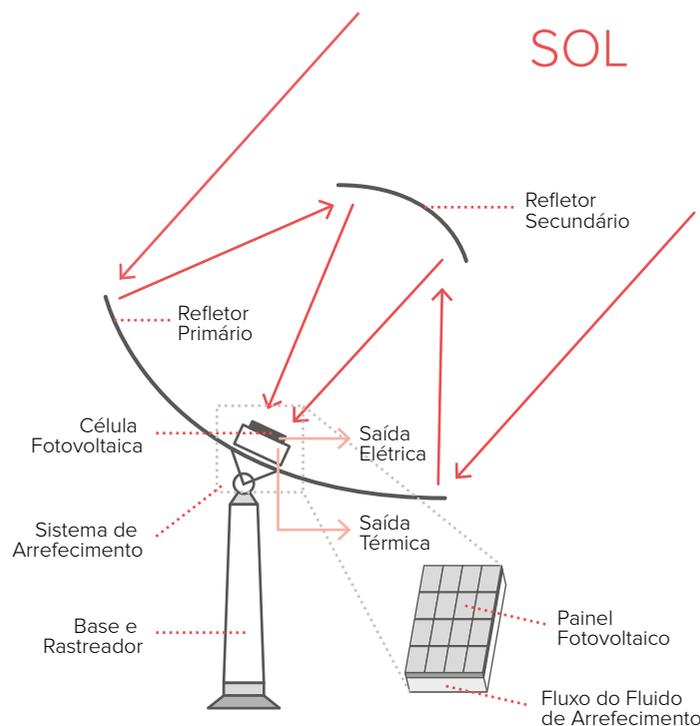
2.3.4 IRRADIÂNCIA NORMAL DIRETA - DNI [W/m^2]

A Irradiância Normal Direta - DNI é a irradiância proveniente diretamente do Sol (radiação solar e circun-solar) incidente sobre um plano normal (perpendicular) aos raios solares. A DNI pode ser medida por um pireliômetro (Figura 2.8), no qual a superfície de recepção capta apenas a radiação desejada, normalmente por meio de pequena abertura, da ordem de 5° . Para medições contínuas, é aconselhado o uso de um rastreador solar, que sempre posiciona o equipamento perpendicularmente aos raios solares, garantindo a medição isolada da componente direta. No entanto, a operação de pireliômetros com rastreador solar é relativamente complexa e custosa.

FIGURA 2.7 Exemplo de concentrador solar (à esquerda, no CSP, espelhos refletem a luz solar para o coletor de calor para aumentar a absorção de irradiação) e fotovoltaico (à direita, no CPV ocorre a concentração de irradiação para aumentar o efeito fotoelétrico nos painéis fotovoltaicos).



FONTE: ADAPTADO DE ARPA-E [6].



FONTE: ADAPTADO DE XU E KLEINSTREUER [7].

FIGURA 2.8 Pireliômetro.

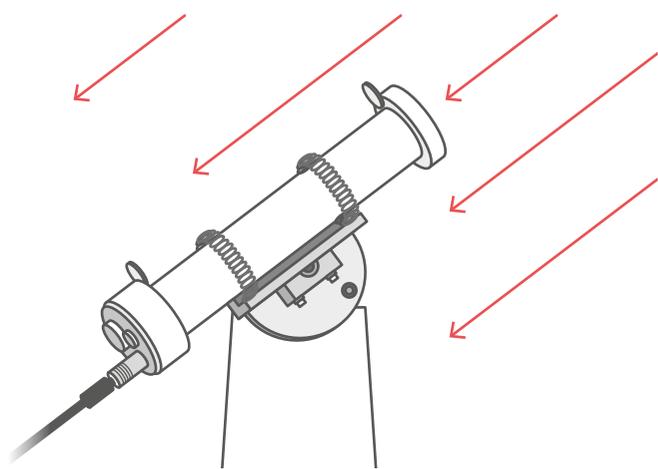
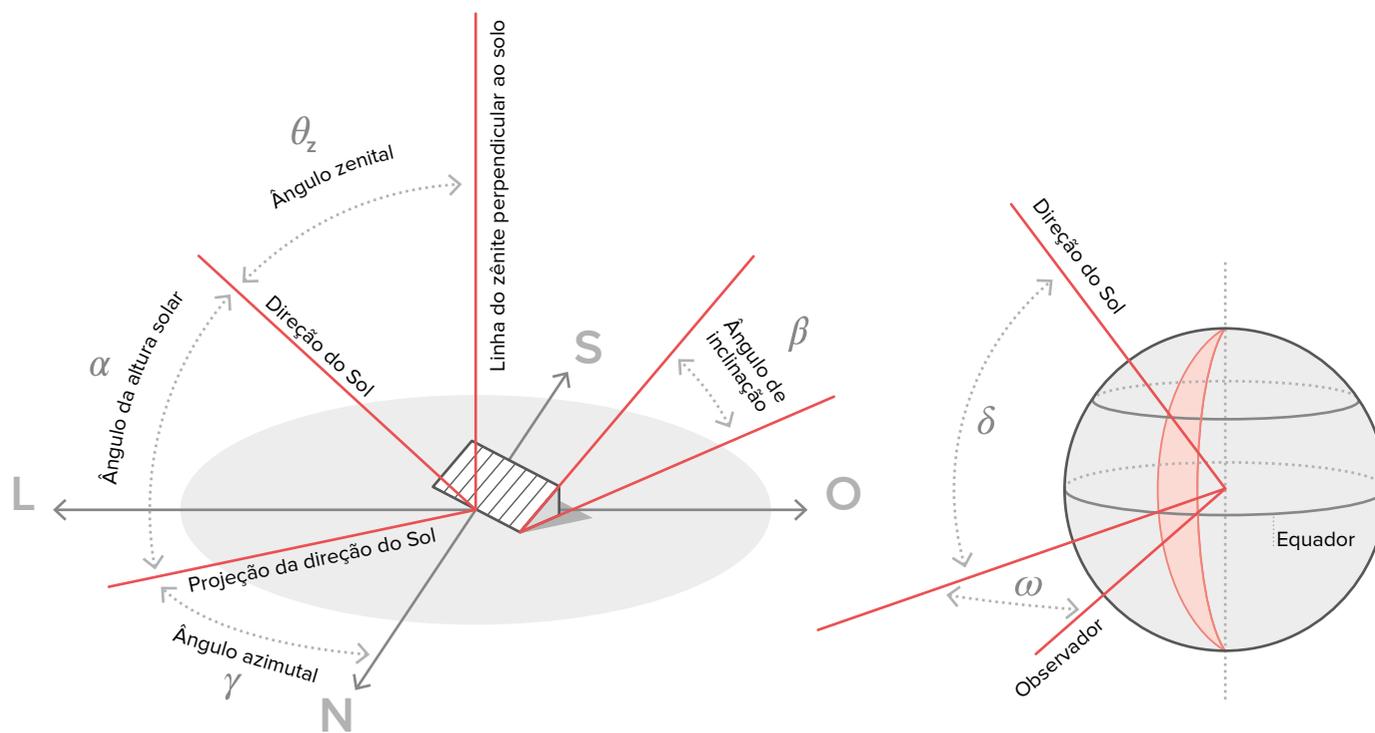


FIGURA 2.9 Ângulos notáveis em energia solar.



A DNI também pode ser inferida a partir dos dados de GHI e DHI, por meio da relação com o ângulo solar zenital θ_z (que varia com a posição relativa do Sol em relação à superfície terrestre):

$$GHI = DNI \times \cos \theta_z + DHI.$$

Na Figura 2.9 são apresentados os principais ângulos utilizados para descrever a posição do Sol a partir de um plano com qualquer orientação, localizado na Terra [8].

2.3.5 RADIAÇÃO DE ONDA LONGA

O comprimento de onda da radiação emitida por um corpo é inversamente proporcional à sua temperatura (Lei de Wien). Como a temperatura da Terra e de sua atmosfera é bastante inferior à do Sol, a radiação emitida pelo planeta possui maior comprimento de onda. Por esse motivo, a radiação refletida e redirecionada pela Terra e pela atmosfera terrestre é conhecida como radiação de onda longa ou infravermelha distante. Ela tem fundamental importância para a manutenção da temperatura média da atmosfera, mais absorvente para radiações de ondas longas, embora não esteja diretamente associada ao aproveitamento do recurso solar com fins energéticos. A medição da radiação de onda longa pode ser obtida com um pirgeômetro, que é um medidor de radiação (piranômetro) com um filtro passa-alta normalmente configurado para medir a irradiância a ~ 4000 nm de comprimento de onda.

2.3.6 ALBEDO E RADIAÇÃO SOLAR LÍQUIDA

O albedo é a razão entre a irradiância que é refletida pelo ambiente e a que chega na superfície (solo, vegetação, etc.). Expresso adimensionalmente, pode variar de zero (absorção total da radiação, superfície perfeitamente negra) até 1 (reflexão perfeita, superfície branca). O albedo depende da frequência da radiação e da posição dos raios solares, e sua média é bastante utilizada como primeira aproximação na identificação de tipos de superfície. Valores típicos de albedo para algumas superfícies são apresentados na Tabela 2.1.

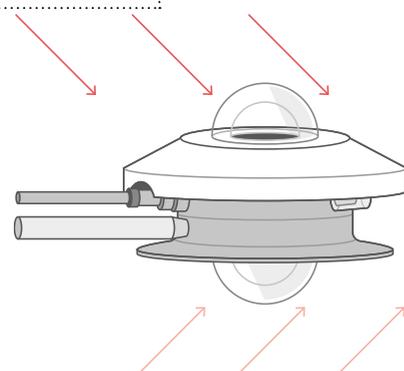
TABELA 2.1 Albedo médio para cada tipo de superfície.

SUPERFÍCIE	TIPO	ALBEDO
Solo	Escuro, molhado	0,05
	Claro, seco	0,40
Dunas e deserto	-	0,20 – 0,45
Grama	Longa (1,00 m)	0,16
	Curta (0,02 m)	0,26
Áreas Agrícolas	-	0,18 – 0,25
Pomares	-	0,15 – 0,20
Florestas	-	0,15 – 0,20
Coníferas	-	0,05 – 0,15
Água	Pequeno ângulo zenite	0,03 – 0,10
	Grande ângulo zenite	0,10 – 1,00
Neve	Perene	0,40
	Fresca	0,95
Gelo	Mar	0,30 – 0,45
	Geleira	0,20 – 0,40

FONTE: ADAPTADO DE OKE [9].

O albedo pode ser medido por meio de um albedômetro, que consiste em um arranjo de dois piranômetros posicionados em direções opostas, de modo a captar as radiações incidente e refletida (Figura 2.10). O balanço entre a radiação incidente e a refletida pela superfície é denominado Radiação Solar Líquida.

FIGURA 2.10 Albedômetro.



O albedo de uma superfície é difícil de ser modelado, pois é espacialmente e temporalmente heterogêneo, variando com o tipo de cobertura da terra. Por exemplo, uma área agrícola tem o albedo modificado ao longo do ciclo da cultura: plantio, crescimento da cultura e colheita. A absorção, espalhamento e reflexão da radiação numa área de dunas é bem diferente do que ocorre em uma área florestada, a qual, por sua vez, é diferente de uma pastagem ou de áreas alagadas. A representação dessa variabilidade é uma tarefa complexa e um grande desafio para a modelagem atmosférica próxima à superfície. Frequentemente, o cálculo do albedo é feito com medidas indiretas realizadas por satélite e com modelos analíticos que descrevem o fluxo de radiação na superfície e na atmosfera.

Ainda assim, a modelagem do albedo é fundamental para a estimativa do balanço de energia da superfície nos modelos climáticos, principalmente para representar a variabilidade da cobertura da terra ao longo do tempo. Para fins de modelagem, existem dois tipos de albedo: o direcional e o hemisférico. De maneira simplificada, o albedo de céu negro ou direcional é intrinsecamente dependente da radiação direta incidente na superfície, desconsiderando a componente difusa. Varia, portanto, de acordo com o ângulo de incidência da radiação e das propriedades de absorção e espalhamento da radiação na superfície [11]. Já a componente hemisférica ou de céu branco é dependente também dos constituintes da atmosfera, que modulam a absorção e o espalhamento da radiação, e representa a componente difusa da radiação na superfície. O cálculo do albedo real da superfície é uma combinação complexa entre os dois albedos, sendo função do ângulo zenital, dos tipos e características da cobertura da terra, bem como dos constituintes óticos da atmosfera que modulam a absorção e o espalhamento da radiação incidente na superfície e na atmosfera local. Com esses dois albedos é possível estimar o albedo de superfície para todas as condições de iluminação, a partir das propriedades da superfície.

O Mapa 2.1 apresenta os valores médios da componente direcional do albedo para o ano de 2017, no Rio Grande do Sul, e foi elaborado a partir de dados do sensor orbital PROBA-V, distribuídos pelo *Copernicus Global Land Service* da Agência Espacial Europeia [10]. Regiões florestadas no Nordeste do Estado e com matas ciliares possuem menor albedo que áreas agrícolas, tipicamente no Noroeste do Estado. Já as regiões de dunas, no litoral, apresentam maior albedo, com valores superiores a 0,35. As variações sazonais do albedo são apresentadas no Mapa 2.2. Durante o verão, o albedo das áreas agrícolas fica mais elevado, devido à presença do solo exposto nos períodos de colheita e de preparo do solo, com valor médio acima de 0,20. Na primavera, o albedo direcional diminui devido ao incremento da vegetação nas áreas agrícolas e pastagens.

2.3.7 HORAS DE SOL OU INSOLAÇÃO TOTAL

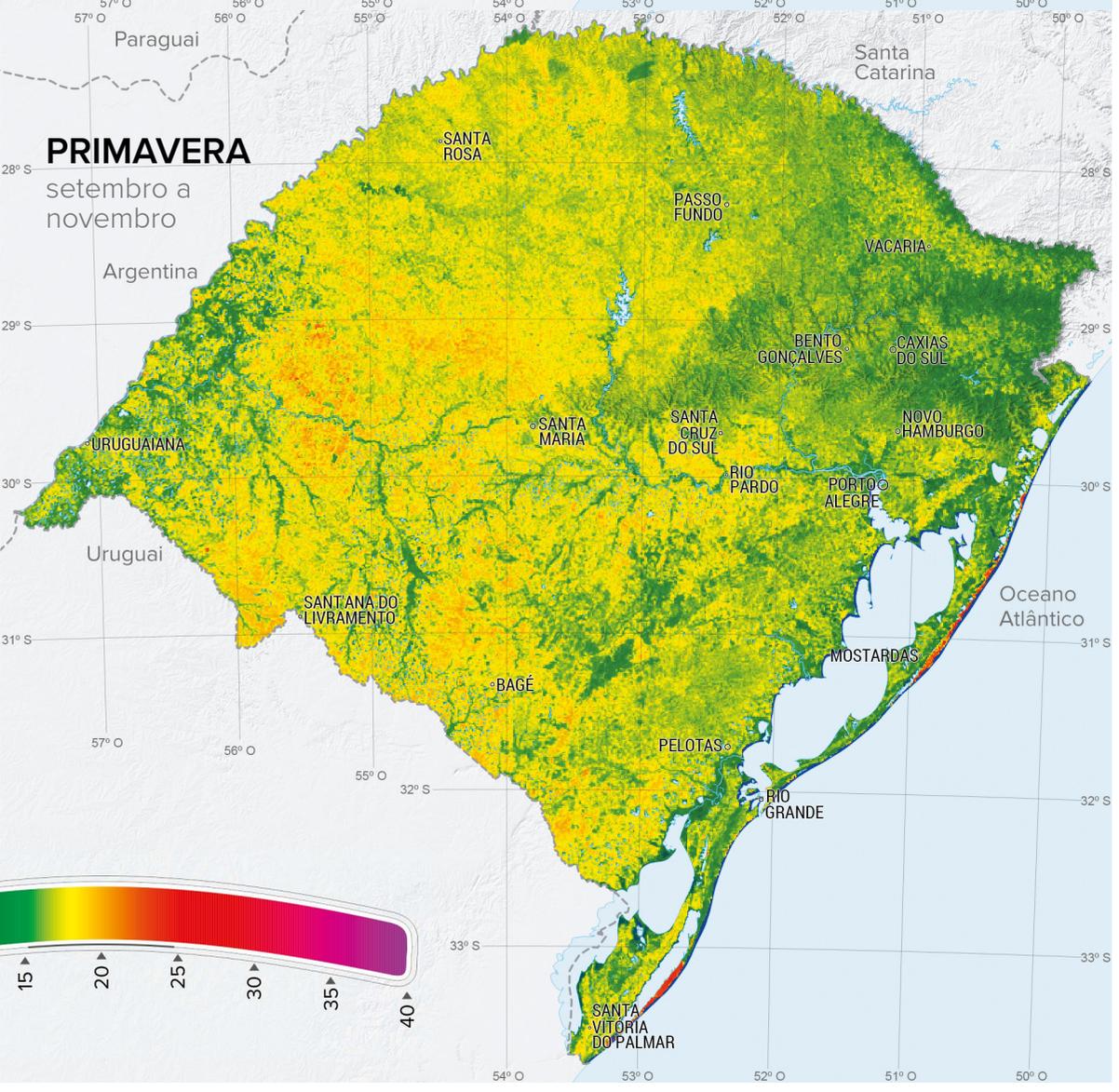
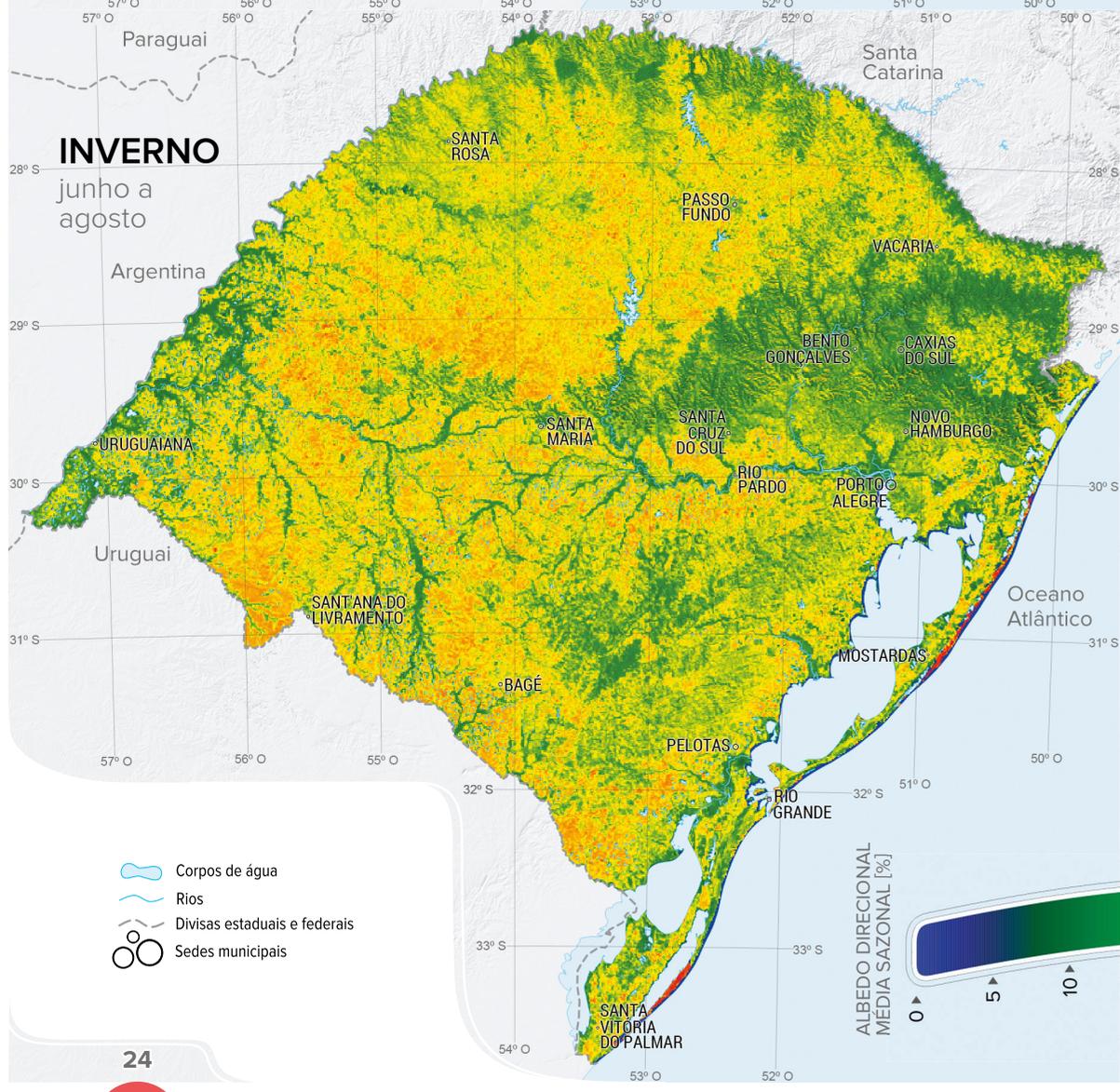
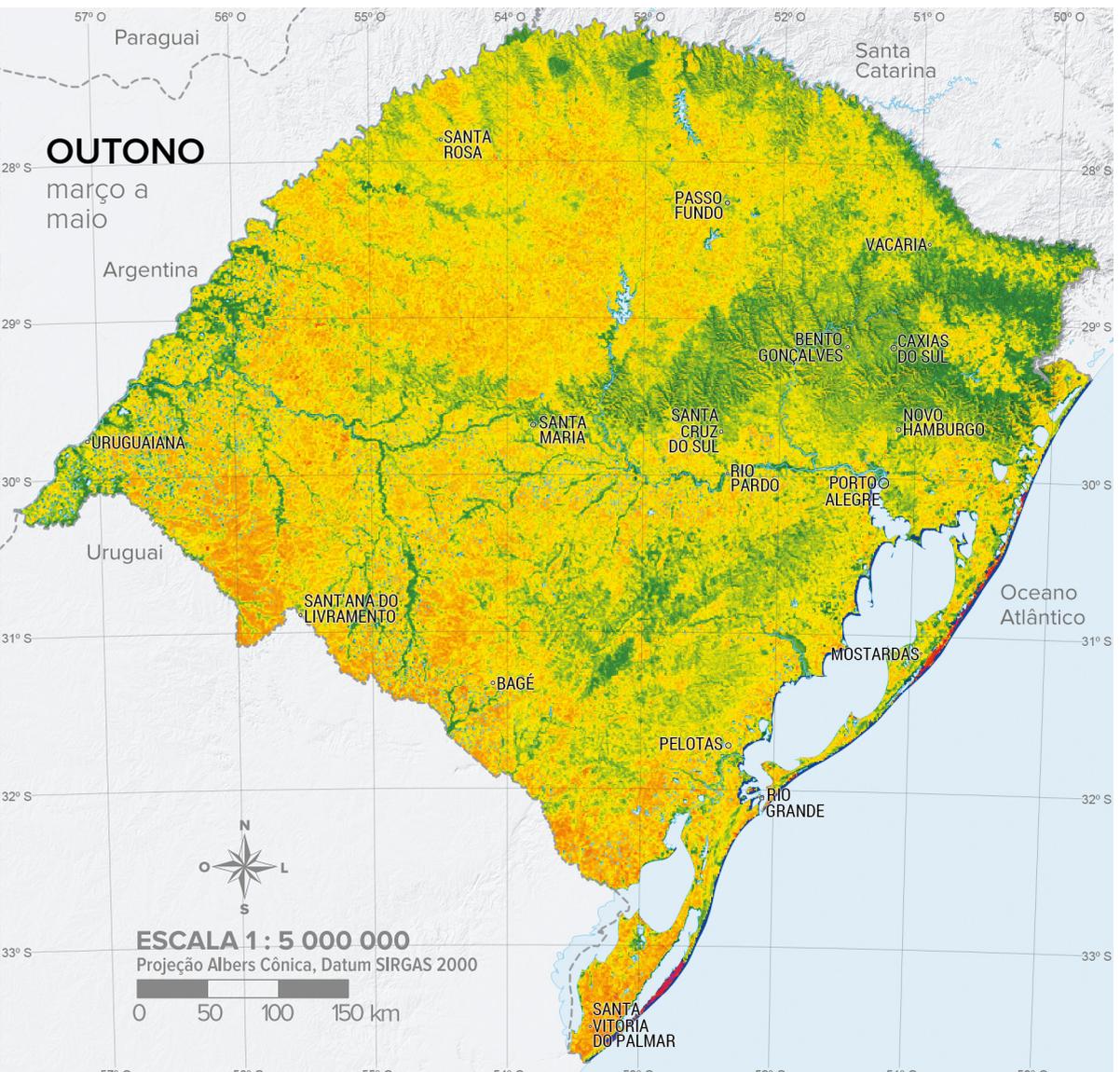
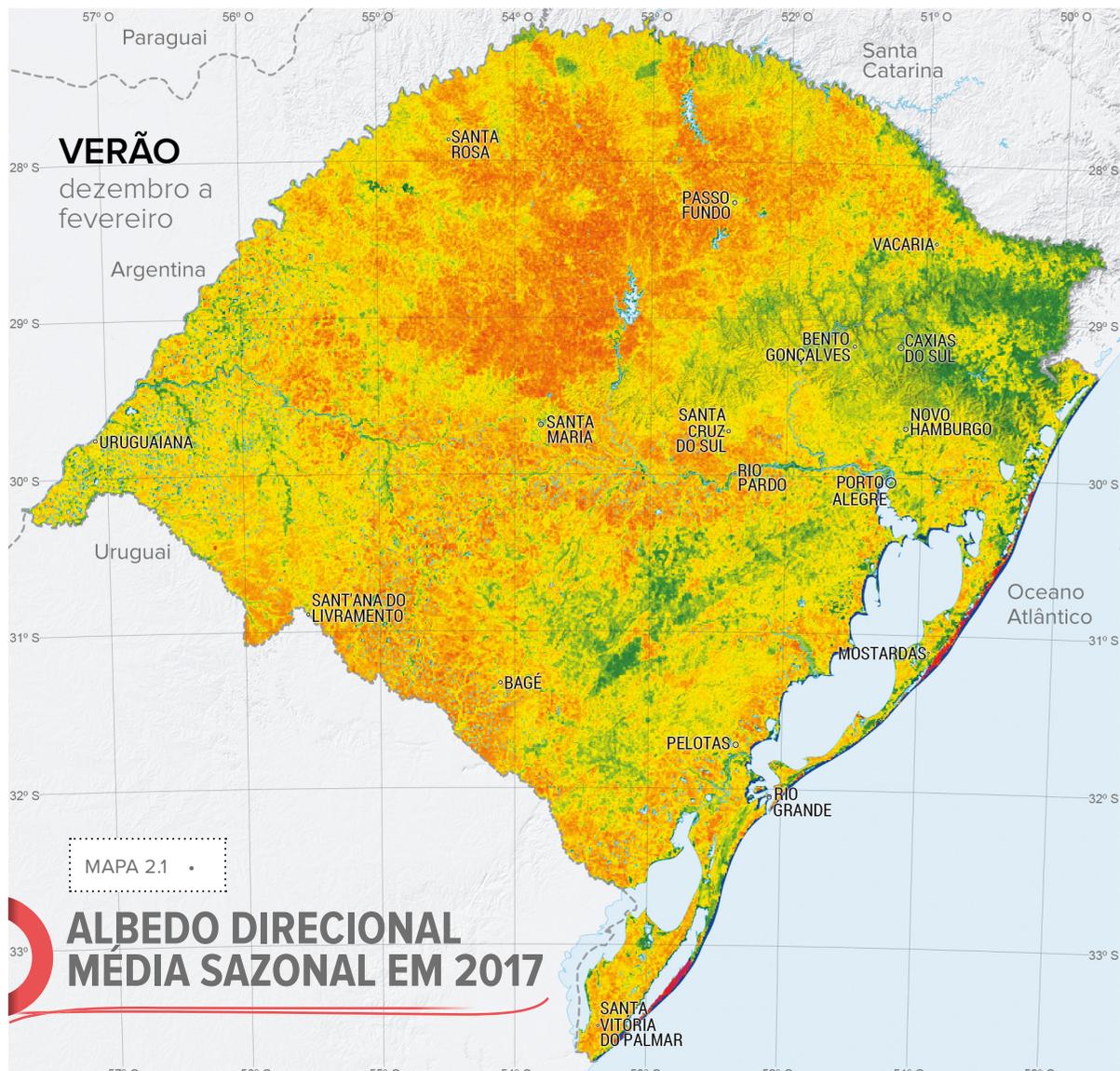
O conceito de “horas de Sol” ou “insolação total” é dado pelo número de horas durante o qual uma determinada região fica exposta à irradiância solar direta superior a 120 W/m^2 . Define-se ainda como “hora solar pico” as horas de irradiância maior do que 1000 W/m^2 . Com aplicação mais frequente na agricultura, biologia e meteorologia, esses parâmetros não são empregados diretamente para o cálculo da radiação solar e podem ser obtidos pelo heliógrafo laser, de Campbell Stokes (Figura 2.11) ou de Jordan.

FIGURA 2.11 Heliógrafo de Campbell Stokes.

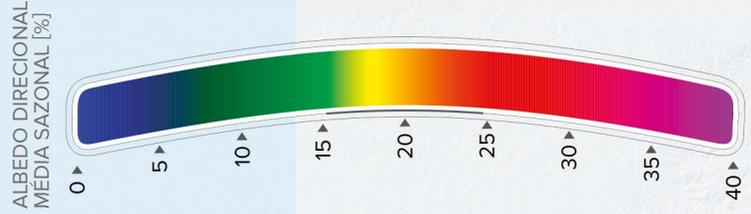


2.3.8 PROFUNDIDADE ÓPTICA DE AEROSSÓIS – AOD

Aerossóis são partículas sólidas ou líquidas em suspensão em um gás. Quando suspensas nas camadas da atmosfera, elas são capazes de absorver e dispersar a radiação solar. Influenciam, portanto, no clima, de forma indireta, constituindo núcleos de condensação de nuvens que interferem na nebulosidade. A Profundidade Óptica de Aerossóis (*Aerosol Optical Depth - AOD*) é um parâmetro que mede a capacidade dos aerossóis de absorver e dispersar a radiação incidente no meio em que estão inseridos. A medição da AOD é realizada por faixas de comprimento de onda com o uso de fotômetros, radiômetros de filtro ou fotômetros solares automáticos (Figura 2.12). Devido à complexidade desses sensores e pela profundidade óptica já estar implícita nos resultados obtidos de medições da radiação solar, não é de fundamental importância a aferição da AOD para projetos de energia solar. Porém, é de grande utilidade para estudos da atmosfera local e na parametrização de modelos numéricos de previsão de tempo.

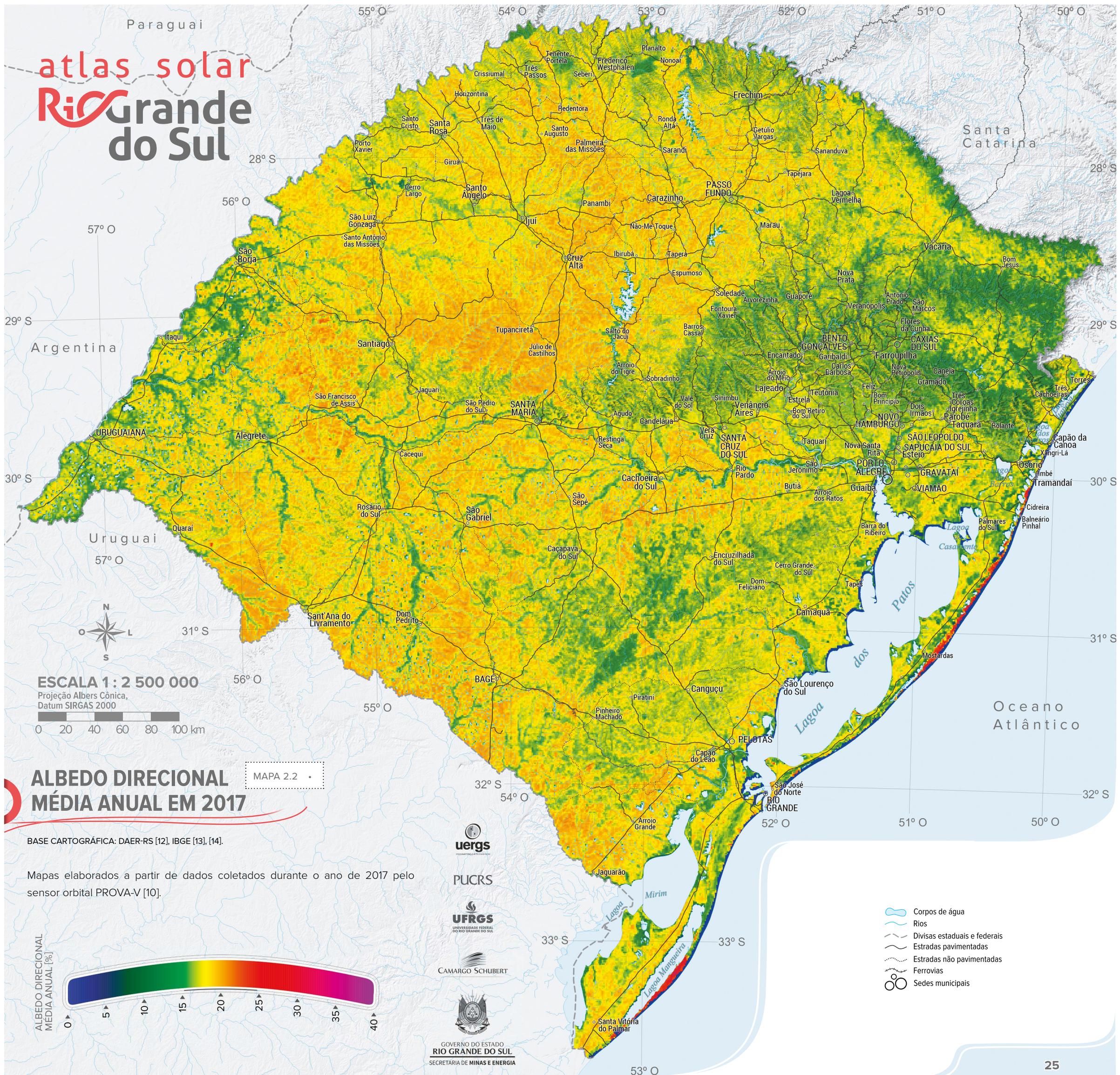


- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais
- Sedes municipais



atlas solar

Rio Grande do Sul

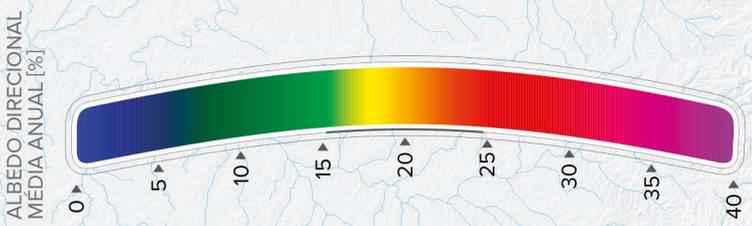


ALBEDO DIRECIONAL MÉDIA ANUAL EM 2017

MAPA 2.2

BASE CARTOGRÁFICA: DAER-RS [12], IBGE [13], [14].

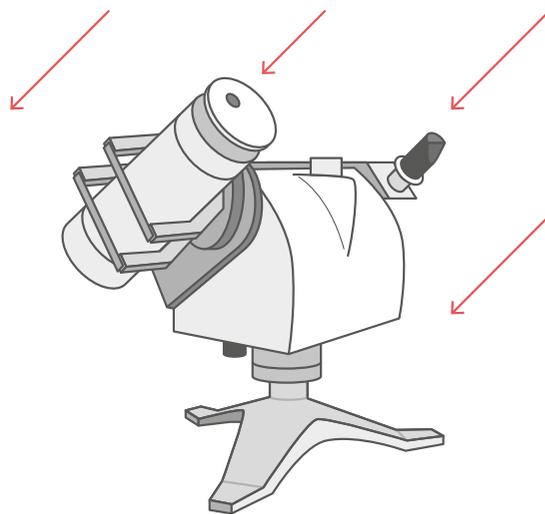
Mapas elaborados a partir de dados coletados durante o ano de 2017 pelo sensor orbital PROVA-V [10].



- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Sedes municipais

uergs
PUCRS
UFRGS
CAMARGO SCHUBERT
GOVERNO DO ESTADO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

FIGURA 2.12 Fotômetro solar.



2.3.9 DISTRIBUIÇÃO ESPECTRAL DA RADIAÇÃO

A avaliação da distribuição espectral da radiação incidente auxilia na determinação da melhor tecnologia de aproveitamento da energia solar. Para projetos fotovoltaicos, diferentes tipos de módulos fotovoltaicos podem apresentar melhor eficiência em função da faixa espectral. A distribuição espectral é medida por espectrorradiômetros.

2.4 INCERTEZAS NA QUANTIFICAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR

Os estudos da radiação solar para avaliação dos recursos energéticos utilizam várias metodologias, desde a medição local até métodos indiretos, baseados em dados de sensores orbitais a bordo de satélites [11]. Outra metodologia utilizada tanto para a previsão de curto prazo quanto para o mapeamento solar dos recursos energéticos é a Previsão Numérica do Tempo (*Numerical Weather Prediction* - NWP). A avaliação da qualidade dos resultados dessa modelagem numérica é realizada por meio de diferentes métricas estatísticas [15]. Em geral, a incerteza dos resultados do modelo varia temporalmente e espacialmente em função da topografia, proximidade de corpos d'água e constituintes da atmosfera, como aerossóis e vapor d'água.

A incerteza da medição do recurso solar está diretamente ligada à classe de equipamentos utilizados durante a prospecção. A calibração dos sensores pode ser realizada em laboratório ou em campo, seguindo padrões de referência de normas reconhecidas (*International Organization for Standardization* - ISO / *World Meteorological Organization* - WMO). De modo geral,

os piranômetros são classificados de acordo com a incerteza de medição associada a equipamentos de referência [16].

Além da precisão dos sensores, outros tipos de incertezas influenciam o processo de avaliação dos empreendimentos, tais como a variação interanual da irradiância solar, a representatividade do período de monitoramento, a transposição do recurso medido para a área da usina, a metodologia de simulação energética e as perdas associadas ao processo de conversão de energia solar em elétrica (conversão de energia, estimativa de temperatura de operação, degradação e desempenho dos equipamentos, etc.).

2.5 OUTROS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

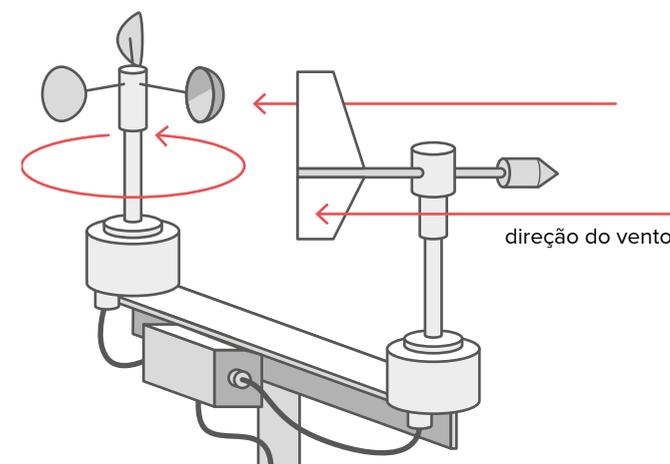
2.5.1 TEMPERATURA AMBIENTE [°C] E TEMPERATURA MÉDIA DIURNA [°C]

A temperatura altera o desempenho dos módulos fotovoltaicos, sendo, desta forma, um importante parâmetro a ser levado em conta na escolha da tecnologia para aproveitamento da energia solar. Ambientes mais quentes sugerem módulos fotovoltaicos com menor coeficiente de temperatura (menor redução da eficiência com o aumento da temperatura). No caso dos sistemas de conversão térmica da energia solar, como nos aquecedores solares de água, a temperatura ambiente é ainda mais importante, pois influencia a transferência de calor entre o absorvedor e o ar exterior ao coletor. A temperatura pode ser medida por um termopar, um termistor, ou outro sensor, e é recomendada a sua aferição durante pelo menos um ano climatológico, nas proximidades da região do projeto, para estimar a sua influência na produção de energia no longo prazo. Para aproveitamento do recurso solar, é de especial interesse a avaliação do parâmetro de temperatura ambiente durante os horários de Sol, denominado Temperatura Média Diurna, p. ex., entre as 6 h e as 18 h.

2.5.2 VELOCIDADE [m/s] E DIREÇÃO [°] DO VENTO

As condições de vento influenciam no cálculo estrutural do projeto e, por isso, é recomendado que o dimensionamento das forças devidas à ação do vento seja baseado em medições anemométricas (velocidade e direção do vento) locais. O vento também contribui com o arrefecimento do sistema, favorecendo a troca de calor por convecção e atenuando os efeitos da temperatura ambiente no desempenho do painel fotovoltaico, devendo ser considerado nas estimativas de produção. A velocidade do vento pode ser medida por um anemômetro, enquanto a direção, por uma *windvane* (biruta) (Figura 2.13).

FIGURA 2.13 Anemômetro e *windvane*.



2.5.3 PRECIPITAÇÃO [mm] E NEBULOSIDADE [octas]

Mesmo que visto como menos relevante para o estudo do aproveitamento solar, o monitoramento da precipitação serve como indicador da disponibilidade de recurso hídrico para utilização na infraestrutura dos sistemas solares (manutenção do centro de operação, arrefecimento de sistemas, etc.), valendo lembrar que a chuva também auxilia na limpeza dos painéis. A relação entre precipitação e irradiância solar se dá pela nebulosidade: quanto mais limpo o céu, maiores os níveis de energia recebidos na superfície.

A precipitação acumulada pode ser medida por um pluviômetro, enquanto que a nebulosidade, expressa em oitavos [octas] ou em porcentagem em relação à superfície total do céu, pode ser avaliada por fotografias (Figura 2.14) ou por tecnologias avançadas que calculam a sua evolução temporal. Ambas as propriedades estão inseridas implicitamente na irradiância global horizontal, medida por piranômetros durante campanhas de prospecção para projetos de aproveitamento solar.

2.6 CLIMATOLOGIA

O clima do Estado do Rio Grande do Sul é caracterizado pela grande incidência de sistemas frontais e pela influência de fatores geográficos regionais, tais como diferenças de altitude e relevo dentro de seu território, diferenças de continentalidade e maritimidade, vegetação e atividade humana.

2.6.1 TEMPERATURA E RADIAÇÃO

Por ser o Estado brasileiro localizado em maior latitude, o Rio Grande do Sul possui as maiores amplitudes térmicas anuais. As temperaturas caracterizam-se, no Estado, por regiões geográficas

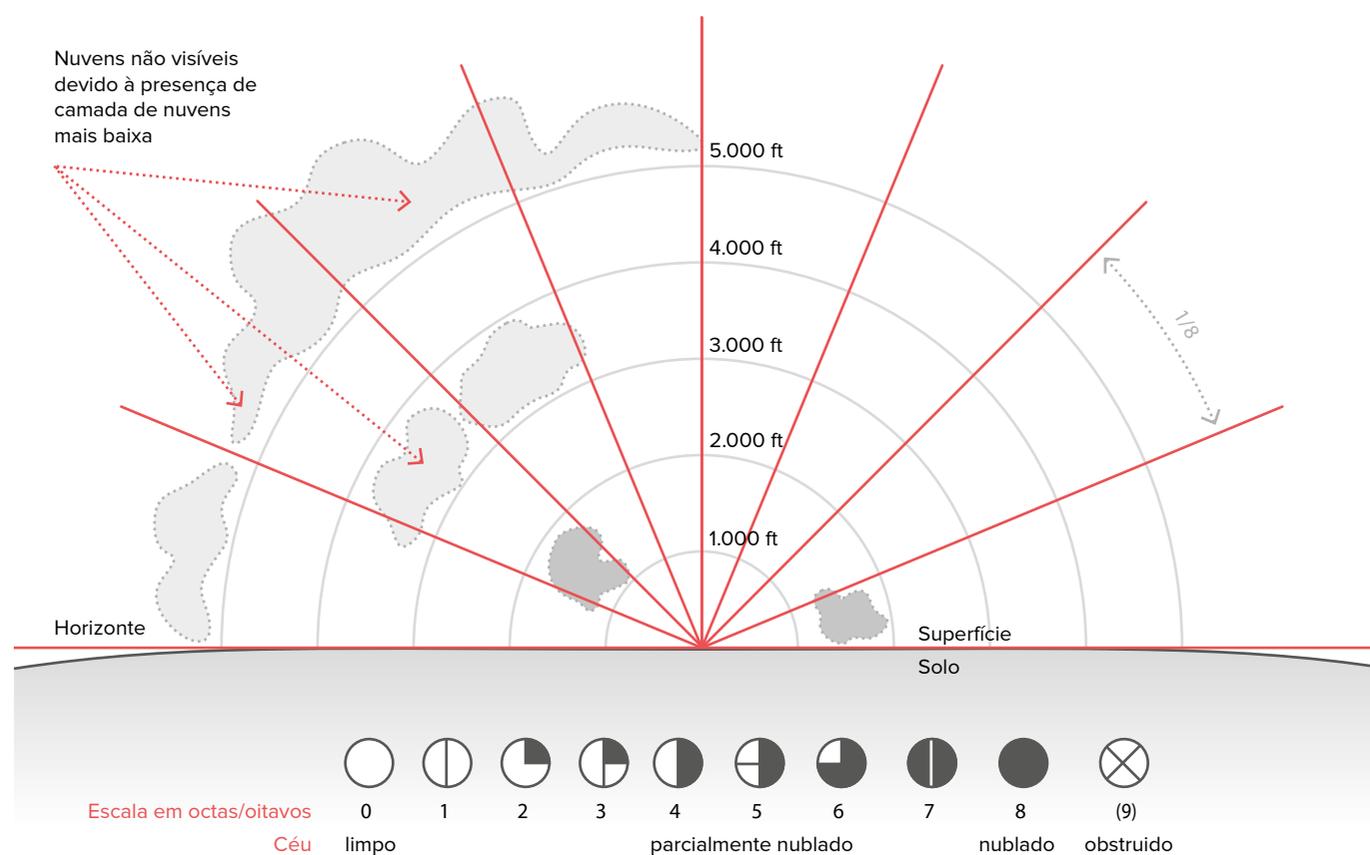
distintas, em função da incidência de sistemas atmosféricos e da influência do relevo, altitude e continentalidade (Mapas 2.3 e 2.4).

As temperaturas mais amenas situam-se nas regiões do Planalto Basáltico (Nordeste do Estado, onde localizam-se as maiores altitudes, favorecendo as perdas por radiação) e da Cuesta do Haedo; nas regiões a oeste da Depressão Central (no Sudoeste, com influência da continentalidade) e a oeste

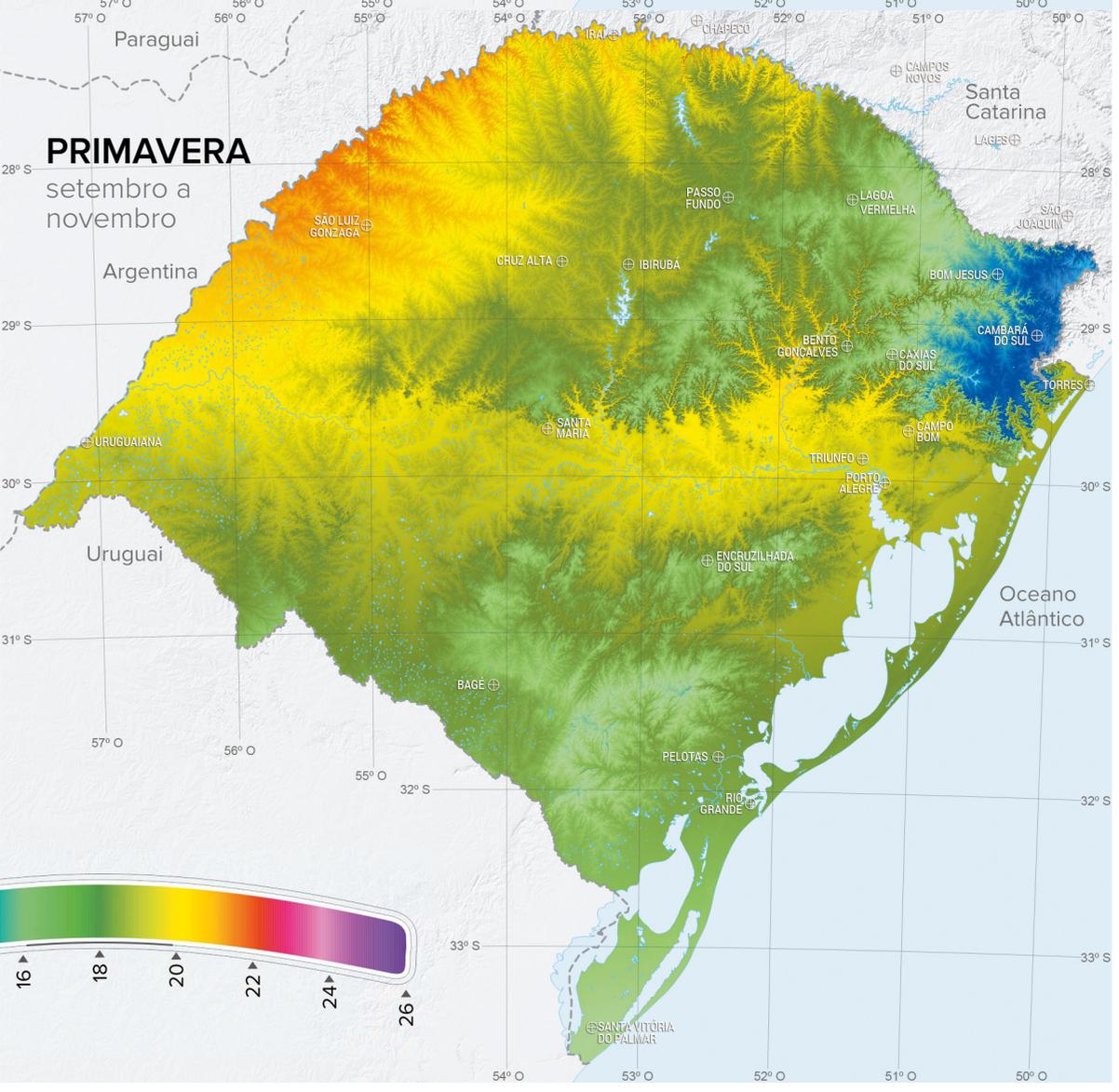
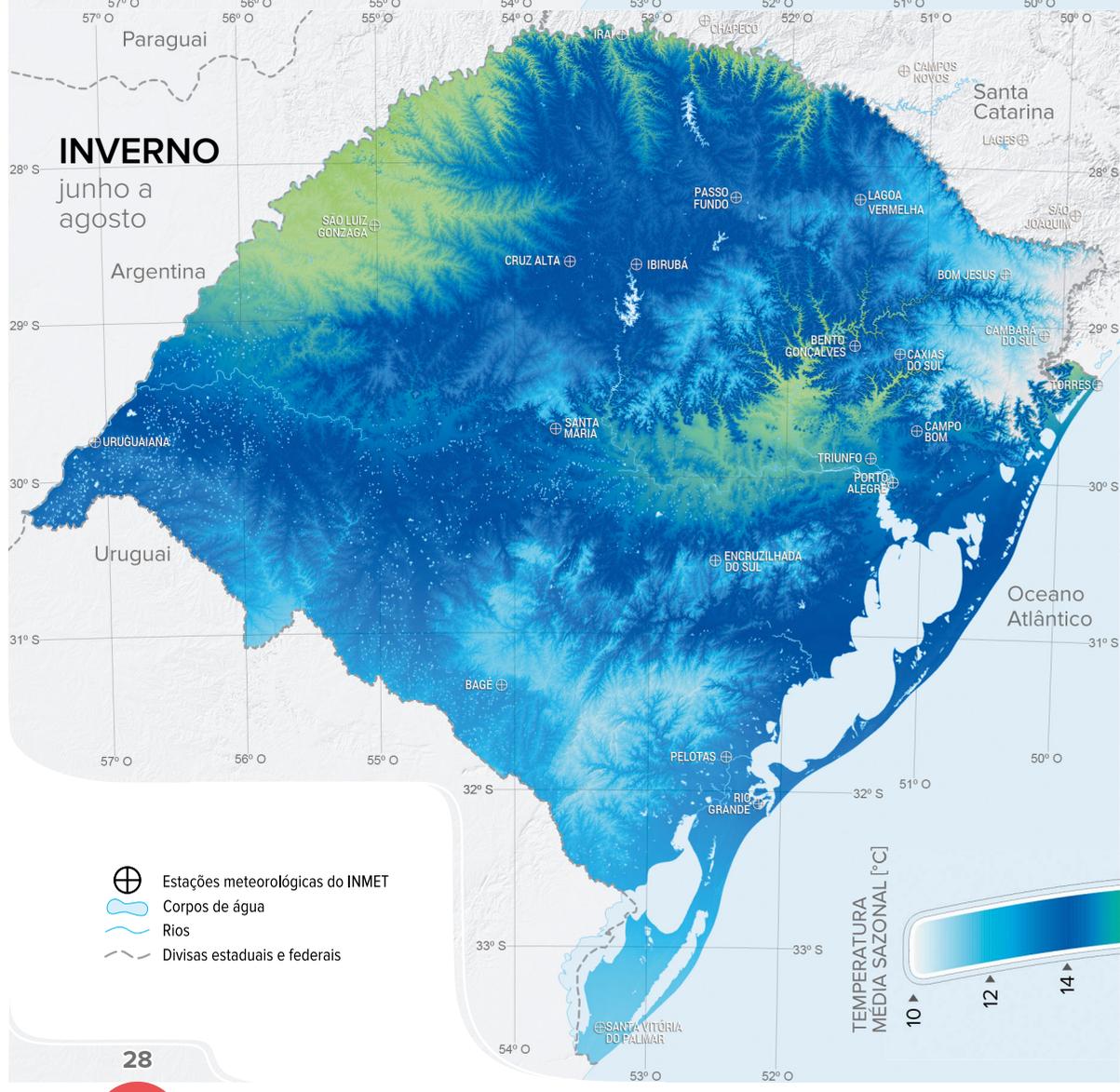
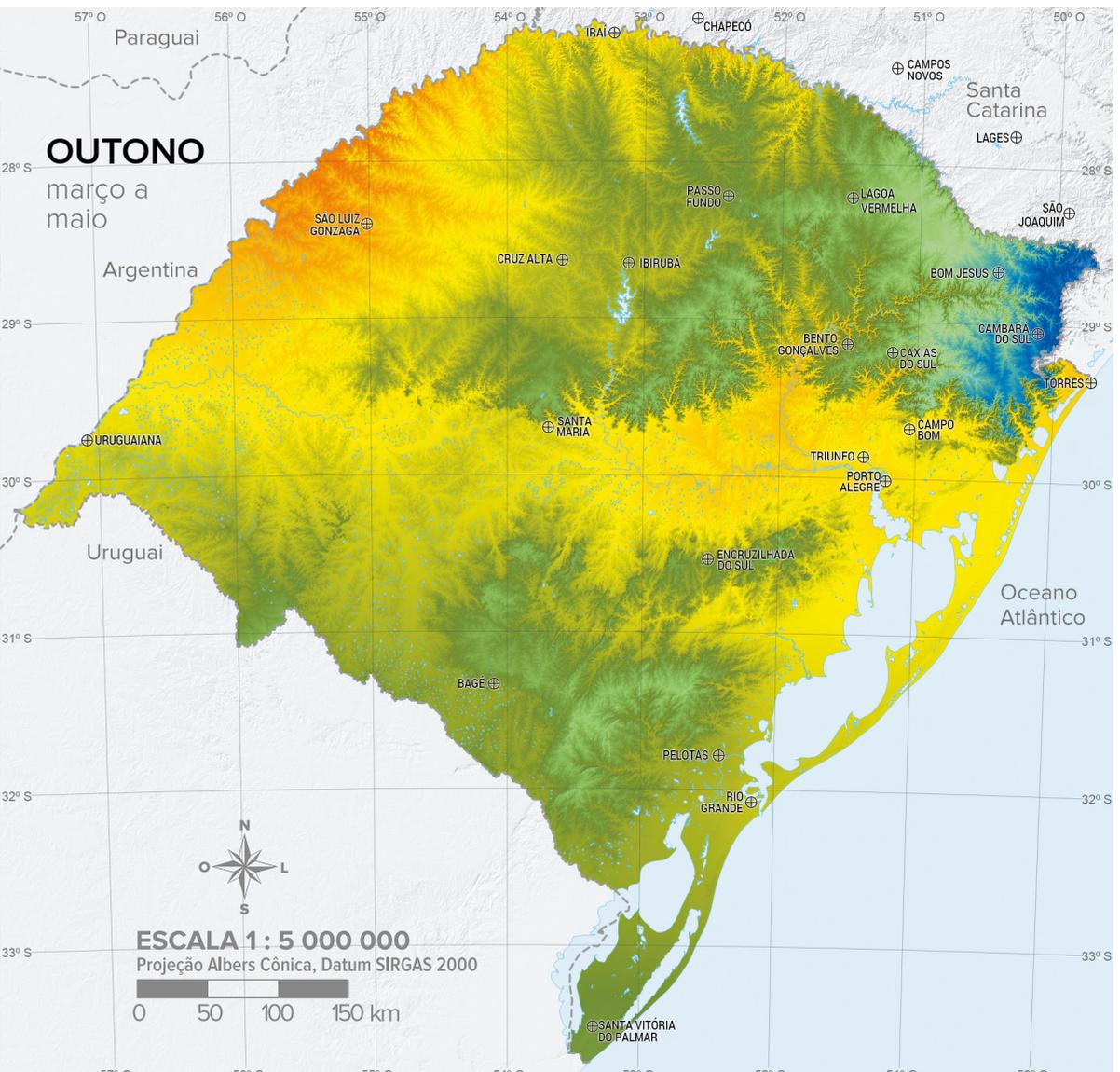
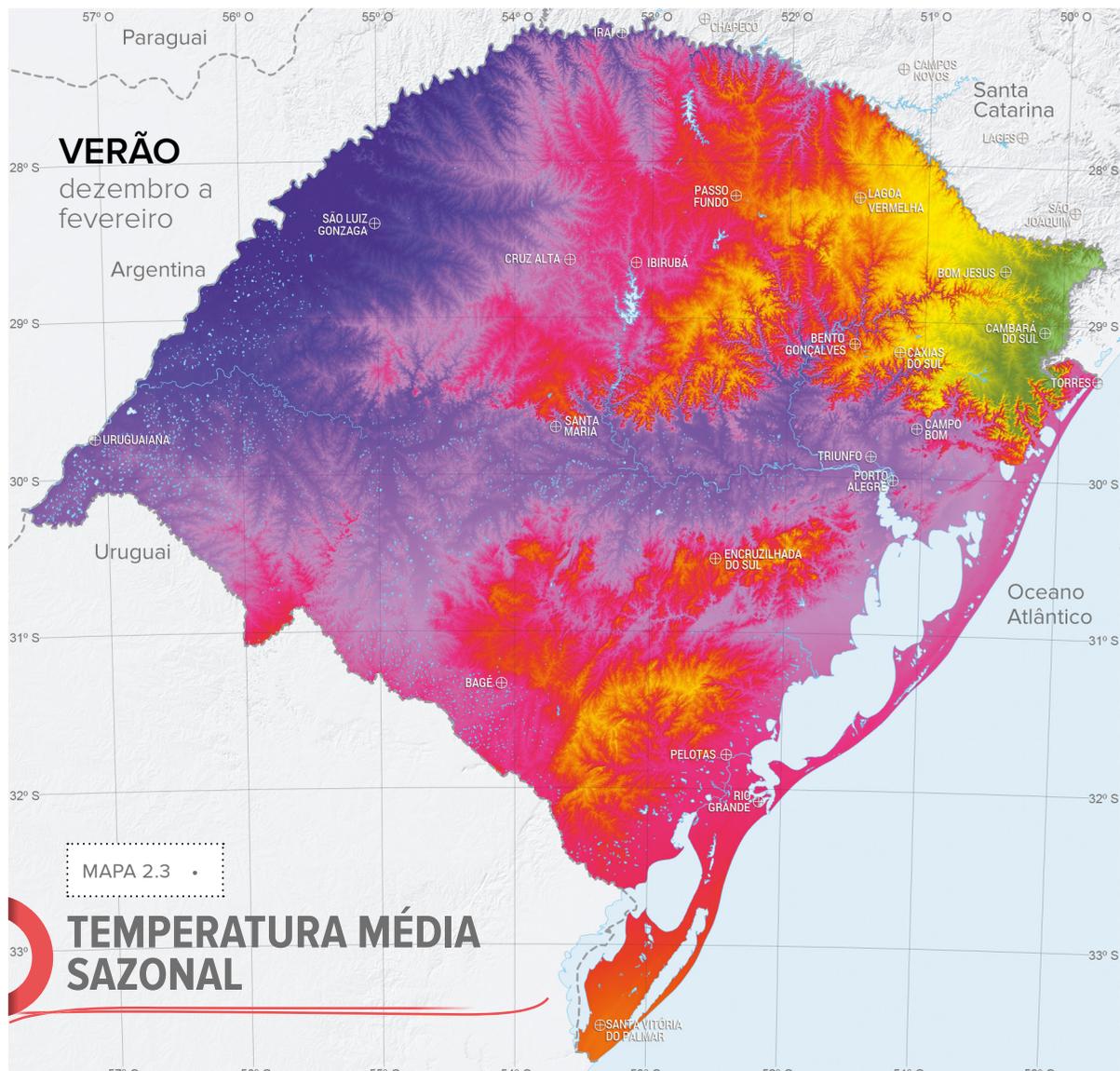
do Escudo Sul-Rio-Grandense; e no Litoral Sul. O Litoral Sul representa a região do final das planícies, com forte incidência de frentes polares oriundas da Argentina e do Uruguai. As temperaturas mais altas situam-se a leste da Depressão Central (devido à compressão adiabática do ar ao descer as encostas do Planalto Basáltico), na região metropolitana (devido à radiação de ondas longas emitida pela zona urbana) e na região dos vales do rio dos Sinos e do rio Uruguai (Norte do Estado).

Um fator importante no dimensionamento dos sistemas solares fotovoltaicos e térmicos é a temperatura mínima absoluta, para a definição dos sistemas de proteção. O mapa de temperaturas mínimas absolutas diurna para o Estado do Rio Grande do Sul (Mapa 2.5) foi elaborado a partir de normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET e séries das estações automáticas, até o ano de 2017.

FIGURA 2.14 Escala de nebulosidade.



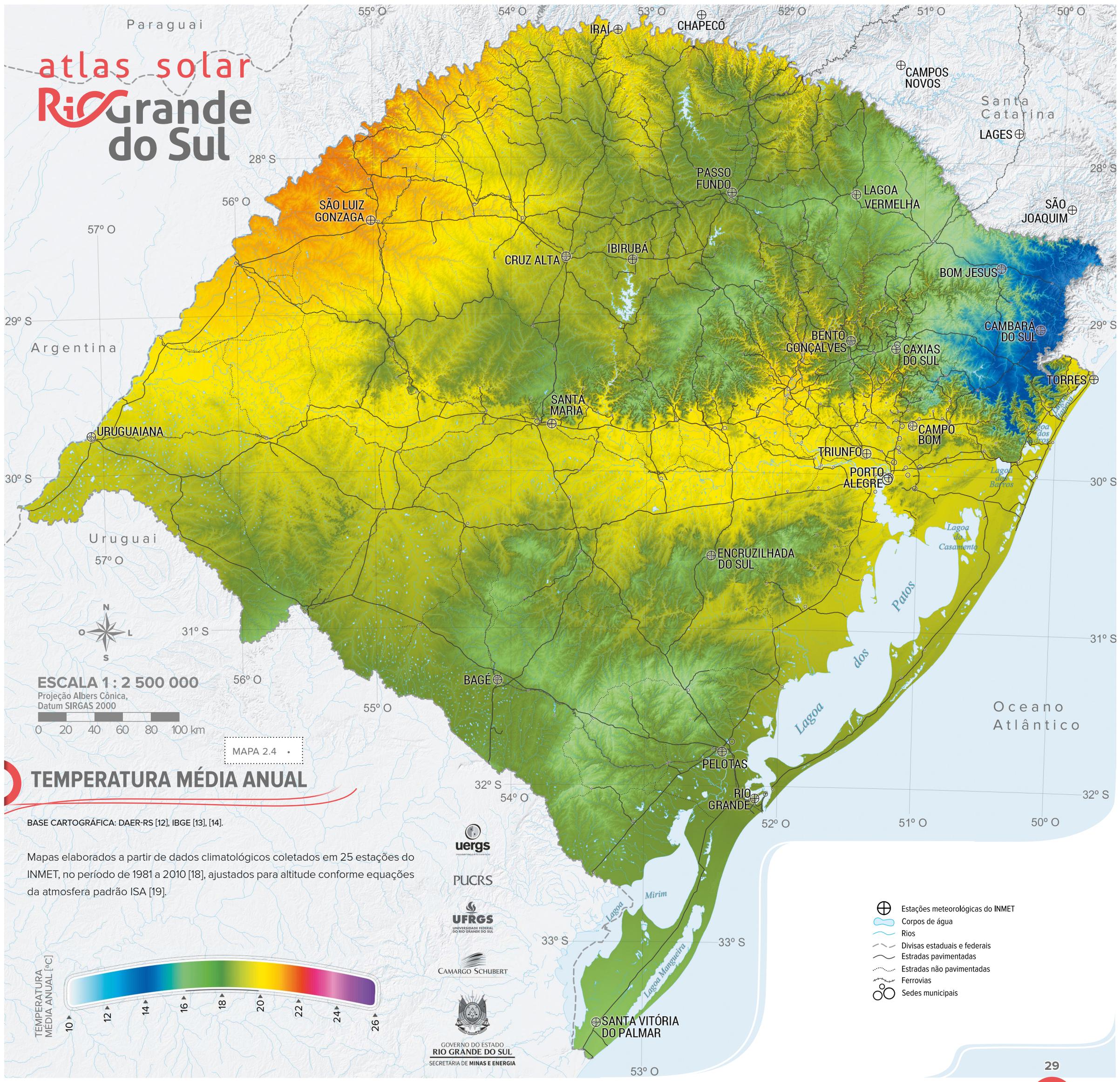
FONTE: ADAPTADO DE NWS E FAA [17].



- ⊕ Estações meteorológicas do INMET
- 🌊 Corpos de água
- 🌊 Rios
- Divisas estaduais e federais

atlas solar

Rio Grande do Sul

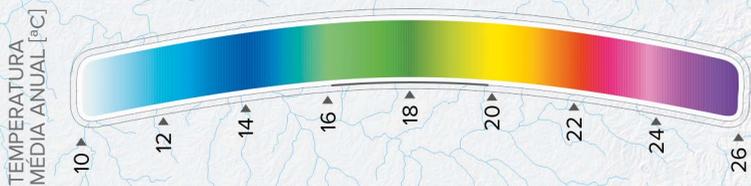


MAPA 2.4

TEMPERATURA MÉDIA ANUAL

BASE CARTOGRÁFICA: DAER-RS [12], IBGE [13], [14].

Mapas elaborados a partir de dados climatológicos coletados em 25 estações do INMET, no período de 1981 a 2010 [18], ajustados para altitude conforme equações da atmosfera padrão ISA [19].

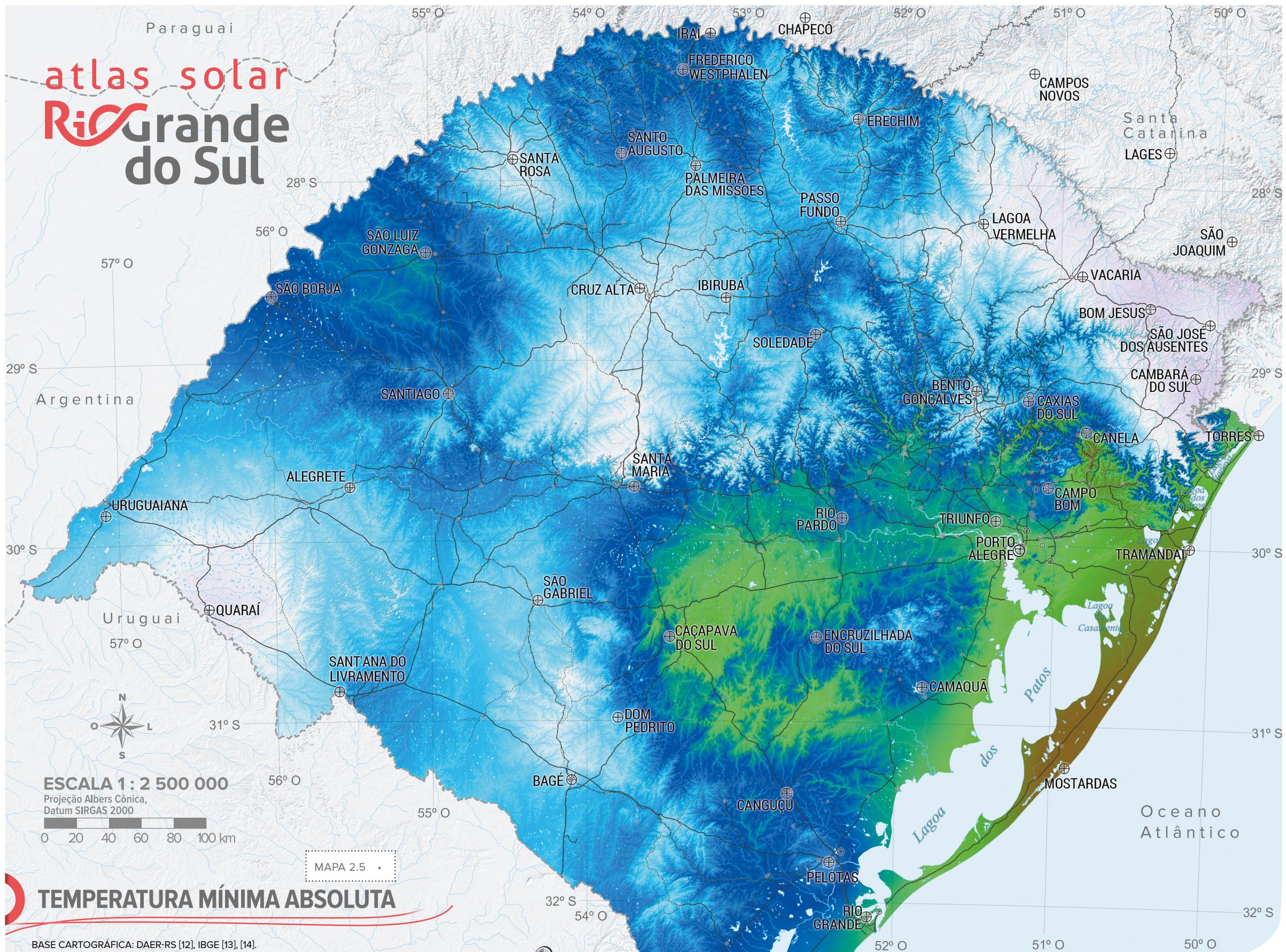
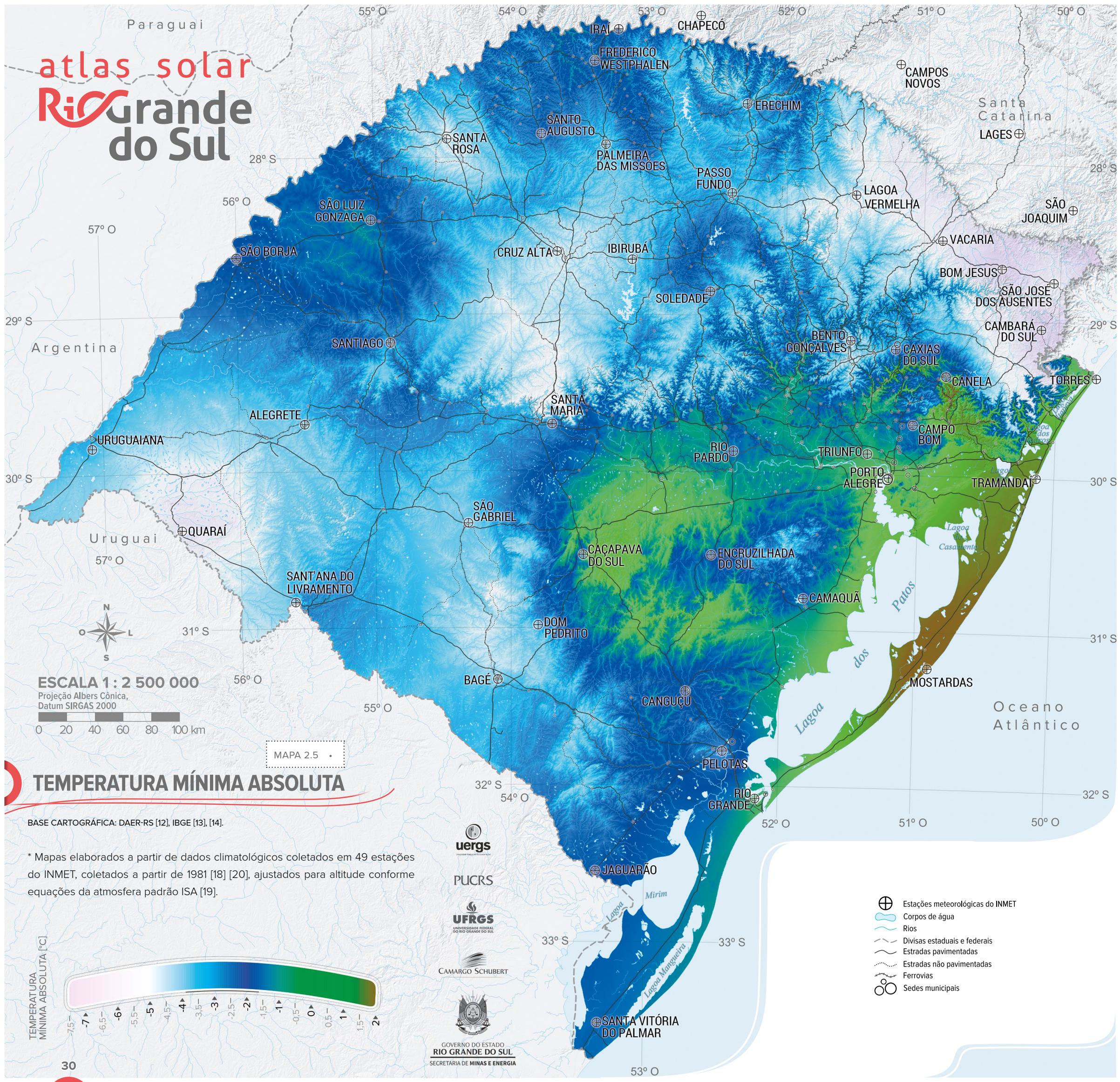


- ⊕ Estações meteorológicas do INMET
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Sedes municipais

GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

atlas solar

Rio Grande do Sul



ESCALA 1 : 2 500 000

Projeção Albers Cônica,
Datum SIRGAS 2000

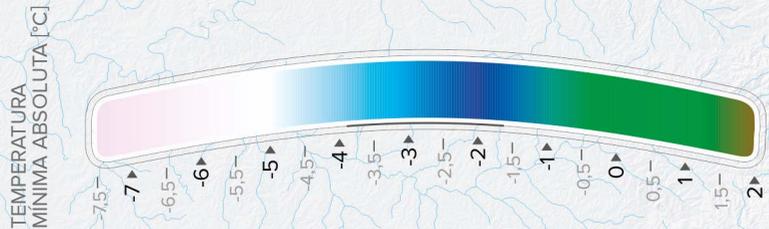


MAPA 2.5

TEMPERATURA MÍNIMA ABSOLUTA

BASE CARTOGRÁFICA: DAER-RS [12], IBGE [13], [14].

* Mapas elaborados a partir de dados climatológicos coletados em 49 estações do INMET, coletados a partir de 1981 [18] [20], ajustados para altitude conforme equações da atmosfera padrão ISA [19].



- ⊕ Estações meteorológicas do INMET
- ☪ Corpos de água
- ☪ Rios
- Divisas estaduais e federais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- ⊙ Sedes municipais

GOVERNO DO ESTADO
 RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

2.6.2 INSOLAÇÃO (HORAS DE SOL) E NEBULOSIDADE

A variação da insolação no Rio Grande do Sul acompanha as diferentes latitudes e a distribuição do relevo. Enquanto a latitude determina a duração dos dias, o relevo influi nos índices de nebulosidade. No Norte do Estado o Planalto Basáltico é um grande formador de nuvens. No Nordeste do Estado, na Serra Geral, há maior formação de nevoeiros e nebulosidade devido à concentração de umidade na atmosfera próximo às encostas, como ocorre na região dos cânions (Figura 2.15). No litoral, onde predomina o relevo plano, os sistemas frontais deslocam-se mais rapidamente, diminuindo assim a nebulosidade e aumentando as horas de Sol. No Oeste do Estado a nebulosidade é dissipada rapidamente, devido à grande diferença de temperatura entre os sistemas frontais polares e a temperatura local, que acelera a passagem do ar. Os mapas de insolação (Mapas 2.6 e 2.7) e nebulosidade (Mapas 2.8 e 2.9) foram elaborados a partir das normais climatológicas disponibilizadas pelo INMET de 1981-2010 [18].

2.6.3 PRECIPITAÇÃO E DIAS DE CHUVA

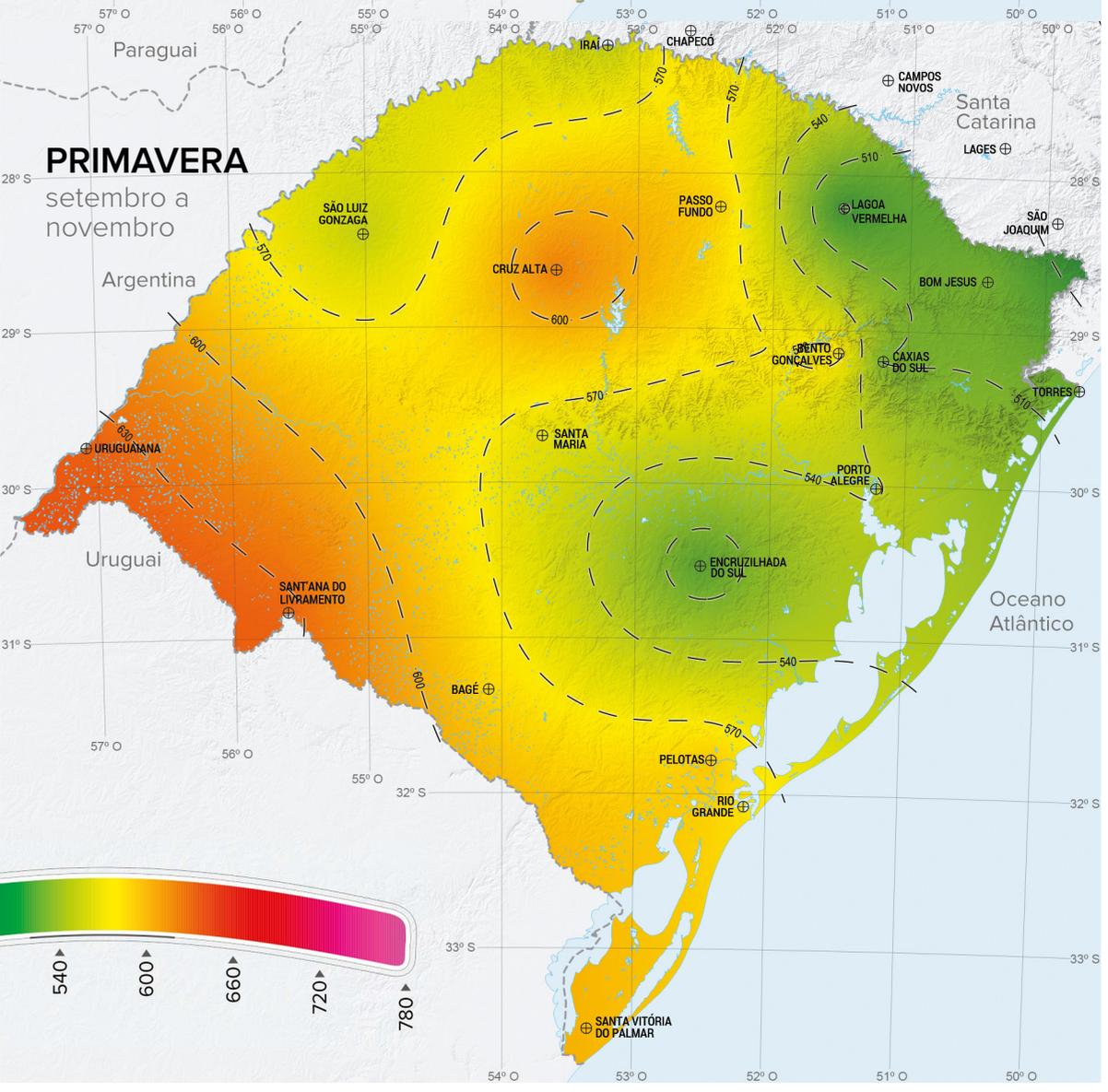
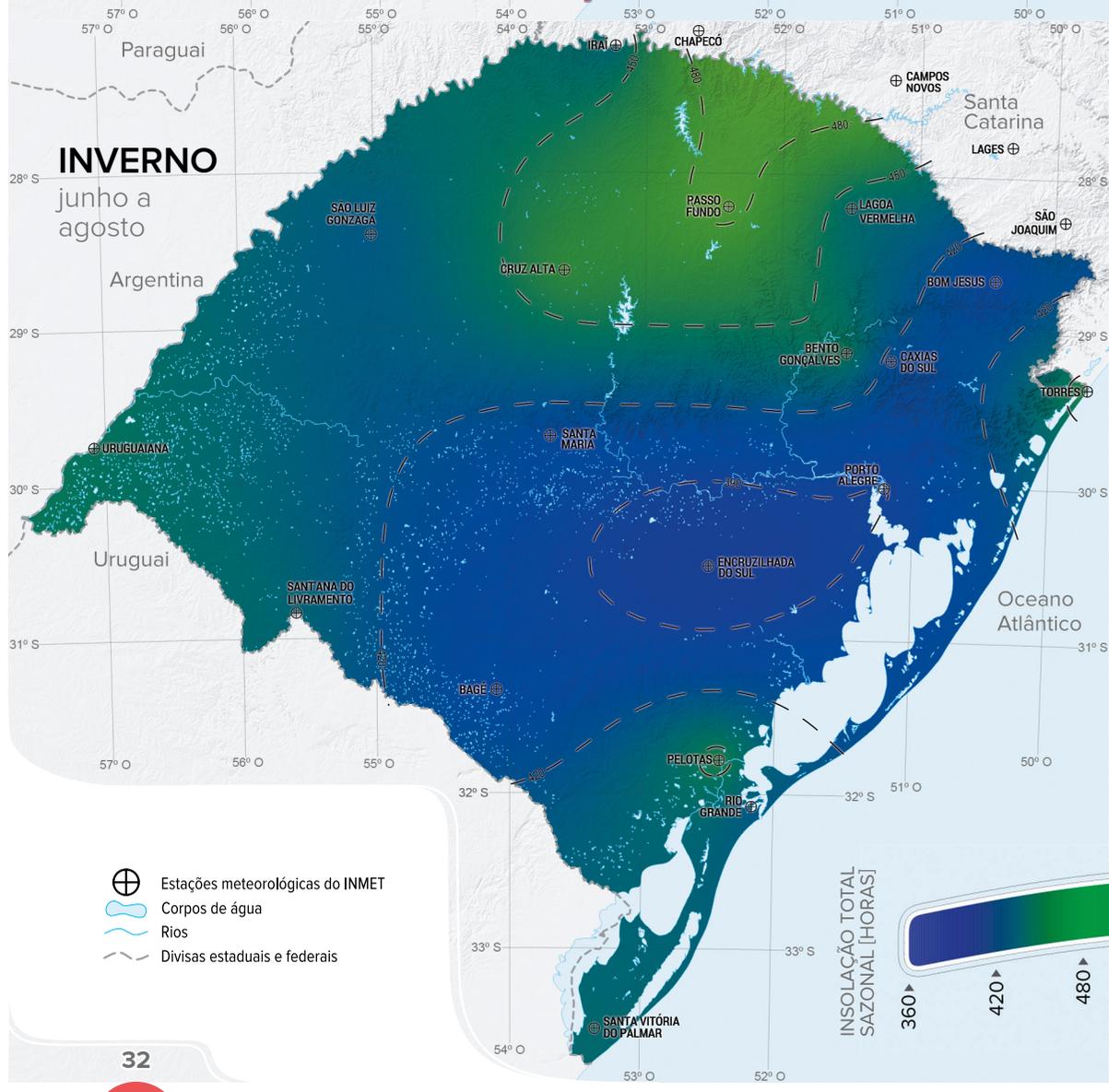
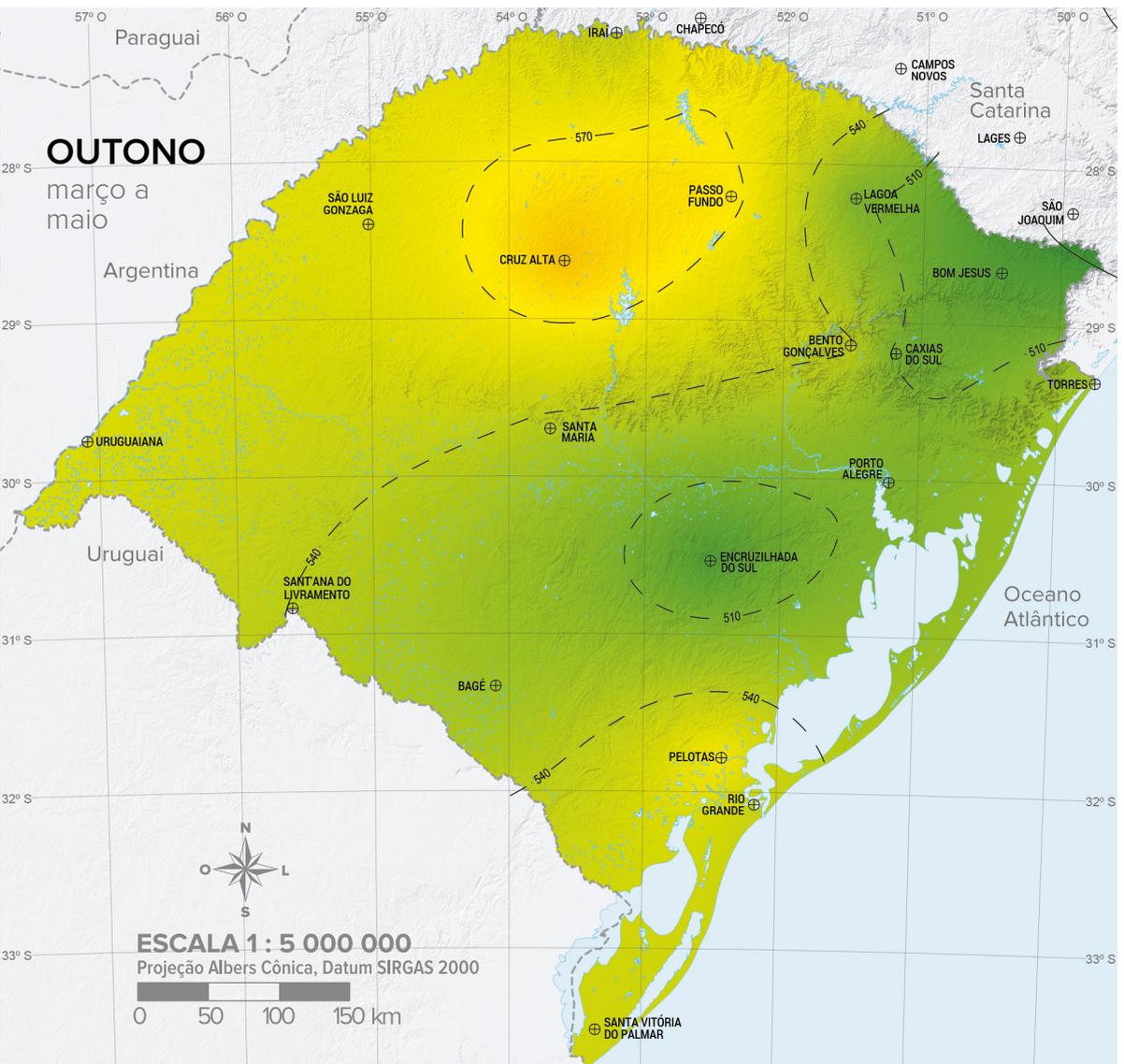
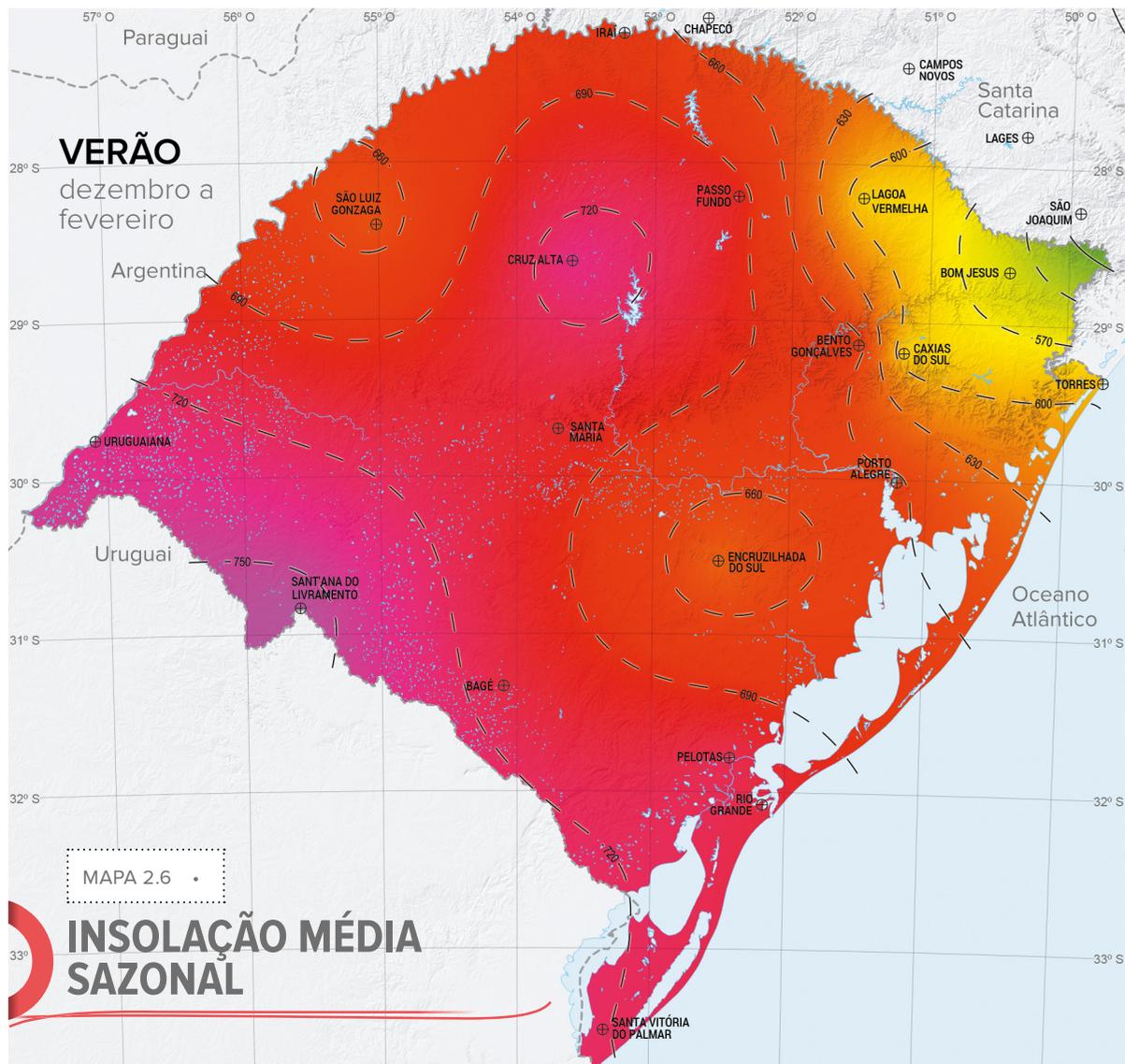
Temperado subtropical, o clima do Rio Grande do Sul tem as estações bem definidas, com invernos frios e verões quentes. O Sul e o Oeste são mais secos durante o verão, com maiores níveis pluviométricos durante o inverno, quando ocorre maior influência de frentes frias. O Norte é a região mais chuvosa do Estado, tendendo a concentrar os períodos de maior precipitação no verão e primavera. O litoral possui pluviosidade regular ao longo do ano (Mapas 2.10 e 2.11).

As chuvas fazem a limpeza natural dos painéis fotovoltaicos e são uma fonte de água para arrefecimento de alguns tipos de sistemas de aproveitamento do recurso solar. Assim como a nebulosidade, a precipitação é influenciada pelo relevo e por sua orientação em relação aos ventos úmidos. No Rio Grande do Sul, o litoral plano, assim como a grande amplitude térmica das frentes frias do Oeste do Estado, favorecem a rápida passagem de nuvens carregadas, reduzindo os dias de chuva nessas regiões.

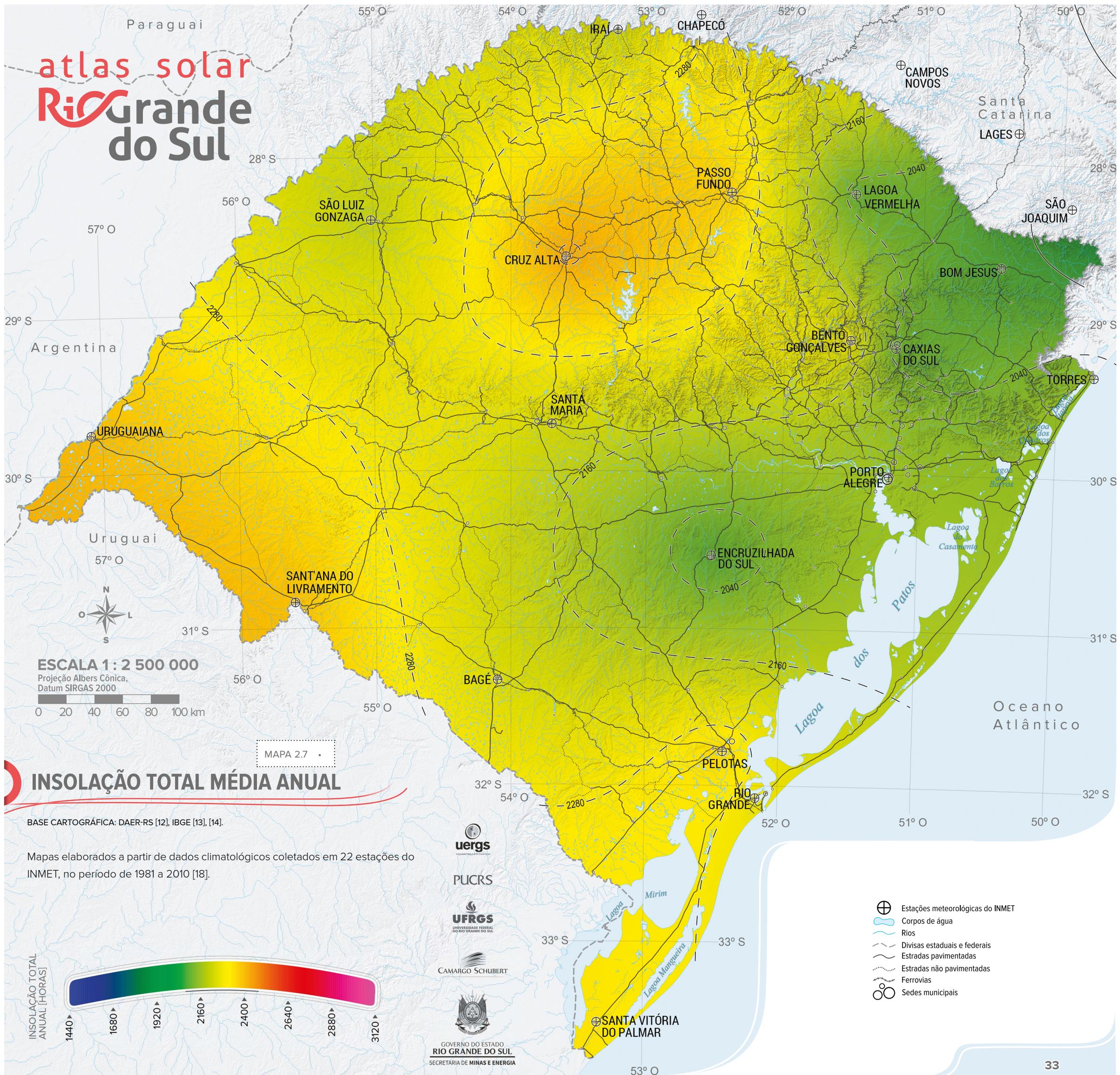
FIGURA 2.15 Nebulosidade na região de São José dos Ausentes.

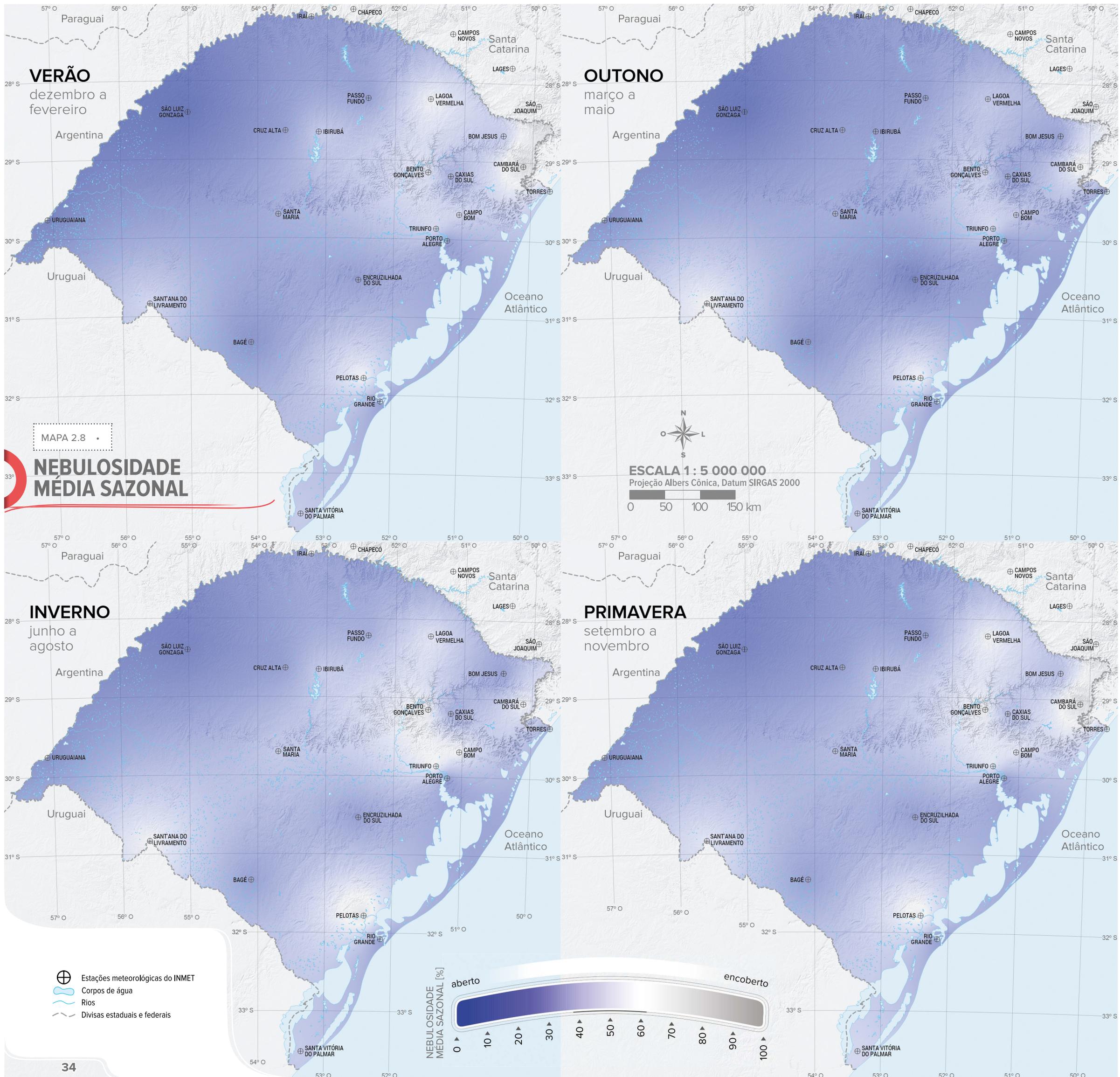


FOTO: ZIG KOCH.



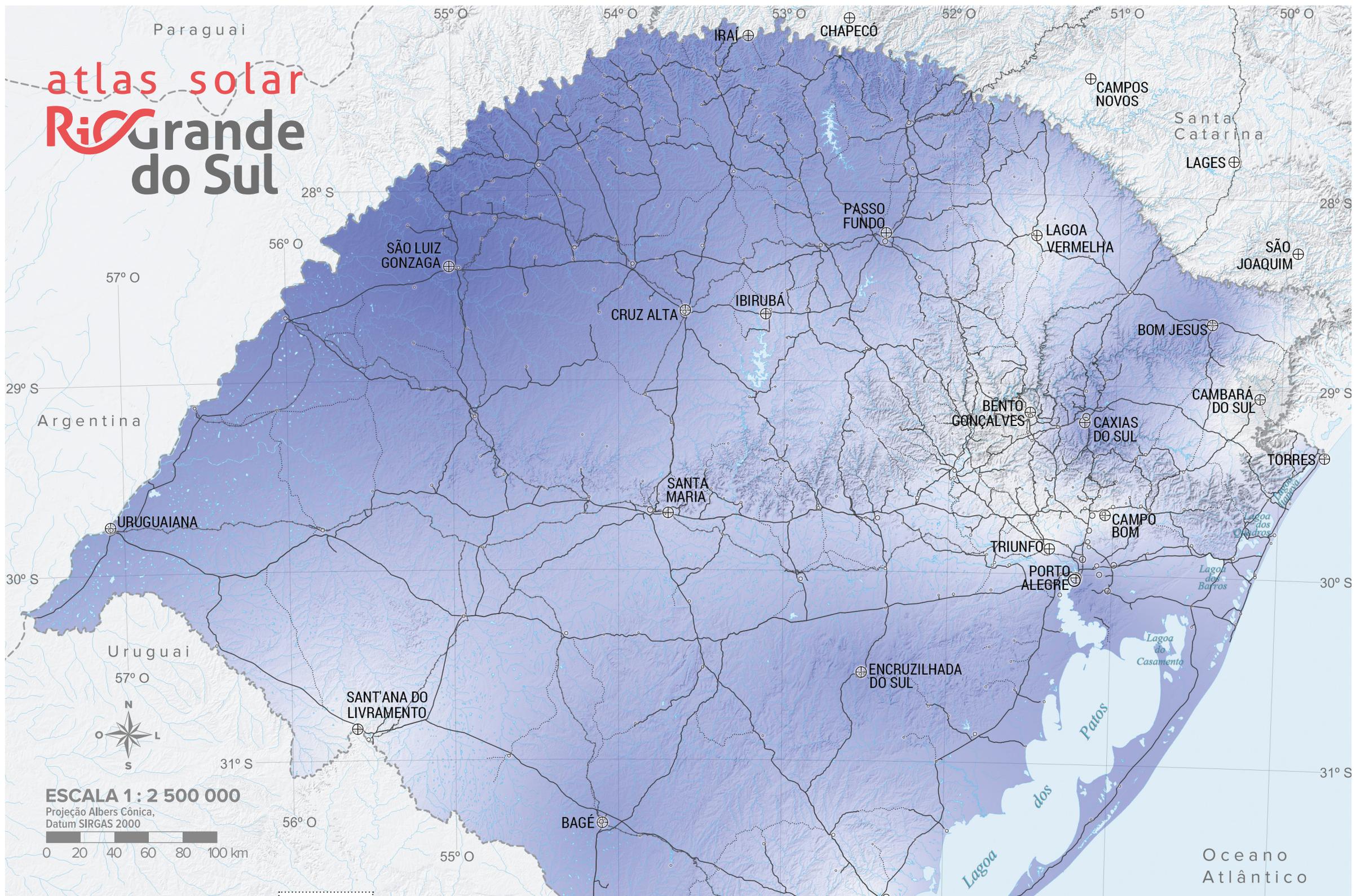
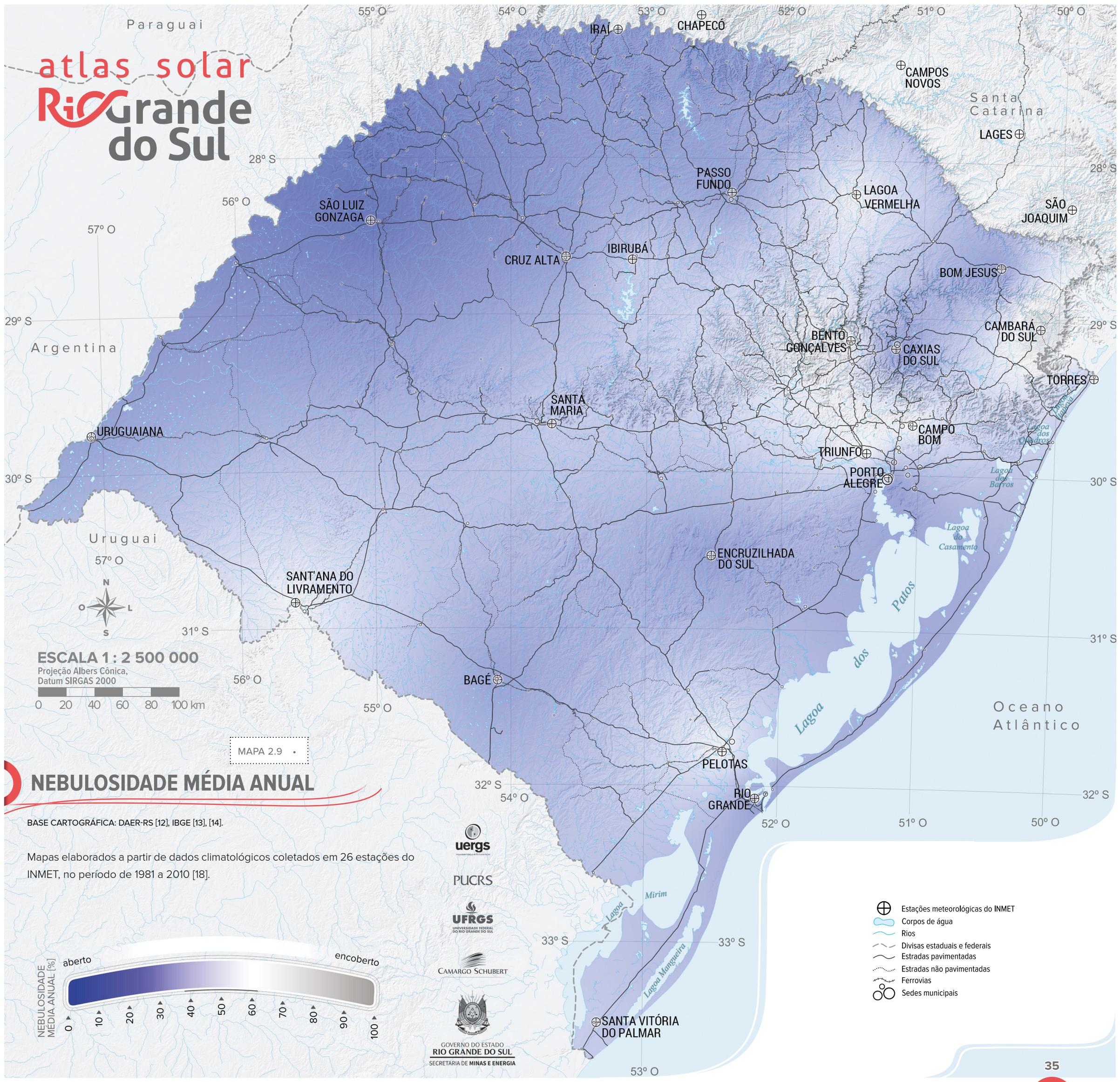
- ⊕ Estações meteorológicas do INMET
- ☪ Corpos de água
- ~ Rios
- - - Divisas estaduais e federais





atlas solar

Rio Grande do Sul



ESCALA 1 : 2 500 000

Projeção Albers Cônica,
Datum SIRGAS 2000

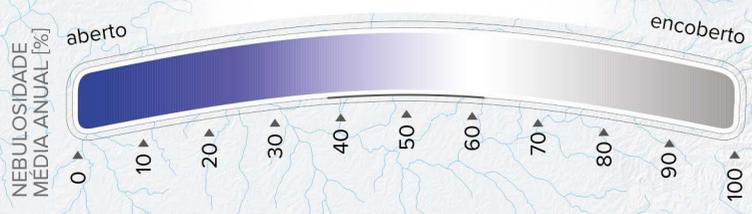


MAPA 2.9

NEBULOSIDADE MÉDIA ANUAL

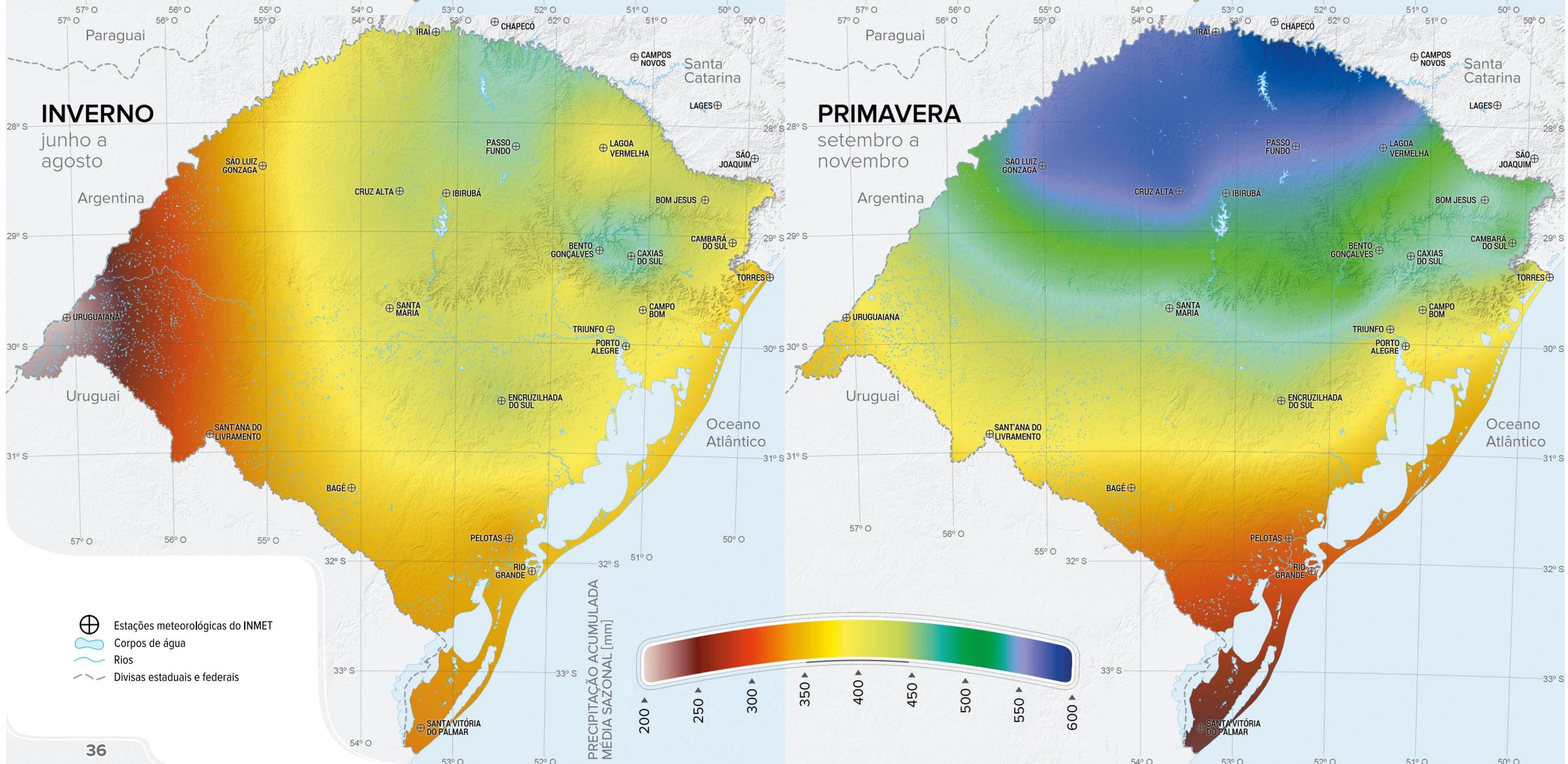
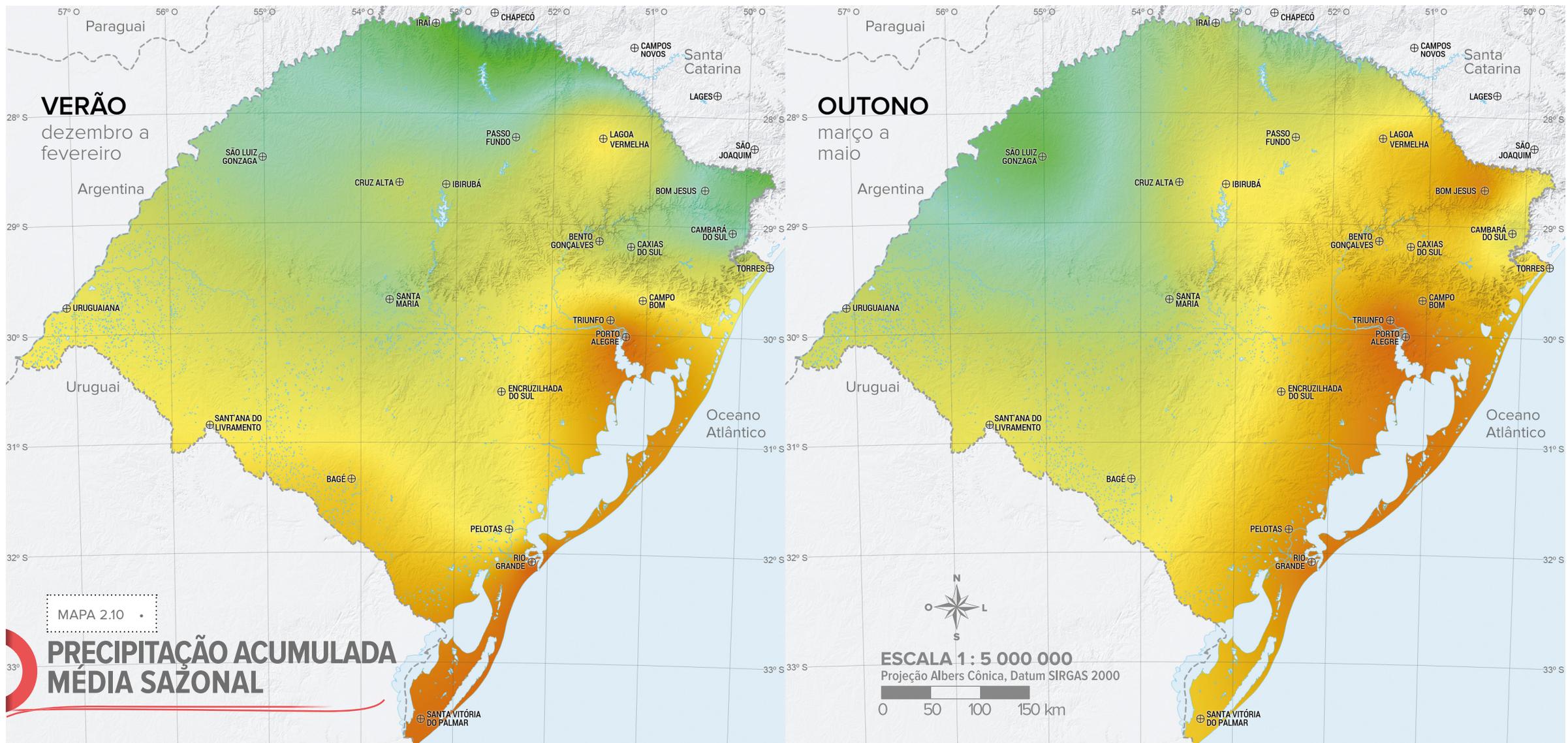
BASE CARTOGRÁFICA: DAER-RS [12], IBGE [13], [14].

Mapas elaborados a partir de dados climatológicos coletados em 26 estações do INMET, no período de 1981 a 2010 [18].



- ⊕ Estações meteorológicas do INMET
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Sedes municipais

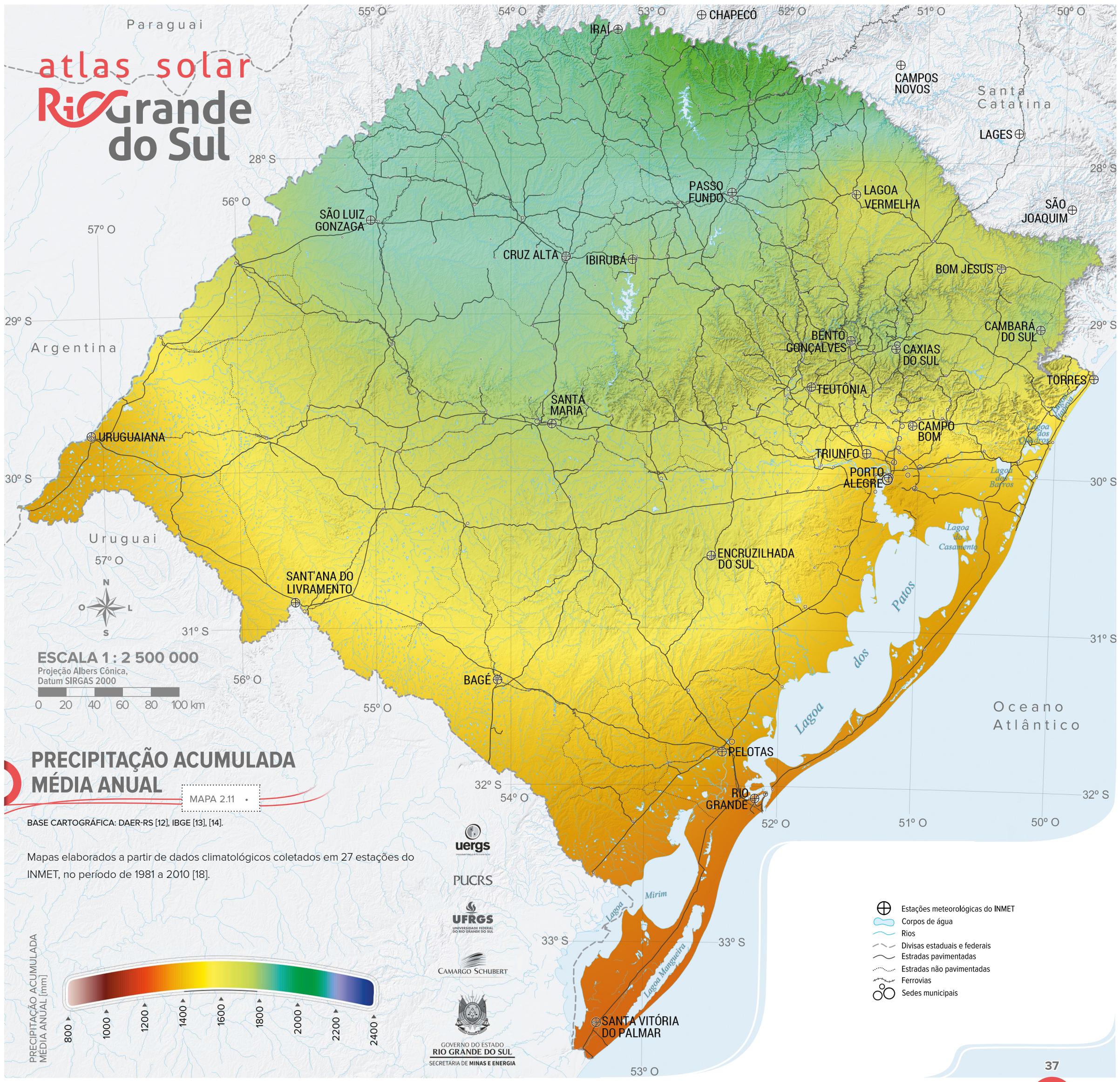
GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA



- ⊕ Estações meteorológicas do INMET
- ☪ Corpos de água
- ~ Rios
- - - Divisas estaduais e federais

atlas solar

Rio Grande do Sul



57° O

29° S

30° S

31° S

32° S

33° S

53° O

55° O 54° O 53° O 52° O 51° O 50° O

Paraguai

Argentina

Uruguai

Santa Catarina

LAGES

SÃO JOAQUIM

BOM JESUS

CAMBARÁ DO SUL

TORRES

URUGUAIANA

SÃO LUIZ GONZAGA

CRUZ ALTA

IBIRUBÁ

PASSO FUNDO

LAGOA VERMELHA

BENTO GONÇALVES

CAXIAS DO SUL

TEUTÔNIA

TRIUNFO

PORTO ALEGRE

ENCRUZILHADA DO SUL

SANT'ANA DO LIVRAMENTO

BAGÉ

RELOTAS

RIO GRANDE

32° S

54° O

52° O

51° O

50° O

Oceano Atlântico

ESCALA 1 : 2 500 000

Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000

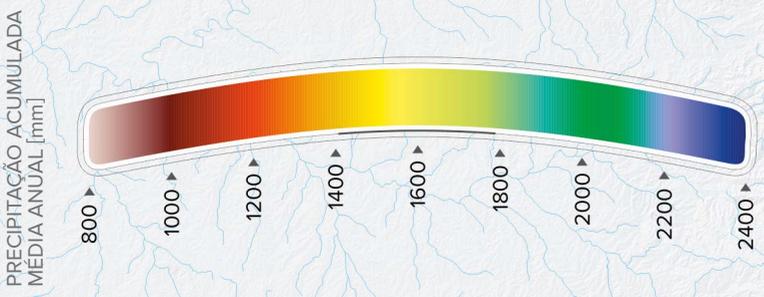


PRECIPITAÇÃO ACUMULADA MÉDIA ANUAL

MAPA 2.11

BASE CARTOGRÁFICA: DAER-RS [12], IBGE [13], [14].

Mapas elaborados a partir de dados climatológicos coletados em 27 estações do INMET, no período de 1981 a 2010 [18].



PUCRS



CAMARGO SCHUBERT



GOVERNO DO ESTADO RIO GRANDE DO SUL SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

- ⊕ Estações meteorológicas do INMET
- 🌊 Corpos de água
- 🌊 Rios
- Divisas estaduais e federais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- 🚂 Ferrovias
- 🗺 Sedes municipais

2.6.4 VARIABILIDADE DO DIAGRAMA SOLAR

Para exemplificar a variabilidade do diagrama solar no Estado do Rio Grande do Sul, foram elaborados gráficos representando a trajetória do Sol no ano de 2018, para algumas localidades do Estado (Figura 2.16). As trajetórias limites (solstícios de inverno e verão) e intermediárias (equinócios de outono e primavera) foram equacionadas e parametrizadas para exibição.

As trajetórias são bastante similares nas distintas regiões. Verifica-se que as menores latitudes estão relacionadas às maiores elevações do ângulo de inclinação do Sol, próximas a 90° no verão, e ao maior número de horas de Sol ao longo do dia (comparando-se os pontos extremos Frederico Westphalen, ao Norte, e Chuí, ao Sul). Percebe-se ainda diferentes horários de nascer e pôr do Sol em diferentes longitudes, por conta do fuso horário unificado para todo o território. Essa diferença segue o movimento de rotação terrestre (comparando-se os pontos extremos Porto Alegre, a Leste, e Uruguaiana, a Oeste).

2.6.5 VARIABILIDADE DA IRRADIAÇÃO

A variabilidade intra-anual da irradiação é dependente da latitude e de particularidades da região analisada tais como relevo, continentalidade, vegetação e ação humana. A variabilidade interanual da irradiação, por sua vez, é função de fenômenos intertropicais globais. Para o Estado do Rio Grande do Sul, tem-se a variabilidade interanual reduzida, conforme se observa na Figura 2.17. Vale destacar os anos de 2015 e 2016, marcados pelo fenômeno El Niño, durante os quais intensificaram-se os níveis pluviométricos em todo o Sul do país, reduzindo os níveis de radiação. A variabilidade intra-anual é menor nos meses de inver-

no, quando os níveis de radiação são menores, conforme pode ser observado também no diagrama da Figura 2.17.

Com fins comparativos, apresenta-se a variabilidade interanual e intra-anual da irradiação nas cidades de Berlim e Roma, que possuem níveis menores que os encontrados no Rio Grande do Sul. Nos meses de inverno (dezembro, janeiro e fevereiro) há uma redução drástica nos níveis de irradiação solar incidente, destacando-se também o regime intra-anual inverso, se comparado ao Brasil, devido à localização em outro hemisfério.

Os dados utilizados para a elaboração da Figura 2.17 são provenientes da base histórica de dados atmosféricos globais MERRA2 [22], resultantes de modelos numéricos ajustados com medições. Esses dados, devido à baixa resolução espacial, permitem apenas uma análise qualitativa de longo prazo sobre a variabilidade da radiação no Estado. Em geral, eles superestimam a radiação solar real e são utilizados em estudos climatológicos. A sua utilização, porém, não é indicada para quantificação da radiação solar incidente na superfície.

2.7 NOMENCLATURA E UNIDADES ADOTADAS NO ATLAS

A irradiância solar integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia, é simbolizada por “I” quando integrada no tempo de uma hora [Wh/m²], ou “H” quando integrada no tempo de um dia [Wh/m²/dia].

• Irradiação Solar Global Horizontal (I_{HOR} ou H_{HOR})

Fornece o valor da radiação capturada em uma superfície horizontal ao nível do solo. Esta componente é composta por ambas as contribuições das radiações difusa e direta.

• Irradiação Solar Difusa (I_{DIF} ou H_{DIF})

Representa a quantidade de radiação que incide sobre a superfície terrestre após ter sido espalhada pela atmosfera. Complementar à irradiação global, os níveis de irradiação difusa afetam a produção final das usinas fotovoltaicas.

• Irradiação Normal Direta (I_{DIR} ou H_{DIR})

Parâmetro que caracteriza a radiação diretamente emitida pelo Sol, no qual a denominação “normal” refere-se à perpendicularidade entre a componente e a superfície. Esta componente é a principal variável a ser utilizada para estimativas de produção de usinas baseadas em tecnologias de concentradores solares térmicos (como sistemas parabólicos ou de receptores centrais), pois influencia na eficiência desses sistemas.

• Irradiação Total no Plano Inclinado (I_{TOT} ou H_{TOT})

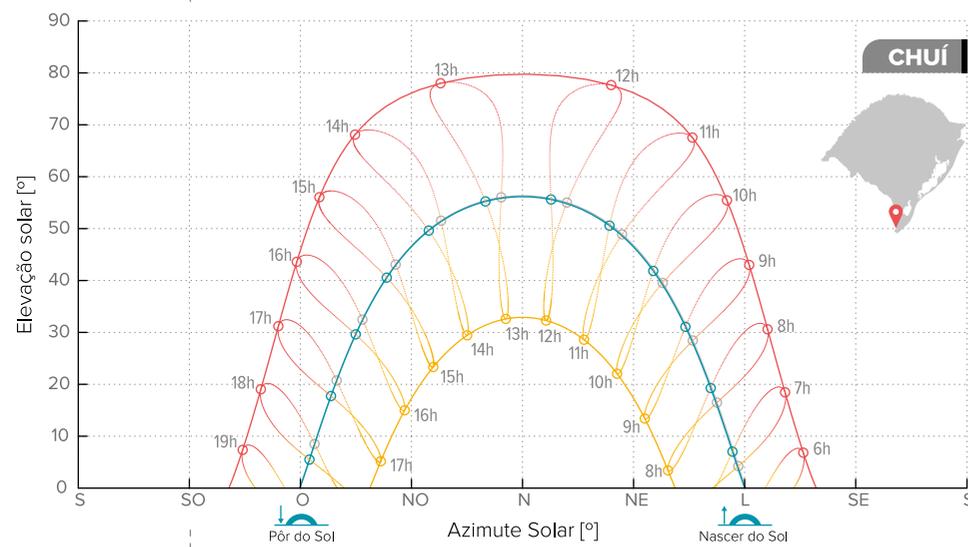
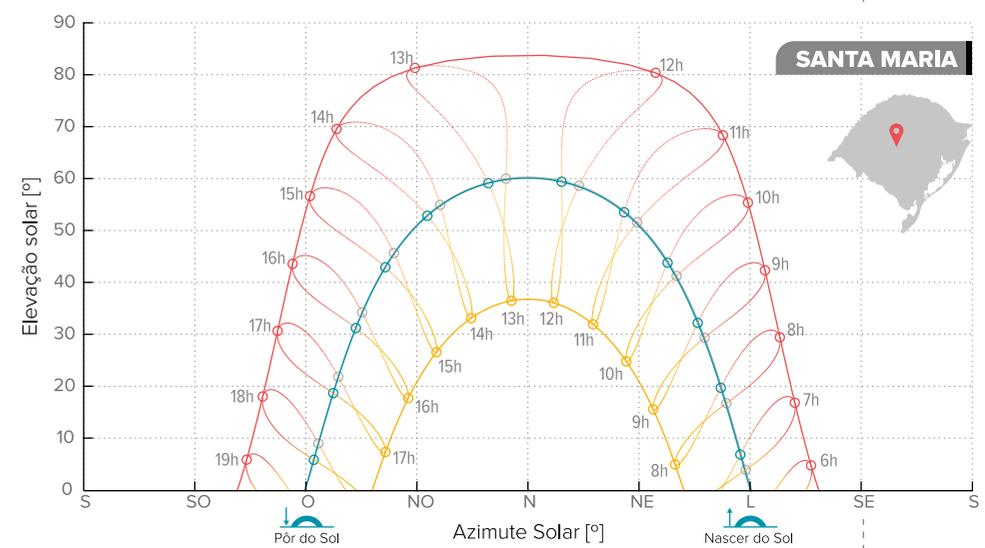
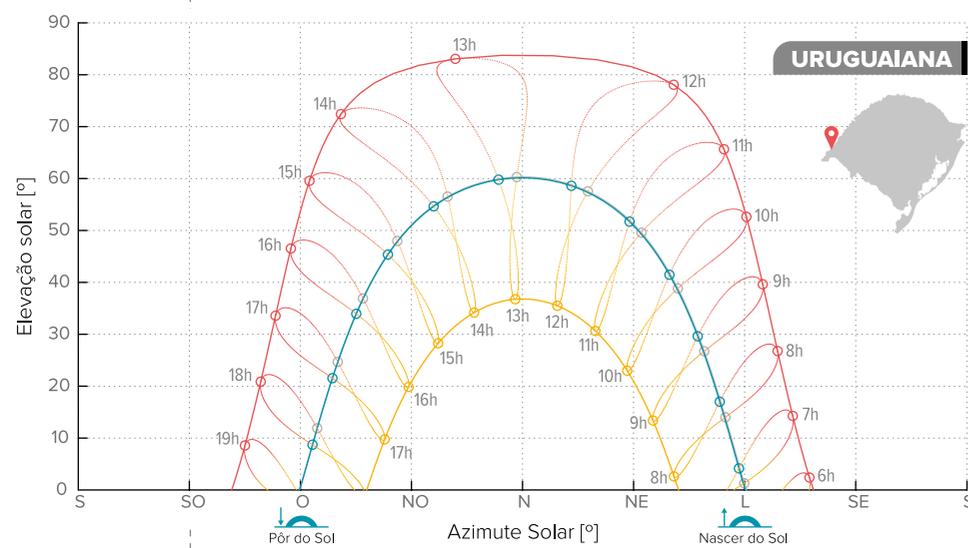
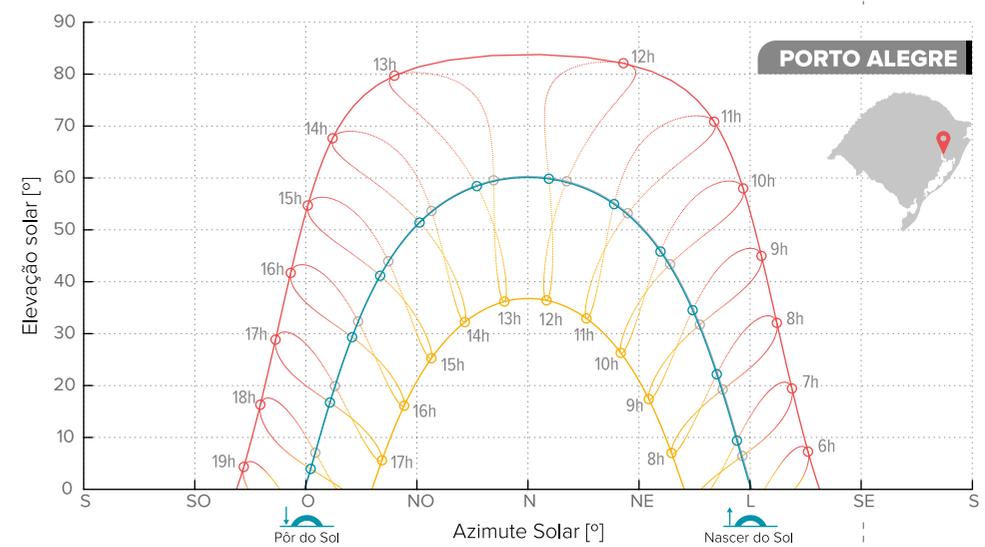
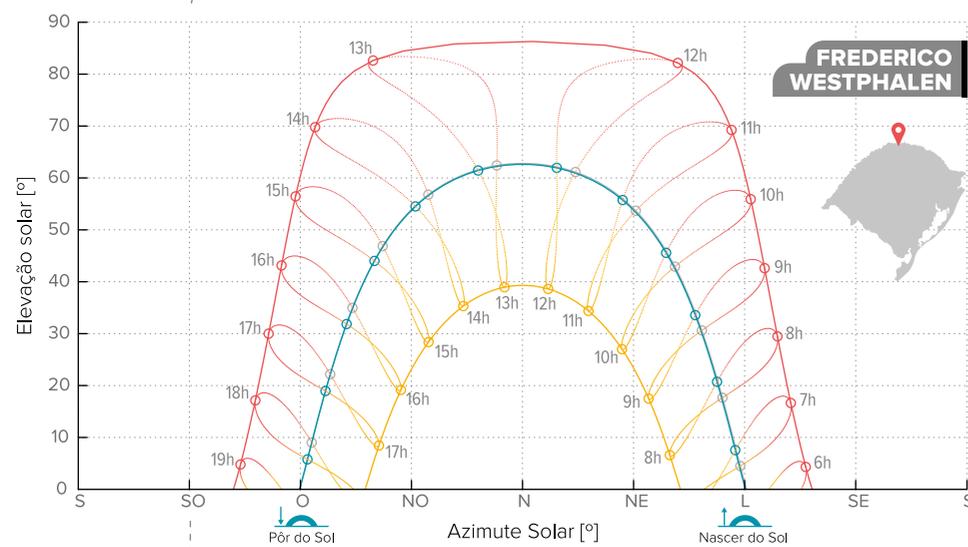
Definida como a Irradiância Total Integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia, no plano inclinado a 20° (I_{TOT20} ou H_{TOT20}) e/ou a 45° (I_{TOT45} ou H_{TOT45}). Essa irradiação representa o somatório das componentes difusa, direta e refletida no plano inclinado.

Os valores de irradiação (I_{DIR} , I_{DIF} , I_{HOR} , I_{TOT} , H_{DIR} , H_{DIF} , H_{HOR} , H_{TOT}) correspondem aos valores de irradiância (GHI, DNI, DHI) integrados no tempo.

• Produtividade Fotovoltaica (E_{inj})

Representa a produtividade solar fotovoltaica (ou a energia elétrica injetada na rede) na hora considerada [Wh], sendo no plano inclinado a 20° (E_{inj20}) e a 45° (E_{inj45}). Quando integrada ao longo de um ano é representada por Y_p , com unidades em média diária anual [kWh/kW_p/dia] ou total, acumulada ao longo de 365 dias [kWh/kW_p/ano].

FIGURA 2.16 Variação intra-anual do diagrama solar no Estado do Rio Grande do Sul*.



VARIAÇÃO HORÁRIA DA TRAJETÓRIA DO SOL AO LONGO DO ANO DE 2018

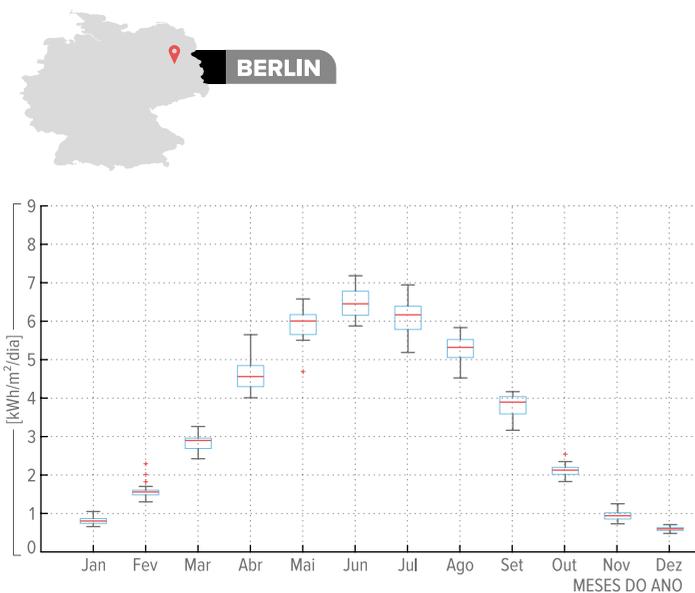
- Trajetória no dia de solstício de Verão: 21/12/2018
- Trajetória no dia de solstício de inverno: 21/06/2018
- Trajetória no dia de equinócio de primavera: 20/03/2018
- Trajetória no dia de equinócio de outono: 22/09/2018
- Posição do Sol, elevação e azimute em cada hora do dia no ano

* Elaborado a partir do algoritmo de cálculo da posição do Sol proposto por Reda e Andreas [21].

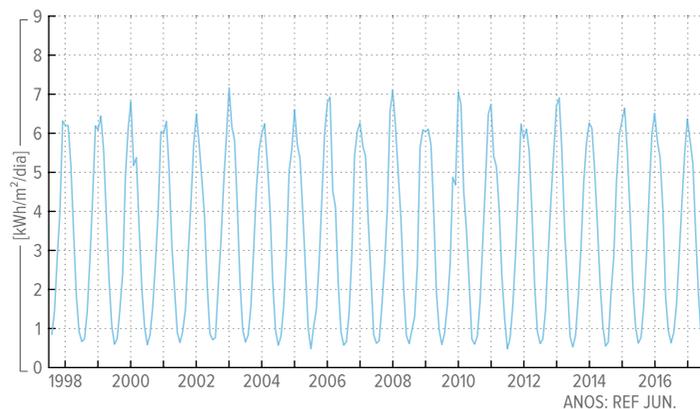
RADIAÇÃO SOLAR E CLIMATOLOGIA

FIGURA 2.17 Variação intra-anual e interanual da radiação no Estado do Rio Grande do Sul.

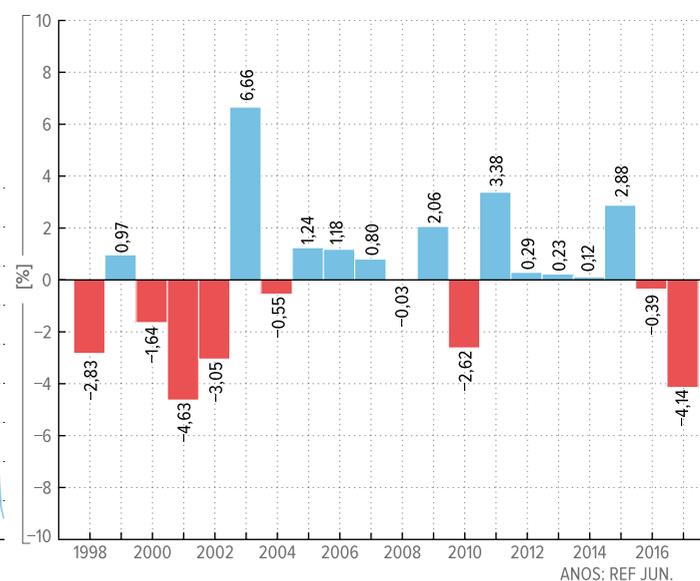
Radiação Média Incidente na Superfície [kWh/m²/dia – MERRA2]



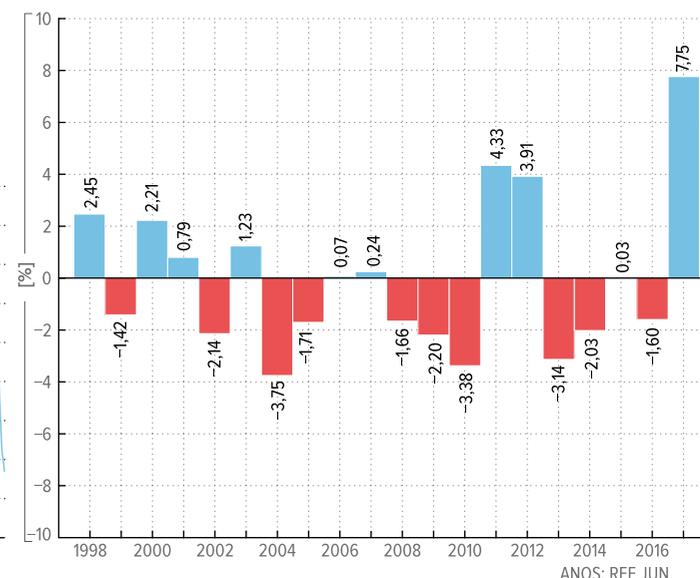
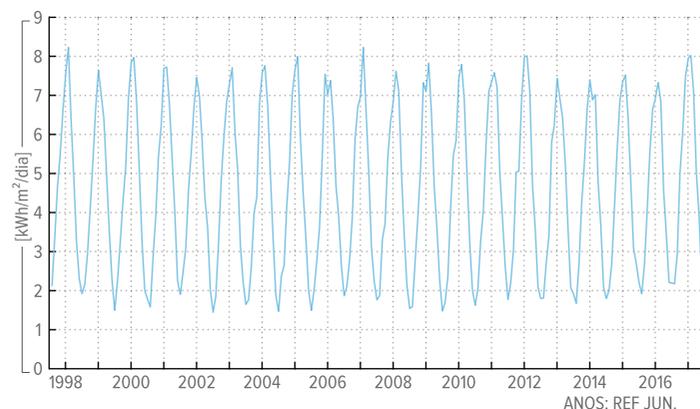
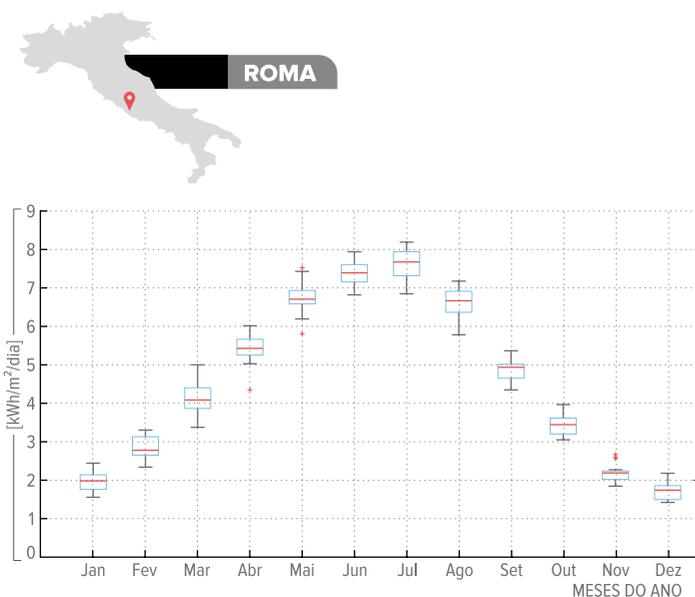
Média de radiação diária por mês nos últimos 20 anos [kWh/m²/dia – MERRA2]



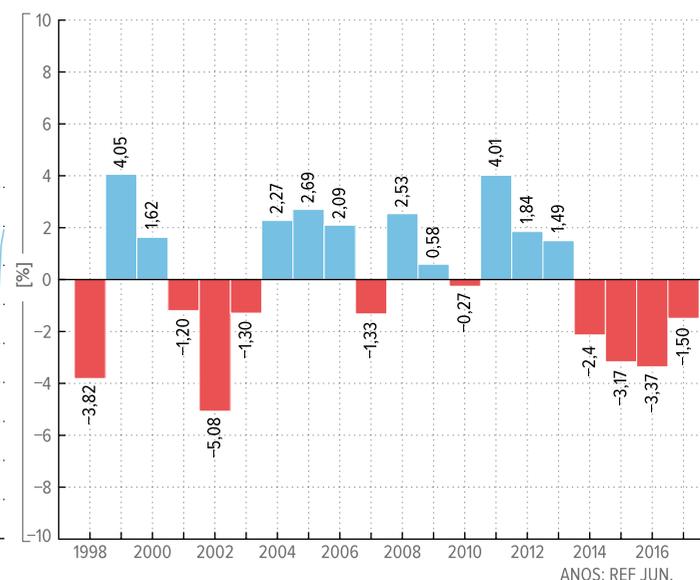
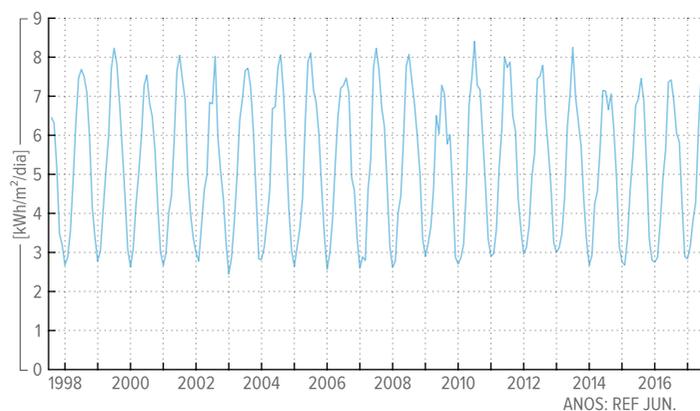
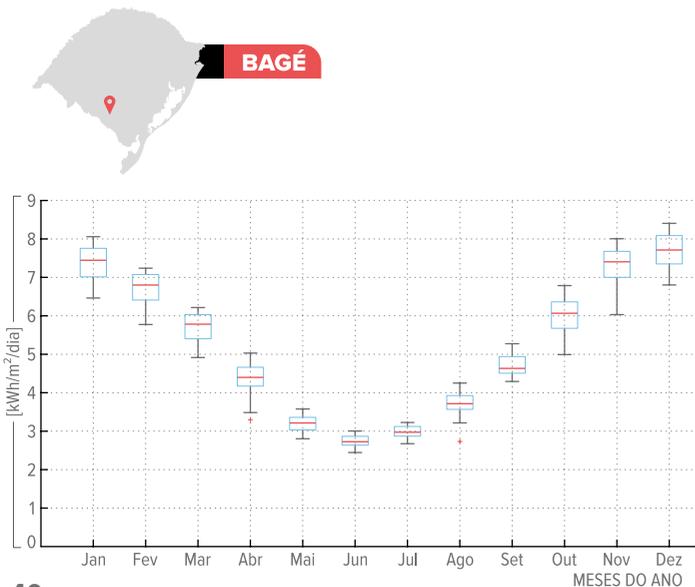
Variabilidade anual em relação à média de 20 anos



ROMA



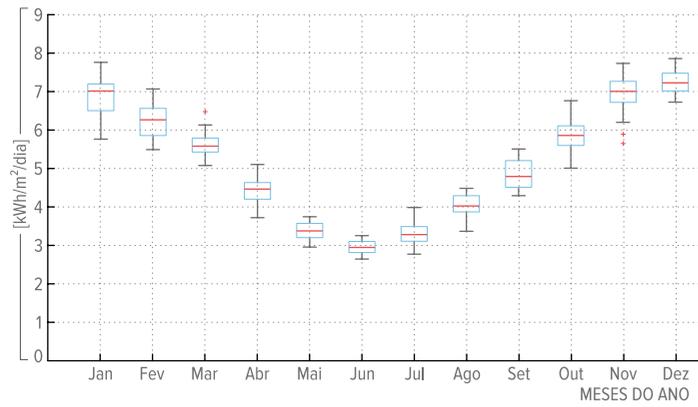
BAGÉ



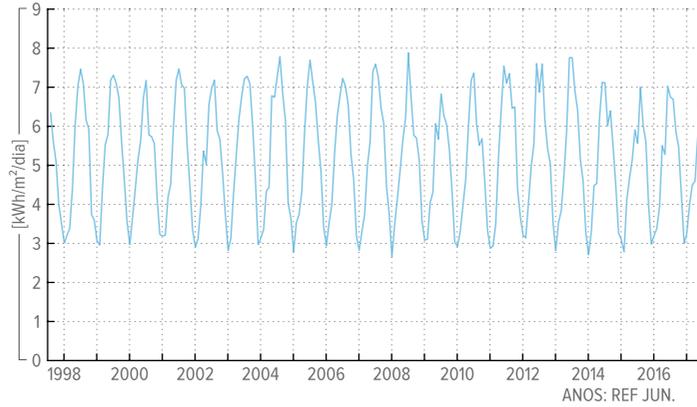
Radiação Média Incidente na Superfície [kWh/m²/dia – MERRA2]



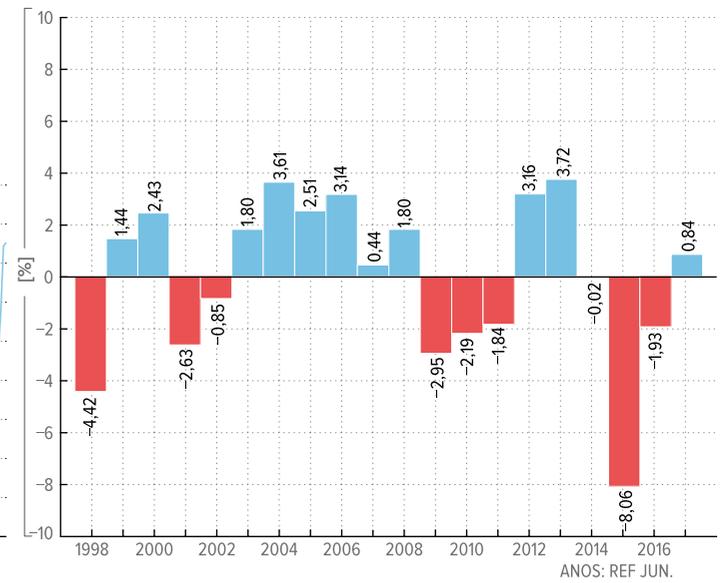
CAXIAS DO SUL



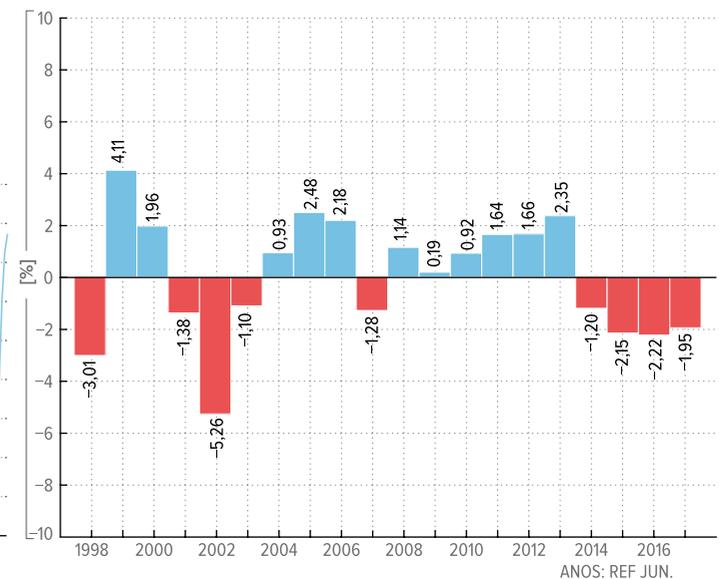
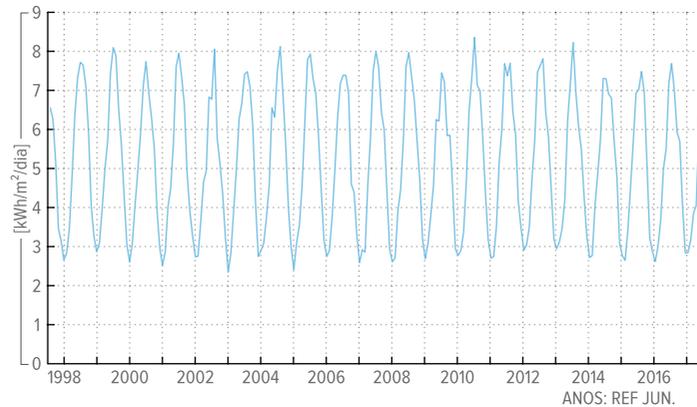
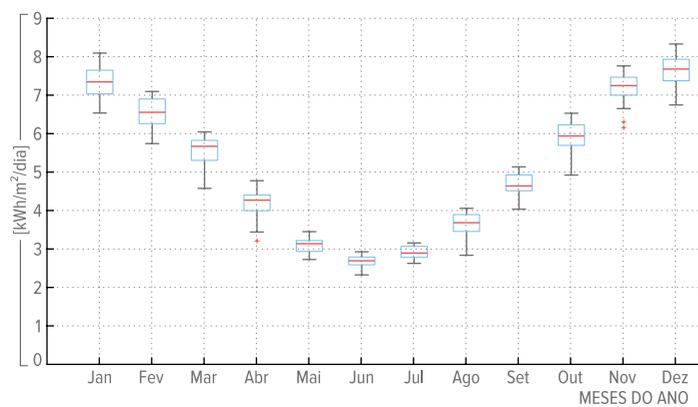
Média de radiação diária por mês nos últimos 20 anos [kWh/m²/dia – MERRA2]



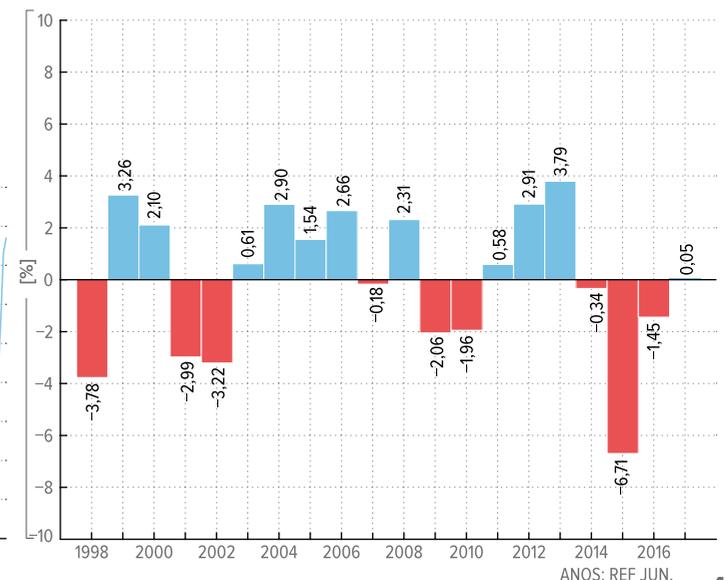
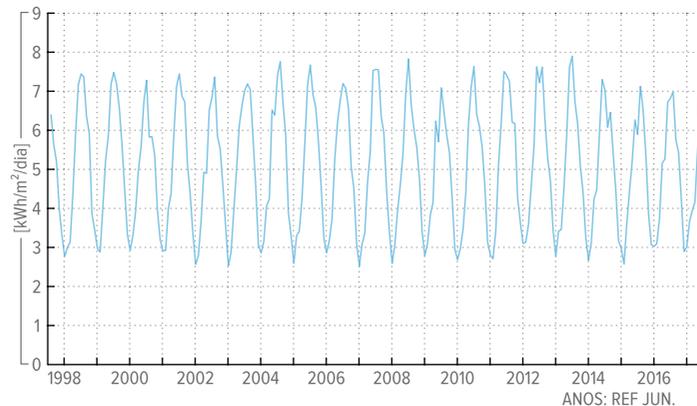
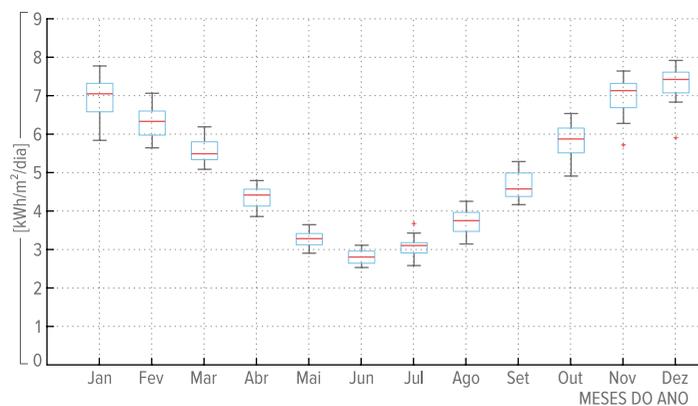
Variabilidade anual em relação à média de 20 anos



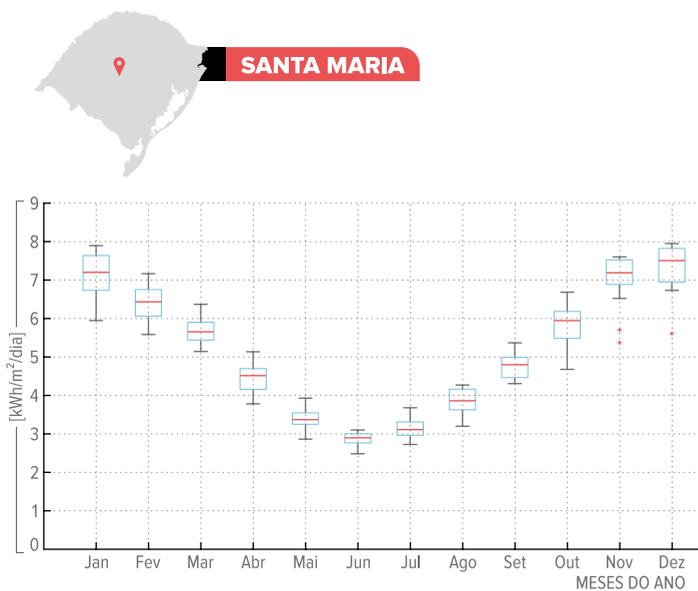
PELOTAS



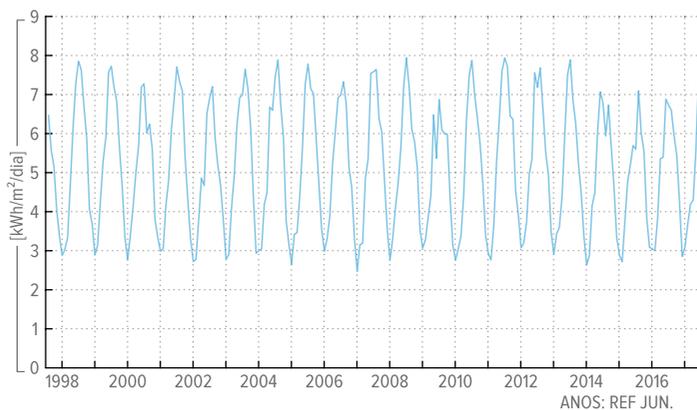
PORTO ALEGRE



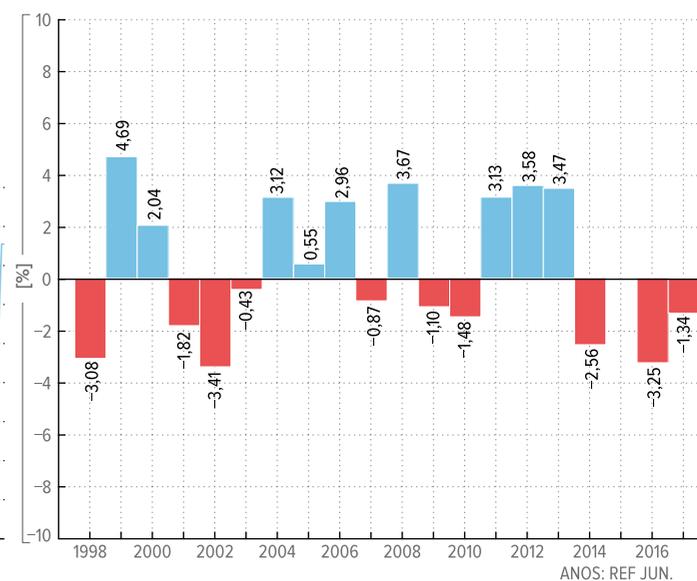
Radiação Média Incidente na Superfície [kWh/m²/dia – MERRA2]



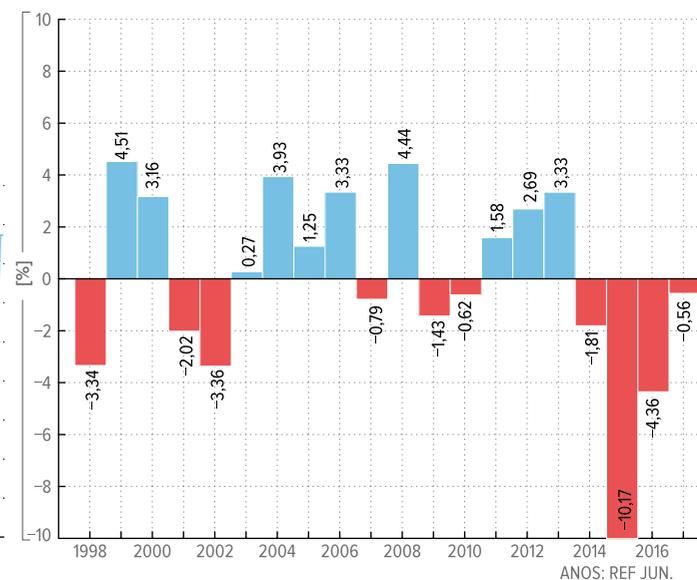
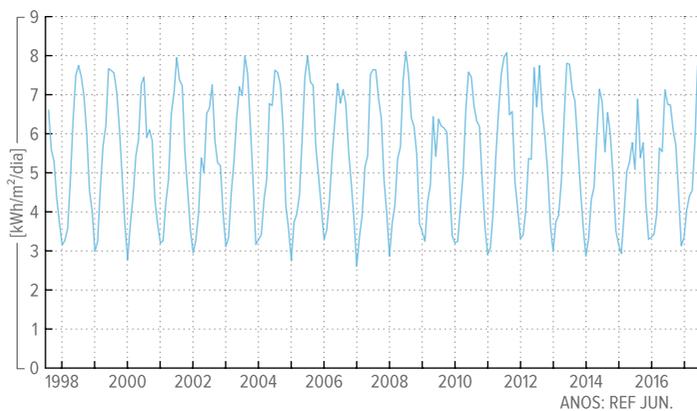
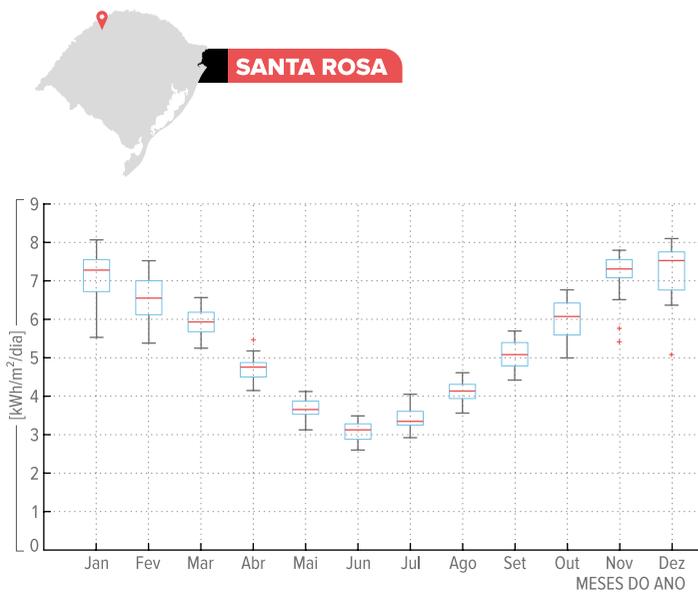
Média de radiação diária por mês nos últimos 20 anos [kWh/m²/dia – MERRA2]



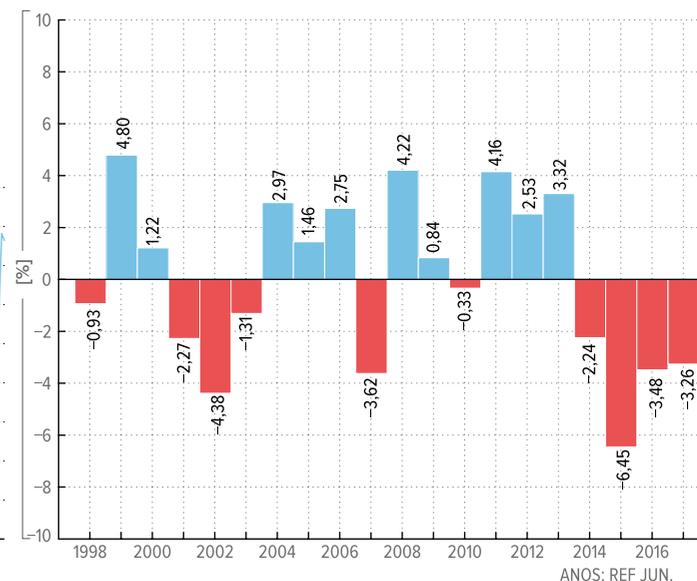
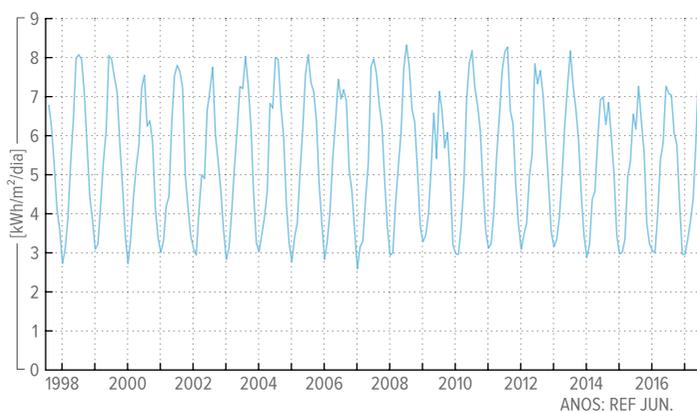
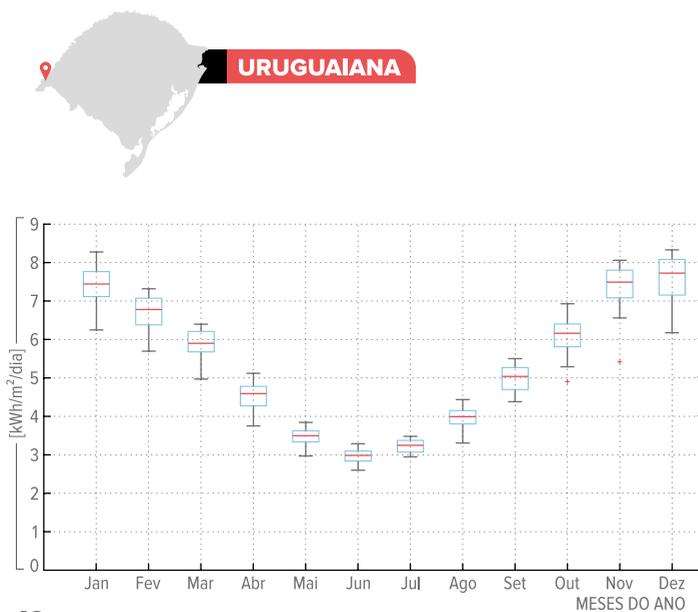
Variabilidade anual em relação à média de 20 anos



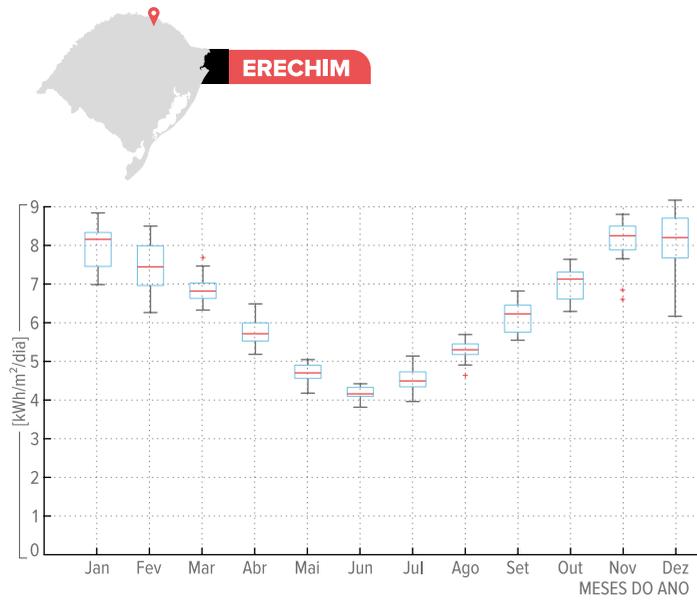
SANTA ROSA



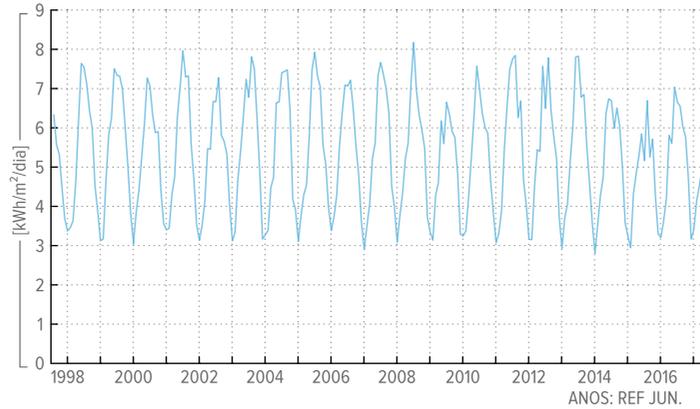
URUGUAIANA



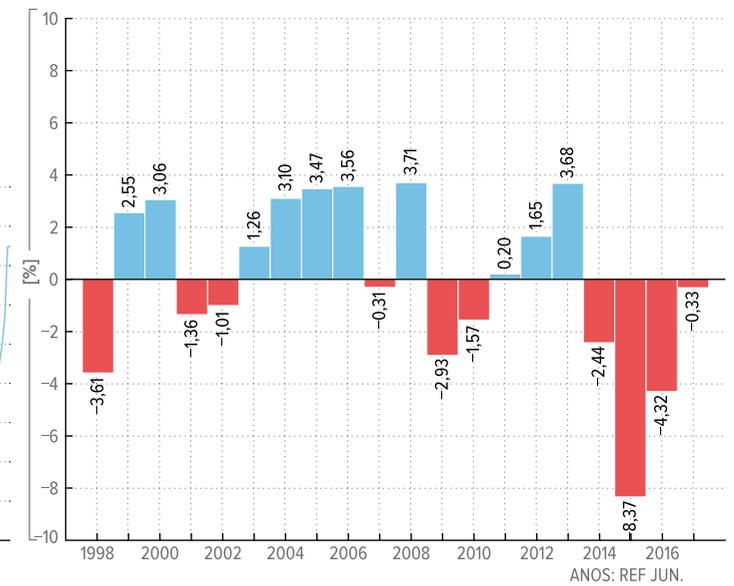
Radiação Média Incidente na Superfície [kWh/m²/dia – MERRA2]



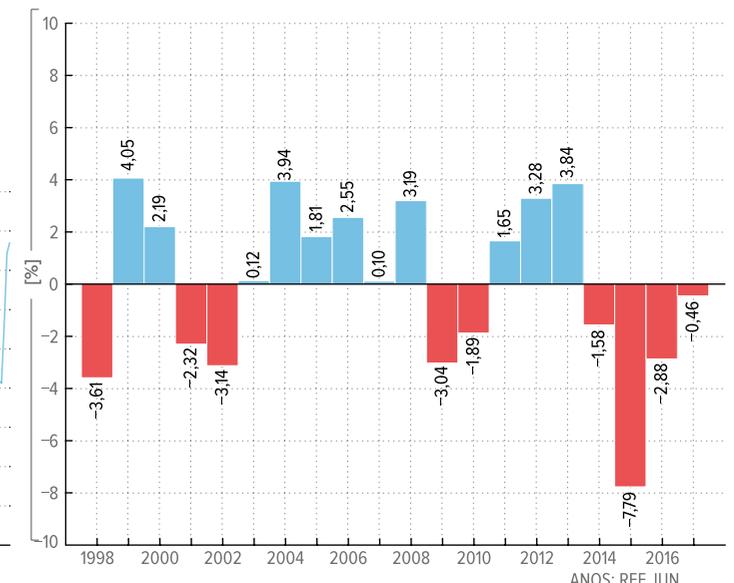
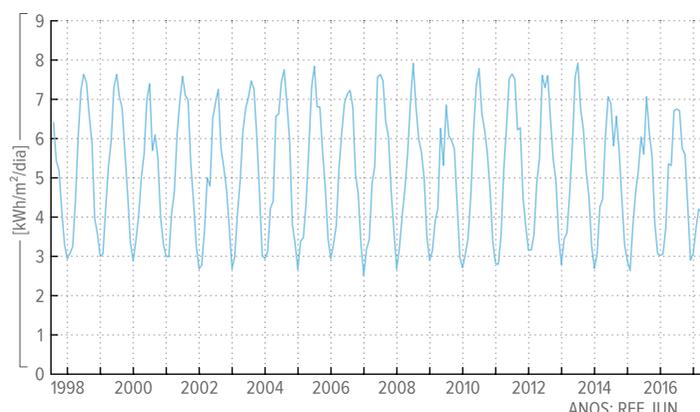
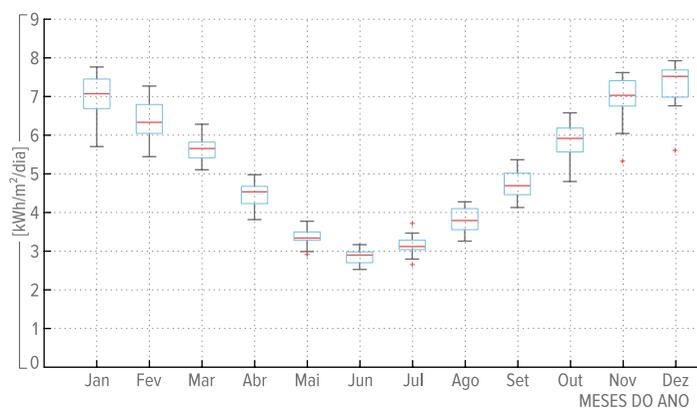
Média de radiação diária por mês nos últimos 20 anos [kWh/m²/dia – MERRA2]



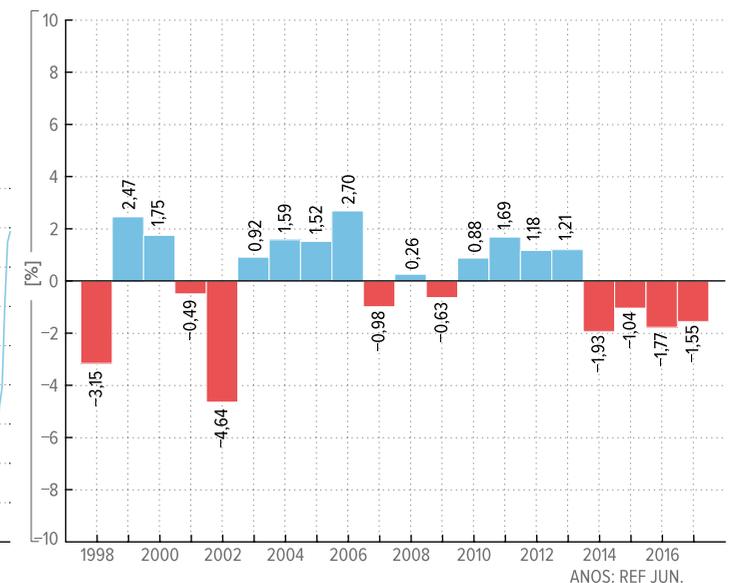
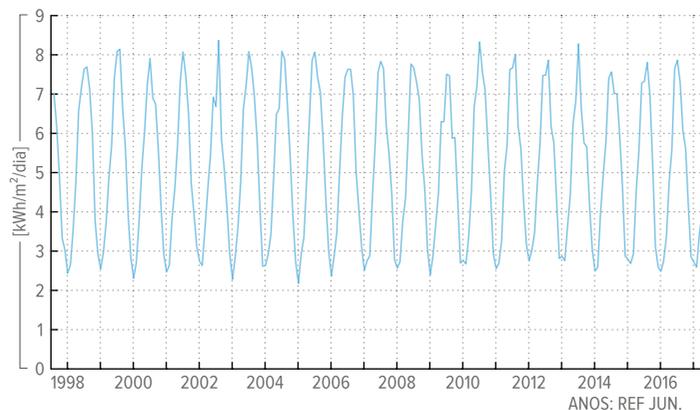
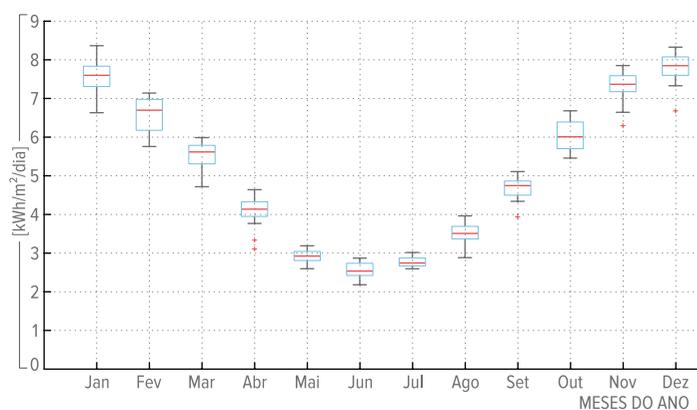
Variabilidade anual em relação à média de 20 anos



SANTA CRUZ DO SUL

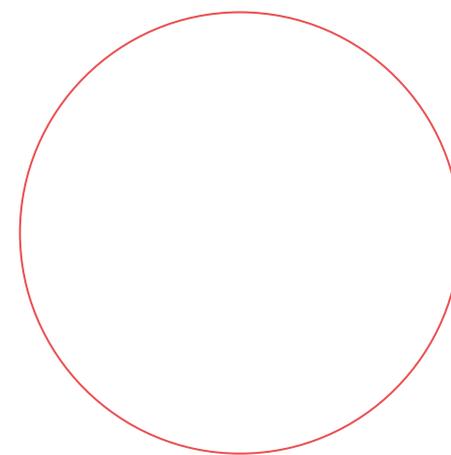


SANTA VITÓRIA DO PALMAR





atlas solar
RiGrande
do Sul



3 Meio Ambiente



3.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A legislação ambiental brasileira é vista como uma das mais completas e avançadas do mundo [1], estando ainda em contínuo aprimoramento e atualização.

O estudo e o acompanhamento das atualizações desta legislação é de fundamental importância para o processo de implantação de um empreendimento de geração de energia elétrica, uma vez que os procedimentos de licenciamento ambiental costumam ser complexos, envolvendo várias etapas. De acordo com o Guia Básico do Licenciamento Ambiental da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM, as principais etapas são: Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação [2].

O licenciamento ambiental é necessário sempre que o empreendimento possuir algum potencial de impacto ambiental. O procedimento administrativo compete a um órgão federal, estadual ou municipal, e envolve a autorização sobre a localização, instalação, ampliação e operação dos empreendimentos. No âmbito estadual, no Rio Grande do Sul, a FEPAM é responsável por realizar a fiscalização e o licenciamento. Atualmente, a Resolução CONSEMA 372 [3] e a Portaria FEPAM nº 089 [4], dispõem e isentam o processo de licenciamento ambiental para autoprodução e geração distribuída de energia elétrica a partir da fonte solar. No âmbito federal, a Resolução CONAMA nº 279 [5] estabelece procedimentos para o licenciamento simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental.

A alocação e o processo de registro de um empreendimento de geração de energia elétrica deve levar em consideração a existência de áreas com características especiais, mais sensíveis quanto ao impacto ambiental. Os principais grupos dessas áreas especiais são relacionados a seguir:

- Áreas de Proteção Permanente – APPs, descritas no Código Florestal Brasileiro [6], compreendem margens de rios, lagos, lagoas e reservatórios, topos de morros, encostas com declividade elevada, dunas, banhados e nascentes;
- Unidades de Conservação – UCs, espaços delimitados por meio de legislação específica, pelo poder público, compreendem os parques municipais, estaduais, federais e reservas;
 - Corpos Hídricos;
 - Reservas Indígenas;
 - Comunidades Quilombolas.

3.2 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Unidades de Conservação – UCs são áreas que representam e protegem o patrimônio biológico existente no território nacional. São legalmente instituídas pelos governos federal, estadual e municipal, sendo sua criação justificada a partir de estudos que identificam a relevância das suas características naturais. São amostras protegidas das diferentes populações, *habitat* e ecossistemas, assim como das águas jurisdicionais.

No Rio Grande do Sul, as UCs são regulamentadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, instituído pela Lei nº 9.985 [7], e pelo Sistema Estadual de Unidades de Conservação – SEUC, instituído pela Lei nº 11.520 [8][9]. Atualmente, existem 11 UCs federais, 23 UCs estaduais e 31 UCs municipais no Estado do Rio Grande do Sul [10], as quais são listadas na Tabela 3.1 e apresentadas no Mapa 3.1.

As UCs se dividem em dois grupos: Unidades de Proteção Integral – UPIs e Unidades de Uso Sustentável – UUSs [18].

Comparativamente, a regulamentação das UPIs é mais rígida e seus recursos naturais podem ser utilizados apenas de modo indireto, como para o turismo ecológico ou para a pesquisa científica. As UPIs compreendem as seguintes categorias: Estação Ecológica – EE (ou Estações Ecológicas Estaduais – EEE), Reserva Biológica – REBIO, Parque Nacional – PN (ou Parques Estaduais – PE e Municipais – PNM), Figura 3.1 e 3.2, Monumento Natural – MoNa e Refúgio de Vida Silvestre – RVS.

As UUSs têm por objetivo conciliar a conservação com o uso sustentável dos recursos naturais, de modo a assegurar a sua renovação. Nelas é possível admitir, inclusive, atividades de agricultura familiar de pequena escala e baixo impacto, como o caso ilustrado na Figura 3.3. As UUSs compreendem as seguintes categorias: Área de Relevante Interesse Ecológico – ARIE, Floresta Nacional – FN, Reserva de Fauna – RF, Reserva de Desenvolvimento Sustentável – RDS, Reserva Extrativista – RESEX, Área de Proteção Ambiental – APA e Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN.

A instalação de grandes complexos solares em terras indígenas, quilombolas e assentamentos rurais não é viável por

FIGURA 3.1 Parque Nacional da Lagoa do Peixe.



FOTO: ZIG KOCH.

TABELA 3.1 Unidades de Conservação no Estado do Rio Grande do Sul.

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL	UNIDADE DE CONSERVAÇÃO			ATO LEGAL
	FEDERAL	MUNICÍPIO		
	1	EE de Aracuri-Esmeralda	Muitos Capões	Decreto nº 86.061/1981
	2	EE do Taim	Rio Grande e Santa Vitória do Palmar	Decreto nº 92.963/1986
	3	PN da Lagoa do Peixe	Mostardas e Tavares	Decreto nº 93.546/1986
	4	PN da Serra Geral	Jacinto Machado, Praia Grande e Cambará do Sul	Decreto nº 531/1992
	5	PN de Aparados da Serra	Cambará do Sul e Praia Grande	Decreto nº 47.446/1959
	6	RVS Ilha dos Lobos	Torres	Decreto nº 88.463/1983
	7	EEE Aratinga	São Francisco de Paula e Itati	D. E. nº 37.345/1997
	8	PE de Espigão Alto	Barracão	D. E. nº 658/1949
	9	PE de Itapeva	Torres	D. E. nº 42.009/2002
	10	PE de Itapuã	Viamão	Decreto nº 33.886/1991, Decreto nº 35.016/1993
	11	PE Delta do Jacuí	P. Alegre, Canoas, Eld. do Sul, Nova S. Rita, Triunfo e Charqueadas	Decreto nº 24.385/1976, Decreto nº 12.371/2005
	12	PE do Camaquã	Camaquã e São Lourenço do Sul	D. E. nº 23.798/1975
	13	PE do Espinilho	Barra do Quaraí	D. E. nº 23.798/1975
	14	PE do Ibitirí	Vacaria e Bom Jesus	D. E. nº 23.798/1975
	15	PE do Papagaio Charão	Sarandi	D. E. nº 30.645/1982
	16	PE do Podocarpus	Encruzilhada do Sul	D. E. nº 23.798/1975
	17	PE do Tainhas	Jaquirana, São Francisco de Paula e Cambará do Sul	D. E. nº 23.798/1975
	18	PE do Turvo	Derrubadas	D. E. nº 2.312/1947, Decreto nº 17.432/1965
	19	PE Quarta Colônia	Agudo e Ibarama	D. E. nº 44.186/2005
	20	REBIO da Serra Geral	Maquiné, Terra de Areia e Itati	D. E. nº 30.788/1982, D. E. nº 41.664/2002
	21	REBIO do Ibirapuitã	Alegrete	D. E. nº 24.622/1976
	22	REBIO do Mato Grande	Arroio Grande	D. E. nº 23.798/1975
	23	REBIO do São Donato	Itaqui e Maçambará	D. E. nº 23.798/1975
	24	REBIO Mata Paludosa	Itati	D. E. nº 38.972/1998
	25	RVS Banhado do Maçarico	Rio Grande	D. E. nº 52.144/2014, D. E. nº 54.003/2018
	26	RVS Banhado dos Pachecos	Viamão	D. E. nº 41.559/2002
	27	MoNa Palanquinho	Caxias do Sul	Decreto Nº 16.104/2012
	28	PNM Base Ecológica do Rio Velho	São Leopoldo	L. M. nº 7.739/2012
	29	PNM da Ronda	São Francisco de Paula	L. M. nº 2.425/2007
	30	PNM do Apertado	Severiano de Almeida	Decreto nº 1.994/2014
	31	PNM do Pampa	Bagé	D. M. nº 174/2014
	32	PNM Dois Lajeados	Dois Lajeados	D. M. nº 052/2013
	33	PNM dos Morros	Santa Maria	Decreto Executivo nº 074/2016
	34	PNM Dr. Tancredo Neves	Cachoeirinha	Lei nº 1.527/1996
	35	PNM Imperatriz Leopoldina	São Leopoldo	D. M. nº 4.330/2005, L. M. nº 7.739/2012
	36	PNM Longines Malinowski	Erechim	L. M. nº 3.110/1998
	37	PNM Manuel de Barros Pereira	Santo Antônio da Patrulha	L. M. nº 2.549/1992
	38	PNM Mata do Daniel Köche Filho	São Leopoldo	L. M. nº 7.739/2012
	39	PNM Mata do Rio Uruguai Teixeira Soares	Marcelino Ramos	L. M. nº 028/2008
	40	PNM Morro do Osso	Porto Alegre	Lei Complementar Municipal nº 334/1994
	41	PNM Morro Jose Lutzenberger	Guaíba	D. M. nº 116/2013
	42	PNM Sagrisa	Pontão	Lei Municipal nº 232/1999
	43	PNM Sertão	Sertão	D. M. nº 027/1998
	44	PNM Tupancy	Arroio do Sal	L. M. nº 468/1994
	45	REBIO Bioma Pampa	Candiota	L. M. nº 1.371 de 04/07/12, L. M. nº 1.476/2013
	46	REBIO Dárvim João Jeremia	Bento Gonçalves	Decreto nº 1.339
	47	REBIO Lami Jose Lutzenberger	Porto Alegre	Decreto-Lei Municipal nº 4.097/1975
	48	REBIO Moreno Fortes	Dois Irmãos das Missões	D. M. nº 018/2004, D. M. nº 052/2005
	49	RVS do Molhe Leste	São José do Norte	L. M. nº 007/1996
	50	APA de Ibirapuitã	Alegrete, Rosário do Sul, S. do Livramento e Quaraí	Decreto nº 529/1992
	51	ARIE Pontal dos Latinos e Pontal do Santiago	S. V. do Palmar	Resolução CONAMA nº 5/1984
	52	FN de Canela	Canela	Portaria nº 561/1968
	53	FN de Passo Fundo	Mato Castelhano	Portaria nº 561/1968
	54	FN de São Francisco de Paula	S. Francisco de Paula	Portaria nº 561/1968
	55	APA Delta do Jacuí	P. Alegre, Canoas, Eld. do Sul, Nova S. Rita, Triunfo e Charqueadas	Lei Estadual nº 12.371/2005
	56	APA do Banhado Grande	Glorinha, Gravataí, Viamão e S. A. da Patrulha	D. E. nº 38.971/1998
	57	APA Rota do Sol	Cambará do Sul, Itati, Três Forquilhas e S. F. de Paula	D. E. nº 37.346/1997
	59	APA de Caraá	Caraá	Decreto nº 076/1998
	60	APA de Riozinho	Riozinho	Decreto nº 348/1998
	61	APA dos Arroios Doze e Dezenove	Carlos Barbosa	Decreto Nº 1.261/2000
	62	APA Lagoa Itapeva	Torres	L. M. Nº 3.372/1999
	63	APA Morro de Osório	Osório	L. M. Nº 2.665/1994
	64	ARIE Henrique Luiz Roessler	Novo Hamburgo	D. M. nº 4.129/2009
	65	ARIE Morro Ferrabraz	Sarapinga	L. M. nº 5.900/2016
	66	ARIE São Bernardo	São Francisco de Paula	L. M. nº 2.424/2007

* UNIDADES DE CONSERVAÇÃO ESTADUAIS CADASTRADAS NO SEMA. ** UNIDADES DE CONSERVAÇÃO MUNICIPAIS CADASTRADAS NO SEMA.

TABELA 3.2 Terras Indígenas no Estado do Rio Grande do Sul.

TERRA INDÍGENA	MUNICÍPIO	
TI-1	TI Cacique Doble	Cacique Doble, São José do Ouro
TI-2	TI Campo Bonito	Torres
TI-3	TI Cantagalo	Porto Alegre, Viamão
TI-4	TI Capivari	Palmares do Sul
TI-5	TI Carreteiro	Água Santa
TI-6	TI Estrada do Mar	Osório
TI-7	TI Guarani Barra do Ouro	Caraá, Riozinho, Maquiné
TI-8	TI Guarani de Águas Brancas	Arambaré
TI-9	TI Guarani Votouro	Benjamin Constant do Sul
TI-10	TI Guarita	Tenente Portela, Redentora, Erval Seco
TI-11	TI Inhacorá	São Valério do Sul
TI-12	TI Irapuá	Caçapava do Sul
TI-13	TI Kaingang de Iraí	Iraí
TI-14	TI Ligeiro	Charrua
TI-15	TI Mato Castelhana	Mato Castelhana
TI-16	TI Mato Preto	Getúlio Vargas, Erechim, Erebangó
TI-17	TI Monte Caseros	Muliterno, Ibiraiaras
TI-18	TI Nonoai	Rio dos Índios, Planalto, Nonoai, Gramado dos Loureiros
TI-19	TI Nonoai/Rio da Várzea	Trindade do Sul, Planalto, Nonoai, Liberato Salzano, Gramado dos Loureiros
TI-20	TI Pacheca	Camaquã
TI-21	TI Passo Grande do Rio Forquilha	Cacique Doble, Sananduva
TI-22	TI Rio dos Índios	Vicente Dutra
TI-23	TI Salto Grande do Jacuí	Salto do Jacuí
TI-24	TI Serrinha	Três Palmeiras, Ronda Alta, Engenho Velho, Constantina
TI-25	TI Varzinha	Caraá, Maquiné
TI-26	TI Ventarra	Erebangó
TI-27	TI Votouro	Benjamin Constant do Sul, Faxinalzinho
TI-28	TI Votouro/Kandóia	Benjamin Constant do Sul, Faxinalzinho

FONTE: FUNAI [12].

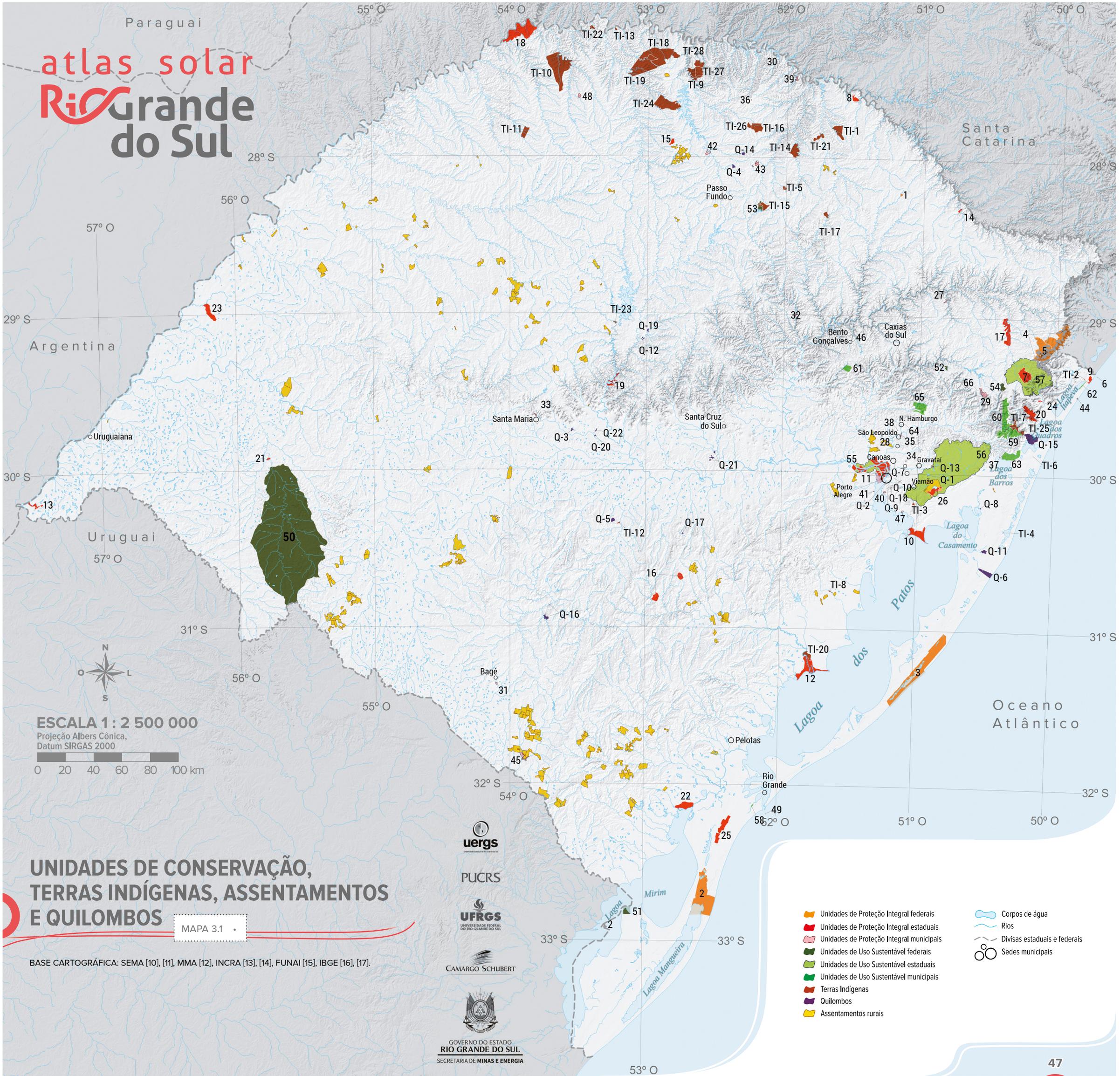
TABELA 3.3 Quilombos no Estado do Rio Grande do Sul.

Quilombo	Município	
Q-1	Anastácia	Viamão
Q-2	Areal Luiz da Guaranha	Porto Alegre
Q-3	Arnesto Penna	Santa Maria
Q-4	Arvinha	Sertão
Q-5	Cambará	Cachoeira do Sul
Q-6	Casca	Mostardas
Q-7	Chácara das Rosas	Canoas
Q-8	Costa da Lagoa	Capivari Do Sul
Q-9	Família Fidélis	Porto Alegre
Q-10	Família Silva	Porto Alegre
Q-11	Limoeiro	Palmares do Sul
Q-12	Linha Fão	Arroio do Tigre
Q-13	Manoel Barbosa	Gravataí
Q-14	Mormaça	Sertão
Q-15	Morro Alto	Maquiné/Osório
Q-16	Palmas	Bagé
Q-17	Quadra	Encruzilhada do Sul
Q-18	Quilombo dos Alpes	Porto Alegre
Q-19	Rincão dos Caixões	Jacuzinho
Q-20	Rincão dos Martimianos	Restinga Seca
Q-21	Rincão dos Negros	Rio Pardo
Q-22	São Miguel	Restinga Seca

FONTE: INCRA [10].

APA	Área de Proteção Ambiental	PN	Parque Nacional
ARIE	Área de Relevante Interesse Ecológico	PNM	Parque Natural Municipal
EE	Estação Ecológica	RVS	Refúgio de Vida Silvestre
EEE	Estação Ecológica Estadual	D. E.	Decreto Estadual
FN	Floresta Nacional	D. M.	Decreto Municipal
MoNa	Monumento Natural	L. M.	Lei Municipal
PE	Parque Estadual		

FONTE: SEMA [7], MMA [9].



ESCALA 1 : 2 500 000

Projeção Albers Cônica,
Datum SIRGAS 2000



**UNIDADES DE CONSERVAÇÃO,
TERRAS INDÍGENAS, ASSENTAMENTOS
E QUILOMBOS**

MAPA 3.1

BASE CARTOGRÁFICA: SEMA [10], [11], MMA [12], INCRA [13], [14], FUNAI [15], IBGE [16], [17].



PUCRS



CAMARGO SCHUBERT

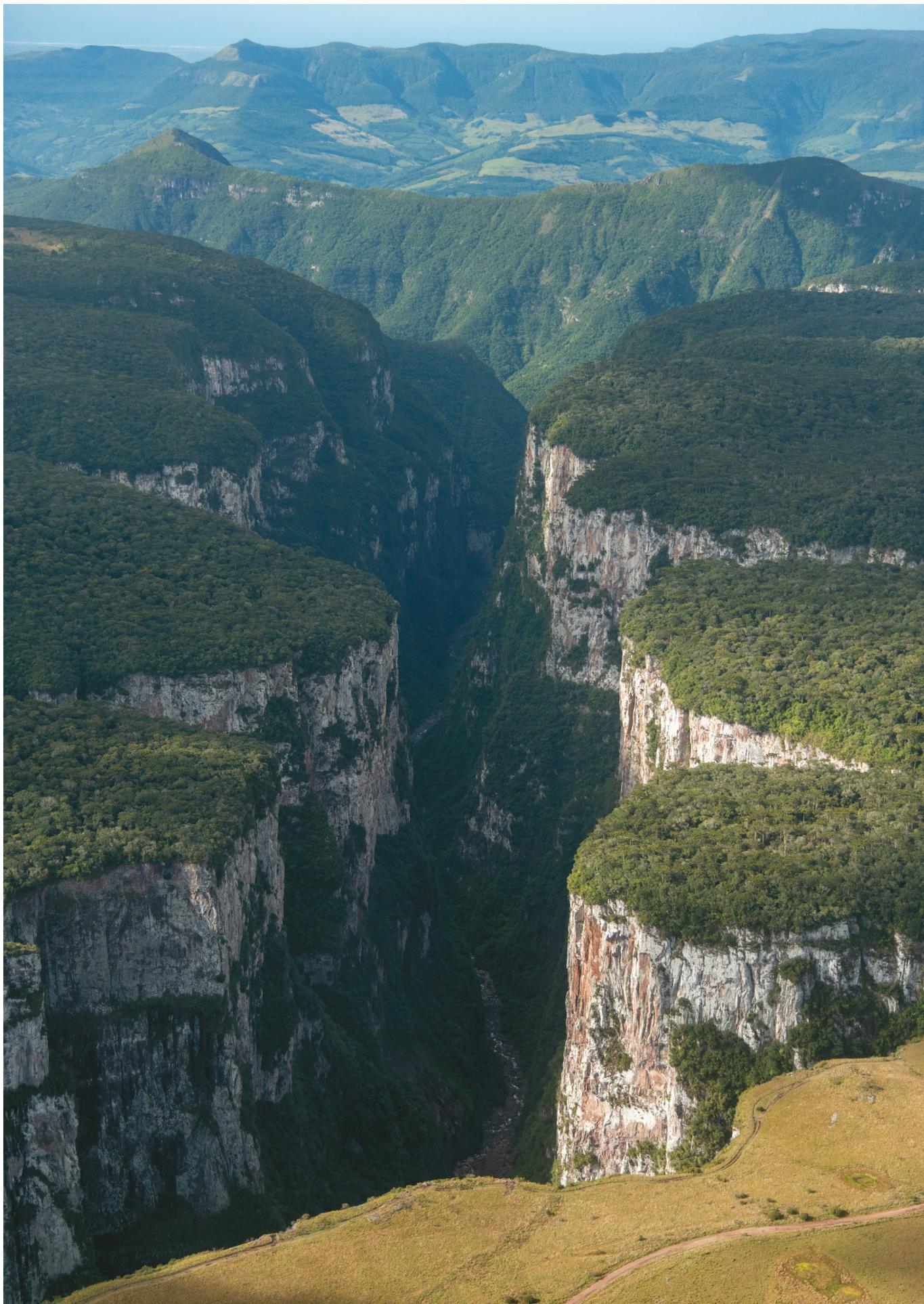


GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

- Unidades de Proteção Integral federais
- Unidades de Proteção Integral estaduais
- Unidades de Proteção Integral municipais
- Unidades de Uso Sustentável federais
- Unidades de Uso Sustentável estaduais
- Unidades de Uso Sustentável municipais
- Terras Indígenas
- Quilombos
- Assentamentos rurais
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais
- Sedes municipais

FIGURA 3.2 Parque Nacional de Aparados da Serra.

FOTO: ZIG KOCH.



questões legais que envolvem, em especial, o objetivo do uso e ocupação do solo. No entanto, projetos de sistemas de aquecimento solar térmico e produção fotovoltaica instalados sobre telhados, especialmente de edificações já existentes, podem ser de grande interesse nessas áreas, uma vez que associam-se a impactos ambientais de pouca relevância ou inexistentes. Em áreas de assentamentos com produção agrícola, por exemplo, essas tecnologias podem representar uma alternativa para a geração elétrica e/ou energia térmica em processos agroindustriais de pequena escala. Em quilombolas e terras indígenas distantes da rede elétrica, são alternativas de eletrificação de custo reduzido.

3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS

Os impactos ao meio ambiente associados à exploração da energia solar variam de acordo com a tecnologia utilizada, podendo esta ser através de módulos fotovoltaicos ou de plantas de concentração solar. É considerado fator relevante a escala do empreendimento, que pode variar desde sistemas distribuídos em telhados de casas, de pequena escala, até grandes usinas, de larga escala [19].

A seguir, são relacionados alguns aspectos a se considerar sobre os impactos ambientais associados à produção de energia solar.

3.3.1 USO DO SOLO

Instalações solares de larga escala podem gerar degradação do solo e perda de *habitat*. A área utilizada para instalação da usina depende da tecnologia, da topografia da região e da intensidade do recurso solar. Diferentemente dos parques eólicos, as instalações solares não podem compartilhar a área com atividades de agricultura ou pecuária. O impacto do uso do solo, contudo, pode ser minimizado com a utilização de áreas de baixa qualidade, isto é, áreas não aproveitáveis para agricultura ou outras atividades, ou áreas já degradadas ambientalmente, tais como minas abandonadas, instalações industriais e aterros sanitários desativados.

3.3.2 IMPACTO VISUAL

O impacto causado pela poluição visual resultante de um grande número de painéis fotovoltaicos ou refletores, instalados próximos, em uma mesma área, pode ser minimizado com a escolha de regiões de menor densidade populacional.

3.3.3 USO DA ÁGUA

Células fotovoltaicas não utilizam água no processo de conversão de energia elétrica. Contudo, a água é utilizada no processo de fabricação destas células e, em certas localidades, a água é necessária para limpeza periódica dos painéis, para

garantir seu bom desempenho. Ainda, nas plantas de concentração solar, assim como em qualquer usina térmica, a água é utilizada no arrefecimento do sistema.

3.3.4 MATERIAIS TÓXICOS

O processo de fabricação de células fotovoltaicas inclui o uso de produtos químicos, por exemplo, na limpeza e purificação da superfície do semicondutor. Embora tóxicos, estes produtos são neutralizados e seus resíduos são controlados. Entre esses materiais, estão o ácido clorídrico e o hidróxido de amônia. A quantidade de compostos químicos necessários para a fabricação depende do tipo de célula, do nível de limpeza necessário e do tamanho da lâmina de silício.

3.3.5 EMISSÕES DE GASES ASSOCIADOS AO EFEITO ESTUFA

Enquanto a operação de uma instalação de geração de energia elétrica a partir da energia solar não emite gases do efeito estufa, também conhecidos como dióxido de carbono equivalentes, outras atividades que compõem o ciclo de vida dos seus equipamentos são associadas a potenciais emissões que devem ser observadas. Essas atividades são: fabricação, transporte, instalação, manutenção, descomissionamento e descarte dos componentes. Os principais impactos ambientais associados aos três principais estágios de um empreendimento de geração solar são relacionados na Tabela 3.4.

De acordo com o relatório *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation – SRREN*, publicado em 2011 pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC* [20], são gerados de 32 a 82 gramas de dióxido de carbono equivalente por quilowatt-hora produzido [CO_2E/kWh] pela tecnologia fotovoltaica, e de 36 a 90 gramas pela tecnologia de concentração solar. Vale lembrar que a ordem de grandeza é significativamente inferior à da emissão por usinas térmicas que utilizam gás natural (de 272 a 907 gramas de CO_2E/kWh) ou carvão (de 635 a 1633 gramas de CO_2E/kWh).

- Geração distribuída e centralizada tecnologia fotovoltaica/concentração solar
- Geração centralizada tecnologia fotovoltaica
- Geração centralizada tecnologia de concentração solar
- Geração centralizada tecnologia fotovoltaica/concentração solar

FIGURA 3.3 Agricultura familiar de pequena escala dentro da APA Delta do Jacuí.



FOTO: ZIG KOCH.

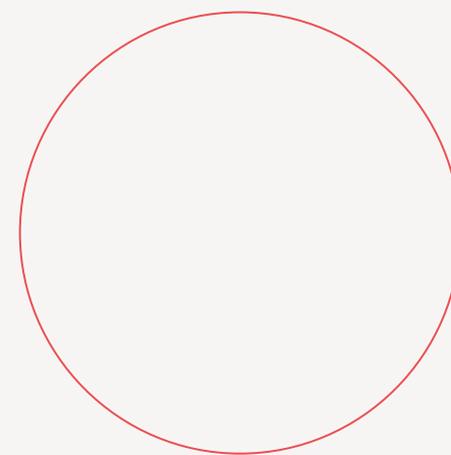
TABELA 3.4 Potenciais impactos ambientais no ciclo de vida da usina solar.

POTENCIAIS IMPACTOS AMBIENTAIS NO CICLO DE VIDA DA USINA SOLAR		
CONSTRUÇÃO	OPERAÇÃO	DESCOMISSIONAMENTO
● Construção da usina, das linhas de transmissão, estradas e subestações		
	● Uso de eletricidade	
● Uso de materiais potencialmente contaminantes e inflamáveis		
● Necessidade de grandes áreas de terra		
● Emissão de CO_2E		
● Infraestrutura da usina, das linhas de transmissão e das subestações		
		● Remoção da usina, das linhas de transmissão, da subestação e das estradas
● Degradação do solo		
● Nivelamento da superfície		
● Remoção de vegetação		
● Atividade veicular		
	● Limpeza dos espelhos	
	● Limpeza dos painéis fotovoltaicos	
	● Uso de água para arrefecimento	

FONTE: ADAPTADO DE HERNANDEZ ET AL. [19].



atlas solar
RiGrande
do Sul



4 Tecnologia



4.1 HISTÓRICO

4.1.1 HISTÓRICO DA TECNOLOGIA SOLAR

Os primeiros registros do aproveitamento da energia solar remontam à antiga Mesopotâmia (hoje parte dos territórios do Iraque, Turquia e Síria), e descrevem sacerdotes utilizando o interior de bacias de ouro polido como espelhos parabólicos para acender o fogo em cerimônias (Figura 4.1a). Esta prática também teria sido empregada, nos tempos antigos, por chineses, gregos e romanos [1]. Outra famosa citação de uso da energia solar na Antiguidade é a suposta história do espelho de Arquimedes (Figura 4.1c), o qual teria sido construído no séc. III a.C., com o objetivo de incendiar barcos inimigos na defesa da Baía de Siracusa durante a Segunda Guerra Púnica [1].

Referências apontam também para aplicações da energia solar com fins arquitetônicos. Documentos romanos sugerem o emprego de materiais transparentes para o aquecimento do interior de edificações, já fazendo uso do princípio do efeito es-

tufa. O fenômeno decorre do fato desses materiais permitirem a passagem das radiações emitidas em ondas curtas, na faixa da luz visível, e bloquearem as radiações emitidas por ondas longas, na faixa infravermelha. As ondas longas são geradas quando a luz é convertida em calor ao atingir paredes e outras superfícies [1]. O filósofo Sócrates, ao fim do século V a.C., também estudou o aproveitamento da energia solar para o controle da temperatura em ambientes, propondo atenção à orientação de janelas e outras aberturas em relação à posição do sol (Figura 4.1b) [2].

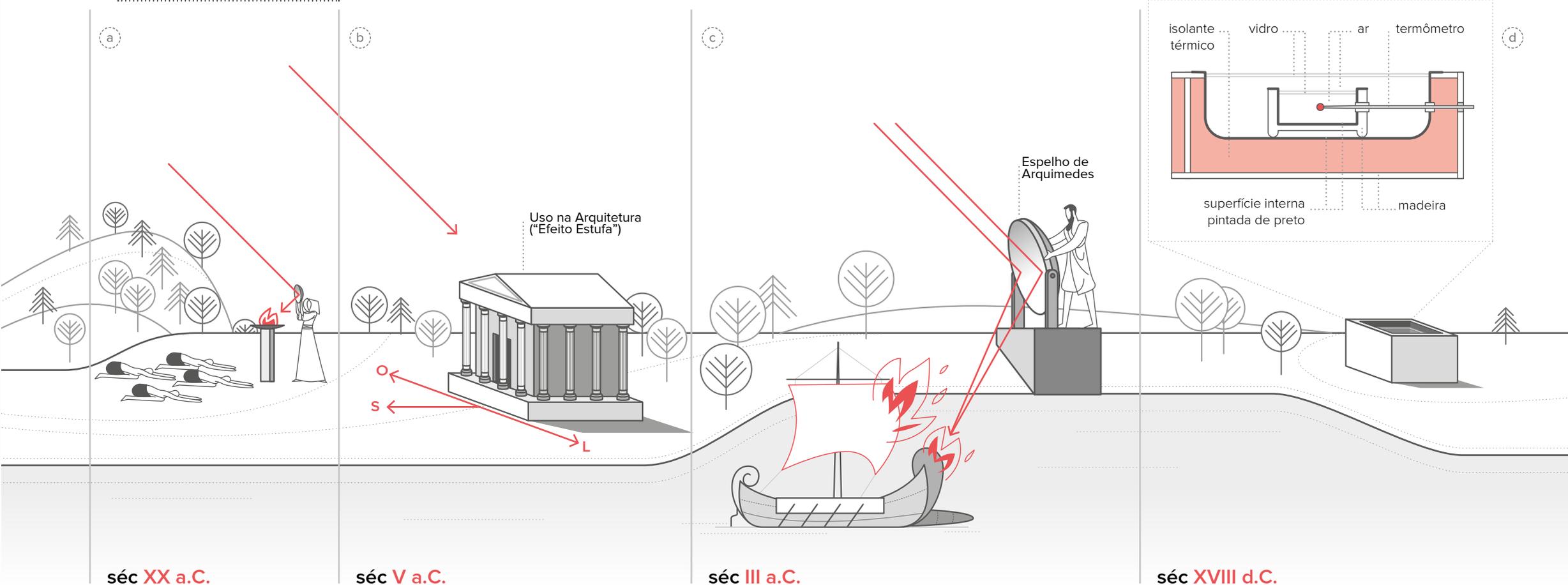
Conhecimentos provenientes da Antiguidade sobre ótica de espelhos curvos e lentes, preservados no mundo árabe pelo matemático Abu Ali al-Hasan al-Haitham (965 – 1040), inspiraram, no Renascimento, Leonardo da Vinci (1452 – 1519), em seus trabalhos de aperfeiçoamento de conceitos envolvendo concentradores solares parabólicos. Apesar do extenso trabalho com concentradores solares, a principal contribuição de da Vinci para a área da energia solar foi, de fato, despertar o interesse por aplicações industriais dessa forma de energia [1]. Tal interesse tomou impulso durante a revolução industrial, quando emergiu a preocupação com o suprimento

de carvão, principal combustível da época e um recurso sabidamente finito. Na busca por fontes alternativas, Augustin Mouchot (1825-1911) foi um dos pioneiros nos experimentos para transformar a radiação solar em energia mecânica. Ele construiu uma máquina solar que utilizava, pela primeira vez, um refletor cônico para concentrar os raios solares em uma caldeira, a qual, por sua vez, alimentava uma máquina a vapor. A concepção da caldeira baseava-se no princípio do efeito estufa, tomando como base a criação de Saussure (Figura 4.1d), a qual fundamenta, até os dias de hoje, projetos de aquecedores de água [1]. A criação de Mouchot foi apresentada, e bem recebida por Napoleão III, no ano de 1866.

Durante o final do século XIX e início do séc. XX, fizeram-se inúmeros experimentos baseados nos princípios da termodinâmica, com o intuito de aperfeiçoar a tecnologia de conversão da energia solar em energia mecânica. Dentre os experimentos mais conhecidos estão:

- Concentrador solar conectado a uma caldeira construído por Mouchot e um de seus assistentes, o engenheiro Abel Pifre (1852-1928). Este sistema foi exposto em Paris

FIGURA 4.1 Linha do tempo.



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

em 1878 (Figura 4.1e). Em 1882, em Paris, Pifre apresentou um motor solar que, ligado a uma prensa gráfica, imprimiu 500 cópias de um pequeno jornal intitulado O Diário Solar. O motor estava conectado a um concentrador composto por um espelho côncavo de 3,5 m de diâmetro e uma caldeira.

- Concentrador de múltiplos espelhos planos arranjados em semicírculo, elaborado por William Adams (1836-1915).
- Concentrador de baixa pressão de Frank Shuman (1862-1918) e Charle Boys (1855-1944).
- Conceito de concentrador cilíndrico de John Ericson (1803-1889), aperfeiçoado por Henry Willsie e John Boyle com circuitos independentes de amônia e água.

Esses experimentos foram testados em diferentes lugares do globo, tais como no Egito (Figura 4.1f) e no Oeste dos EUA, em projetos de irrigação.

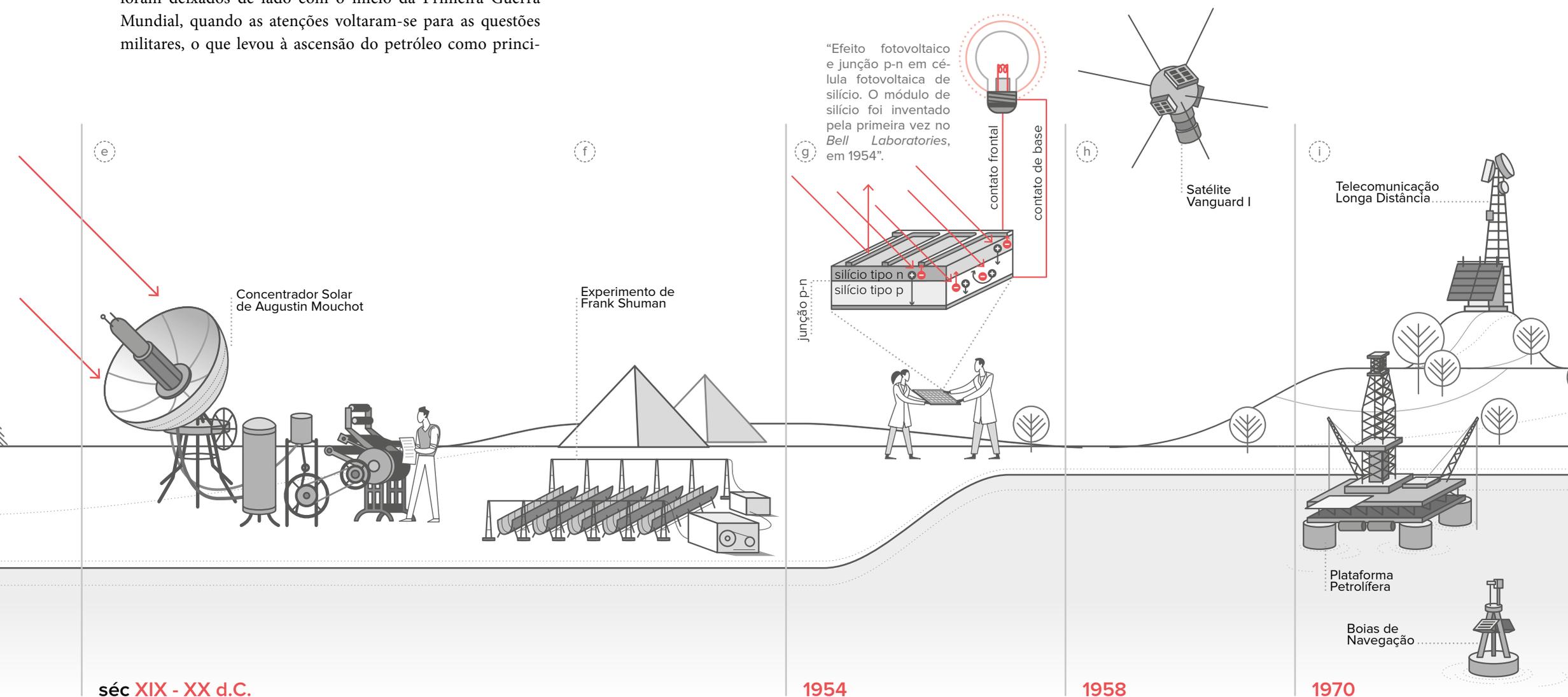
Muitos dos esforços para o desenvolvimento de tecnologias de aproveitamento termodinâmico da energia solar foram deixados de lado com o início da Primeira Guerra Mundial, quando as atenções voltaram-se para as questões militares, o que levou à ascensão do petróleo como princi-

pal combustível para o transporte [1]. Simultaneamente, em meados do séc. XIX, ocorreram as primeiras descobertas sobre o efeito fotoelétrico e o efeito fotovoltaico. O primeiro refere-se à emissão de elétrons de um material se o mesmo for exposto à radiação eletromagnética, como por exemplo, a radiação ultravioleta. O segundo é a produção de tensão e corrente elétrica em um dispositivo quando exposto à radiação solar, ocorrendo, deste modo, a conversão direta da energia solar em energia elétrica [3].

Willoughby Smith (1828-1891), em 1860, conduziu alguns experimentos que culminaram com a descoberta de que a condutividade do selênio era sensível à luz. Na década de 1870, o cientista William G. Adams e seu então aluno, Richard E. Day, observaram o efeito fotovoltaico em um dispositivo de selênio. Já na década de 1880, foi criado por Charles Fritts (1850-1903) o primeiro módulo fotovoltaico. Até este momento, pouco se sabia sobre como ocorria o fenômeno de transformação da energia da luz em energia elétrica, até que, em 1905, Albert Einstein [4] publicou um

artigo expondo a ideia de que a luz era formada por fótons. Até hoje em crescente evolução, a pesquisa busca o melhor aproveitamento das propriedades de alguns materiais semicondutores de produzirem energia elétrica quando expostos à radiação solar.

Os primeiros módulos feitos de selênio apresentavam baixa eficiência e uma rápida degradação, desvantagens que foram superadas muitas décadas depois, quando os módulos de silício foram inventados na *Bell Laboratories* em 1954, por Calvin Fuller (1902-1994) e Gerald Pearson (1905-1987) (Figura 4.1g). No início, a energia produzida pelos módulos de silício era relativamente custosa, razão pela qual suas primeiras aplicações práticas ocorreram somente na indústria aeroespacial, em 1958, com o lançamento do satélite *Vanguard I* (Figura 4.1h), alimentado por um conjunto de seis células solares montadas sobre sua superfície. Na indústria espacial, preocupações com custos ou com capacidade de geração em larga escala não eram determinantes para a escolha do sistema energético. De maneira oposta, a capacidade dos módulos



fotovoltaicos de permitirem a operação por longos períodos de tempo, quando comparados aos de outras fontes de energia, impulsionou o uso da tecnologia, tornando-a a principal fonte para a alimentação de satélites [4].

A história do aproveitamento da energia solar por meio do efeito fotovoltaico descreve, a partir da década de 1960, esforços na busca por aplicações terrestres e por avanços na eficiência dos módulos e na redução dos custos. As primeiras aplicações viáveis foram encontradas no decorrer da década de 1970, na alimentação de equipamentos de baixo consumo em locais remotos, tais como: bóias de navegação, plataformas da indústria petrolífera, equipamentos para sinalização de interseções rodoviárias, protetores catódicos para minas de gás, transmissores para monitoramento de oleodutos e repetidores de microon-

das para sinais de televisão, rádio e telecomunicações em longa distância (Figura 4.1i). Já na década de 1980, foi destaque um programa humanitário utilizando bombas d'água alimentadas por módulos fotovoltaicos, implementado em diversas regiões do Mali, para amenizar os agravos de períodos de seca [4].

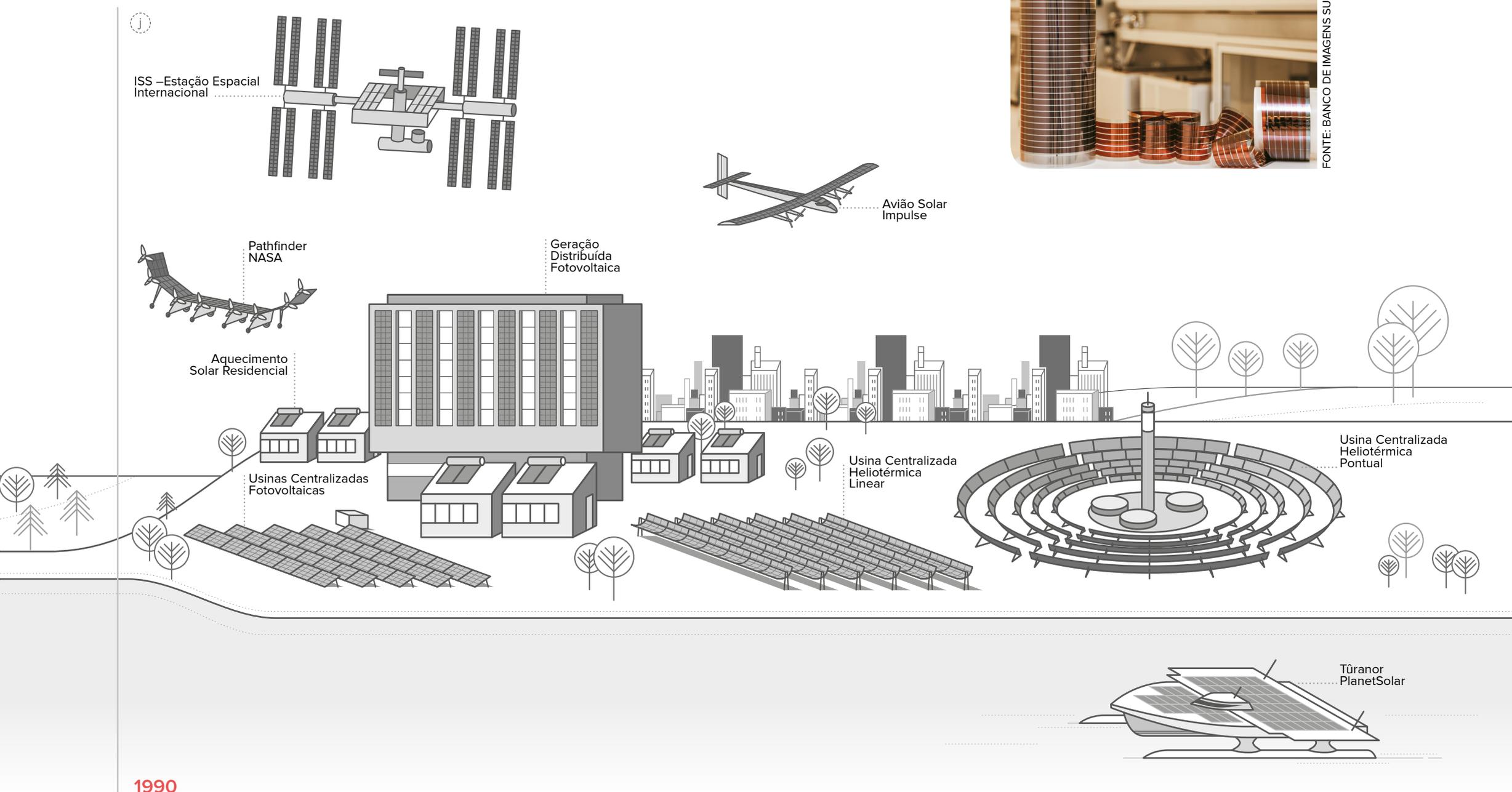
A partir da década de 1990, o uso de módulos fotovoltaicos e de painéis para aproveitamento térmico do sol foi difundido, impulsionado pela emergência de políticas de sustentabilidade e da promoção de incentivos governamentais para o uso desses módulos e concentradores em residências ao redor do globo (Figura 4.1j). Este crescimento, associado à evolução tecnológica, reduziu gradativamente os custos dessa energia aos patamares mais competitivos atingidos no séc. XXI.

Uma das mais recentes linhas de aplicação utiliza materiais fotovoltaicos orgânicos (*Organic Photovoltaics* - OPV) (Figura 4.2). Esses materiais, embora apresentem menor eficiência energética que os painéis fotovoltaicos tradicionais, são flexíveis e permitem amplo espectro de aplicações, como na arquitetura, construções, fachadas comerciais, indústria automobilística, entre outras. Outra tecnologia emergente são as células solares de perovskita, que já alcançou, em poucos anos, eficiência que outros materiais levaram mais de 25 anos de pesquisas.

FIGURA 4.2 Filme Fotovoltaico Orgânico produzido no Brasil pela empresa SUNEW.



FONTE: BANCO DE IMAGENS SUNEW.



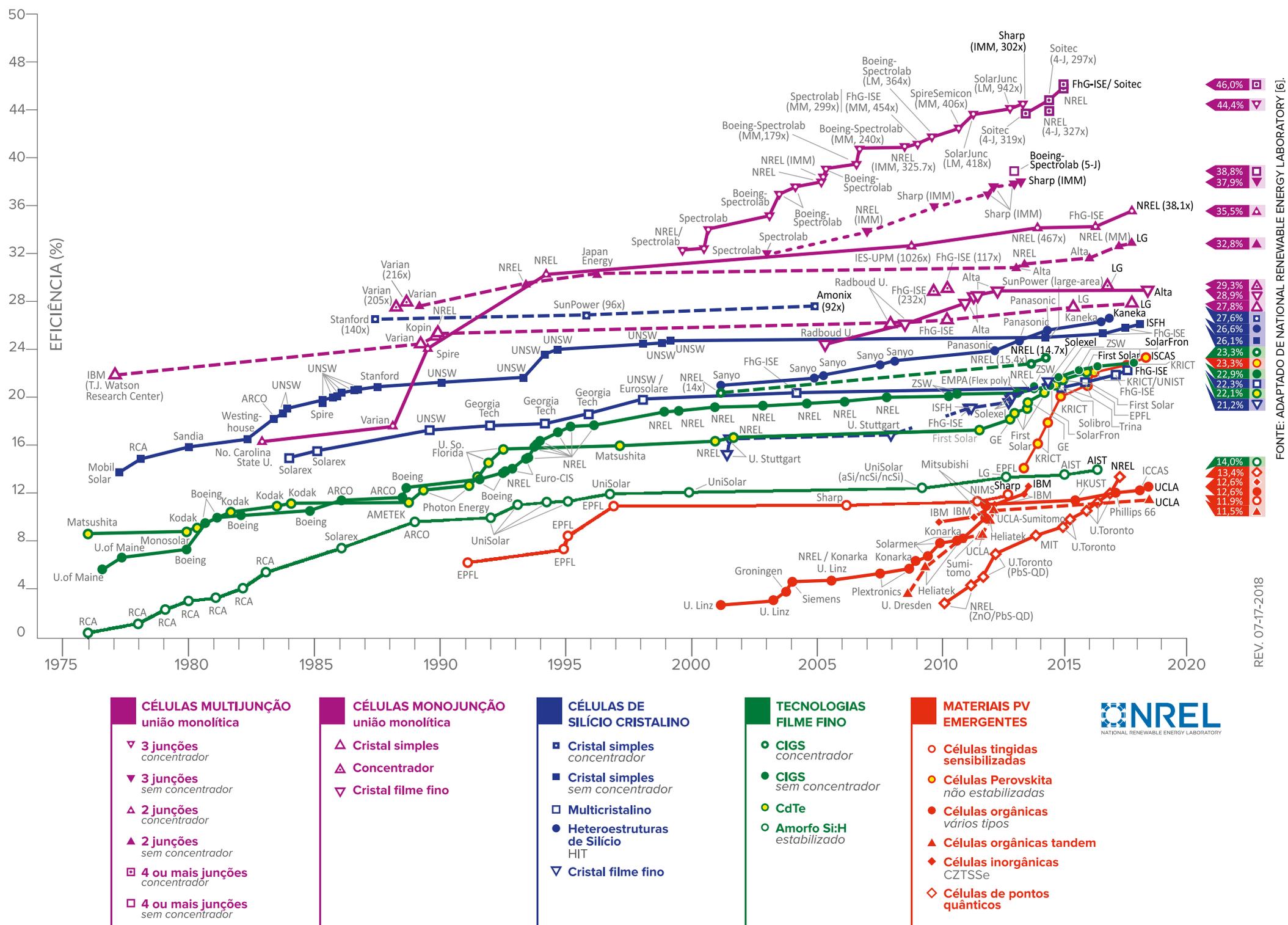
1990

O *National Renewable Energy Laboratory* - NREL, laboratório pertencente ao Departamento de Energia dos Estados Unidos (*Department of Energy* - DOE) publica periodicamente,

desde 1976, a evolução da eficiência de células solares produzidas com diferentes materiais, reproduzida na Figura 4.3 [5]. O NREL tem por objetivo fomentar o desenvolvimento e o

aperfeiçoamento de diversas tecnologias de produção de energia, mantendo diversas linhas de pesquisa, sendo uma delas voltada ao aproveitamento do recurso solar.

FIGURA 4.3 Evolução da eficiência de dispositivos fotovoltaicos fabricados com diferentes materiais.



4.1.2 HISTÓRICO NO BRASIL

Visando fomentar o desenvolvimento de projetos de energia solar no Brasil, foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, no ano 2000, o Atlas Solarmétrico do Brasil [7] e, no ano de 2006, o Atlas Brasileiro de Energia Solar [8], tendo este passado por uma atualização em 2017 [9]. A partir de 2010, novas medidas de incentivo foram tomadas, contribuindo para o desenvolvimento do mercado de sistemas fotovoltaicos no Brasil. Algumas dessas medidas são relacionadas a seguir.

- Abril/2012: a Agência Nacional de Energia Elétrica estabeleceu condições para o acesso de minigeração e microgeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, implementando o sistema de compensação de energia elétrica através da Resolução Normativa nº 482 - RN 482 [10].

- Outubro/2014: no 6º Leilão de Energia de Reserva - LER ocorreu a primeira contratação de energia solar centralizada, totalizando 890 MW. A evolução da contratação deste tipo de energia por meio de Leilões promovidos pelo Ministério de Minas e Energia - MME pode ser observada no Gráfico 4.1, entre 2014 e 2018.

- Abril/2015: o Conselho Nacional de Política Fazendária - CONFAZ publicou o Convênio ICMS 16 [11], isentando o pagamento estadual do Imposto sobre Circulação de Mercadorias - ICMS sobre o excedente de energia produzido por sistemas de geração distribuída. Em 18 de dezembro de 2015, o Estado do Rio Grande do Sul, através do Convênio ICMS 157 [12], aderiu ao CONFAZ. A totalidade da participação dos estados da federação ocorreu em 16 maio de 2018.

- Novembro/2015: A ANEEL alterou a Resolução Normativa nº 482 [10], através da Resolução Normativa nº 687 [14], estabelecendo uma série de melhorias e avanços na legislação.

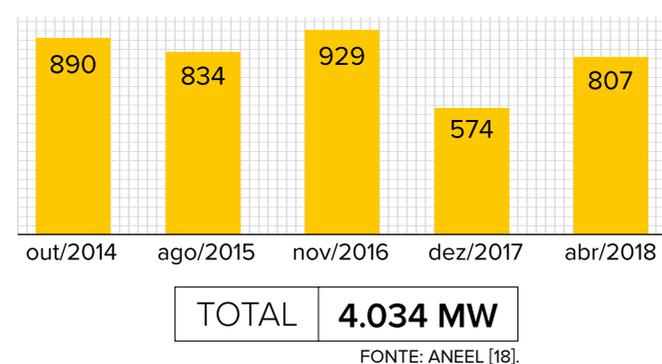
- Dezembro/2015: a Agência Nacional de Energia Elétrica instituiu, por meio da Portaria nº 538 [13], o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica - ProGD, permitindo que o excedente da energia produzida em unidades consumidoras fosse vendido no mercado livre de energia.

- Novembro/2016: linhas de financiamento promovidas pelo governo federal foram estendidas à compra de equipamentos para energia fotovoltaica e aquecimento solar [15].

- Maio/2017: o Banco Nacional de Desenvolvimento - BNDES aprovou o primeiro financiamento para geração fotovoltaica centralizada, na Usina de Pirapora, Minas Gerais [16].

- Outubro/2018: o BNDES reabriu o Programa Fundo Clima, permitindo o financiamento de até 80% de equipamentos de aproveitamento solar para pessoas físicas [17].

GRÁFICO 4.1 Capacidade instalada em centrais fotovoltaicas contratada nos leilões promovidos pelo MME entre 2014 e 2018.



4.1.3 HISTÓRICO NO RIO GRANDE DO SUL

No Rio Grande do Sul, as primeiras aplicações da energia fotovoltaica foram realizadas por entusiastas no assunto, por meio de iniciativas isoladas como a do empresário Hans Dieter Rahn que, em 2000, instalou um sistema fotovoltaico integrado à rede pública de distribuição de energia elétrica, gerando eletricidade para uso residencial e comercial. Na época, como o empresário tinha permissão da Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE para inserir a sua produção na rede local, esta foi considerada a primeira instalação fotovoltaica privada integrada à rede de distribuição pública de energia elétrica na América Latina.

O mercado estadual de energia solar fotovoltaica começou efetivamente no ano de 2013, após a publicação da Resolução Normativa nº 482 [10]. Desde então, esse segmento tem se mostrado bastante promissor e tem motivado o interesse de projetistas, instaladores, comerciantes e consumidores de eletricidade, consolidando o Rio Grande do Sul como o segundo estado brasileiro com a maior potência instalada dessa fonte de energia na modalidade distribuída.

Várias medidas foram implementadas pelo governo gaúcho para viabilizar esse mercado no Estado. Dentre elas destacam-se: o Decreto Lei nº 52.964 [19], que estabelece a cobrança do ICMS somente sobre a diferença líquida sobre o que foi consumido, dentro dos limites de potência da RN 482 [10]; a isenção do ICMS nas operações com diversos equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias

solar e eólica, através do Convênio ICMS/CONFAZ 101 [20]; a isenção de Licenciamento Ambiental, através da Resolução CONSEMA 372 [21], para autoprodução e geração distribuída de energia elétrica a partir de fonte solar ou eólica, regradas pela Resolução Normativa nº 687 da ANEEL [14]; a Lei nº 14.898, que institui a política estadual de incentivo ao aproveitamento da energia solar [22] e a criação de um grupo de trabalho para avaliação do mercado e confecção do projeto do Atlas de Energia Solar do Rio Grande do Sul. Além dessas, o Decreto Estadual nº 53160 [23] instituiu o Programa Gaúcho de Energias Renováveis para, entre outras diretrizes, dar celeridade ao andamento de projetos de geração de energia a partir de fontes renováveis.

No âmbito acadêmico, o estudo da energia solar no Estado teve início com a criação de diversos grupos de pesquisa. O primeiro foi criado pelo Prof. Arno Müller na Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, em 1975, e dedicava-se a sistemas de aquecimento solar de água. Logo, o primeiro grupo foi reforçado com o Prof. Oscar Daniel Corbella, em 1976, oriundo da Universidade de Rosário, Argentina, tendo permanecido na UFRGS atuando junto ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais até 1987, quando o Laboratório de Energia Solar - LABSOL [20] passou a ser coordenado pelo Prof. Arno Krenzinger, do Departamento de Materiais da Escola de Engenharia. O Prof. Krenzinger é um dos brasileiros pioneiros na área de energia solar, formado pelo *Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas* - CIEMAT (Espanha), responsável pela formação de notáveis pesquisadores brasileiros na área.

Atualmente, a sede do LABSOL está no Campus do Vale, em Porto Alegre, em um terreno com aproximadamente 7 mil m² e 400 m² de área construída, onde estão instalados laboratórios para ensaios de módulos fotovoltaicos, de coletores solares térmicos, inversores e bancadas de diversos experimentos vinculados à energia solar, bem como salas de aulas teóricas e práticas. As principais linhas de pesquisa do LABSOL são: desenvolvimento de metodologias de ensaios de módulos fotovoltaicos, análise de desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, análise de desempenho de coletores e sistemas solares térmicos, desenvolvimento de instrumentação aplicável à energia solar e desenvolvimento de *software* para simulação de sistemas de conversão da energia solar.

Outro importante grupo de pesquisa em energia solar encontra-se na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS. Fundada em 2001, esta foi a primeira universidade brasileira a oferecer um curso de graduação em Engenharia de Energia, na época denominado Engenharia em Energia e Desenvolvimento Sustentável. O Grupo de Pesquisa Radiação Solar e Ciências Atmosféricas tem ampla experiência no mapeamento do potencial solar do Estado, estudos da radiação,

FIGURA 4.4 Lâminas de silício entrando em forno elétrico com tubo de quartzo para difusão de dopantes.



FOTO: BRUNO TODESCHINI/PUCRS.

FIGURA 4.5 Colocação das lâminas de silício em forno de difusão de dopantes.



FOTO: BRUNO TODESCHINI/PUCRS.

FIGURA 4.6 Manuseio de células solares em sala limpa.



FOTO: BRUNO TODESCHINI/PUCRS.

energia solar fotovoltaica e sensoriamento remoto da atmosfera, tendo atuado em trabalhos científicos relacionados ao mapeamento da radiação solar [24], [25], [26].

Em 1997, na Escola de Ciências da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, foi fundado o Núcleo de Tecnologia em Energia Solar - NT-Solar [27], liderado pelos Profs. Adriano Moehlecke e Izete Zanesco. Atualmente, a equipe do NT-Solar atua no desenvolvimento de tecnologias para redução do custo da energia elétrica proveniente da conversão direta da energia solar, atuando na pesquisa e desenvolvimento de células solares de silício, módulos fotovoltaicos e sistemas fotovoltaicos isolados ou interligados à rede elétrica.

O NT-Solar é o único centro de Pesquisa e Desenvolvimento - P&D da América Latina projetado para desenvolver e caracterizar células solares e módulos fotovoltaicos em escala piloto. Instalado em uma área de 950 m², tem seu maior laboratório, com área total de 210 m² de salas limpas classe 10.000 destinado ao desenvolvimento desses componentes. Desde 1997, os líderes do NT-Solar coordenam projetos de P&D com subvenção de órgãos governamentais e empresas do setor de energia, somando uma captação de recursos da ordem de 17 milhões de reais, até 2018.

O Núcleo de Tecnologia em Energia Solar desenvolve tecnologias industriais de fabricação de células solares em lâmi-

nas de silício crescido pelo método Czochralski (Si-Cz), tipo p e tipo n [28]. Um dos projetos bem sucedidos desenvolvidos pelo NT-Solar obteve células solares com 17,3% de eficiência. Uma sequência de fotos da fabricação e caracterização de células solares é apresentada nas Figuras 4.4 a 4.8.

O NT-Solar já solicitou 8 patentes de processos de fabricação de células solares junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI. Apresenta-se nas Figuras 4.9 e 4.10 módulos fotovoltaicos produzidos e instalados em escala piloto na PUCRS.

4.2 TECNOLOGIAS ATUAIS PARA APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR

As tecnologias para o aproveitamento da energia solar estão divididas em dois grandes grupos de acordo com o tipo de energia produzida: elétrica e térmica.

4.2.1 PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O desenvolvimento de novas tecnologias para atender a demanda por energia elétrica foi impulsionado nas últimas décadas pelo crescimento do consumo e pela necessidade de redução do uso de combustíveis fósseis. Dentre as tecnologias para aproveitamento elétrico da radiação solar, a solar fotovoltaica

e a heliotérmica estão entre as mais importantes e já se encontram em fase avançada de implantação comercial.

• TECNOLOGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A tecnologia solar fotovoltaica é a mais difundida atualmente e caracteriza-se pela obtenção da energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico em dispositivos semicondutores, denominados células solares. Atualmente, a maioria das células solares industriais são fabricadas a partir de lâminas de silício cristalino (monocristalino e policristalino). Embora outros materiais tenham sido introduzidos em ambientes industriais nas últimas décadas, nenhum conseguiu substituir o silício, tendo em vista a larga experiência alcançada pela indústria, a obtenção de dispositivos de alta eficiência, a abundância do elemento na Terra, a produção de baixos índices de contaminação no processamento de células solares e a alta durabilidade. Além da tecnologia de silício cristalino, destacam-se as tecnologias de filmes finos, em especial as que utilizam telureto de cádmio - CdTe, disseleneto de cobre/índio e gálio - CIGS e silício amorfo hidrogenado - a-Si:H.

• TIPOS DE INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS

Visando o planejamento de novas instalações, destacam-se aqui os principais critérios de classificação de plantas solares, além dos tipos de módulos:

Escala de potência/capacidade do sistema: com relação à escala das instalações fotovoltaicas, usualmente são distinguidas entre os tipos centralizada e distribuída. Na geração



FOTO: BRUNO TODESCHINI/PUCRS.

FIGURA 4.7 Caracterização elétrica de célula fotovoltaica em simulador solar.

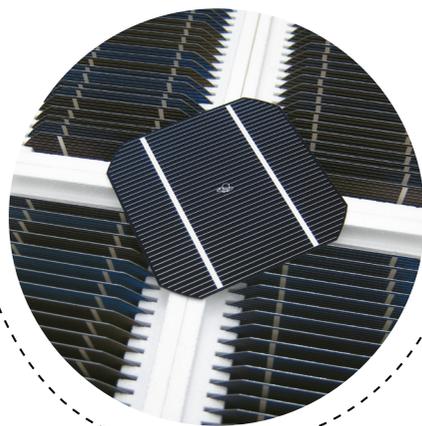


FOTO: DIVULGAÇÃO NT-SOLAR/PUCRS.

FIGURA 4.8 Células solares de silício cristalino fabricadas no NT-Solar/PUCRS em produção piloto.

FIGURA 4.9 Módulos fotovoltaicos fabricados em planta piloto no NT-Solar/PUCRS.



FOTO: DIVULGAÇÃO NT-SOLAR/PUCRS.



FOTO: DIVULGAÇÃO NT-SOLAR/PUCRS.

FIGURA 4.10 Sistema fotovoltaico com módulos desenvolvidos e fabricados na PUCRS. O sistema está em funcionamento desde 2010 no Museu de Ciência e Tecnologia da Universidade.

centralizada, a escala atinge potências da ordem de megawatts. Já no tipo distribuída, a escala é da ordem de kilowatts e as instalações ficam próximas ao ponto de consumo, podendo ser implantadas em zonas urbana, rural ou industrial. A escala industrial, intermediária entre a centralizada e a distribuída, abrange potências da ordem de algumas centenas de kilowatts até vários megawatts.

Tipo de conexão do sistema: um sistema fotovoltaico pode permanecer conectado à rede e às centrais produtoras de energia, tal como normalmente ocorre em centros urbanos e industriais, ou ser isolado (autônomo), como comumente acontece em zonas rurais. Neste caso, a energia produzida pode ser diretamente consumida ou acumulada (em baterias, por exemplo), conforme o projeto do sistema.

Mesmo nos equipamentos projetados para sistemas isolados, normalmente de menor porte, observa-se a tendência para o crescimento da potência nominal com o avanço da tecnologia. Os sistemas de microrredes, em que diferentes pontos de consumo e produção são interconectados para otimizar a eficiência e melhorar o equilíbrio da rede, frequentemente combinam diferentes tipos de fontes de energia, visando

compensar a variabilidade na distribuição da produção e da demanda elétrica.

• **INVERSORES**

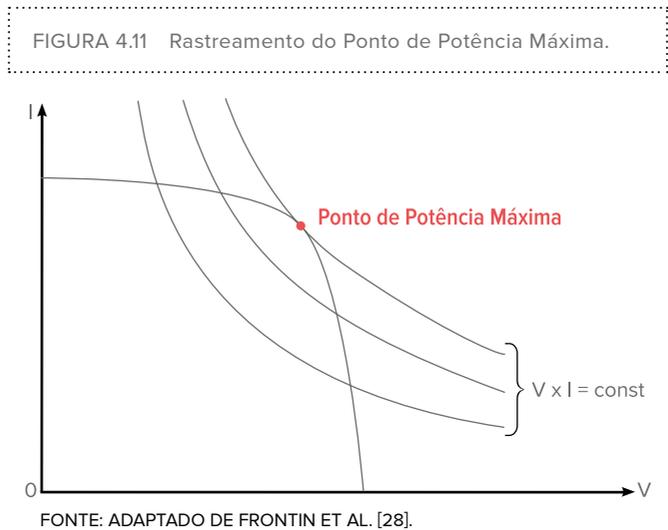
Um ponto crítico na evolução dos sistemas fotovoltaicos é a tecnologia de inversores, componente responsável primordialmente por desempenhar as seguintes funções [29]:

– Conversão da Corrente Contínua - CC gerada pelos módulos fotovoltaicos para Corrente Alternada - CA, compatível com a injeção na rede elétrica;

– Rastreamento do Ponto de Potência Máxima (*Maximum Power Point Tracking* - MPPT) da curva característica de corrente-tensão (*i-V*) (Figura 4.11), através de um transformador *chopper* que calcula a cada instante o par de valores do gerador, mantendo o valor de tensão *V* multiplicado pela corrente *i* no máximo valor possível de potência *P* ($P=V \cdot i$).

– Conexão e desconexão da rede elétrica, quando nela forem detectadas anomalias, visando proteger os painéis e demais instalações, assim como a própria rede.

Ainda, conforme a aplicação desejada, existem diferentes tipos de inversores, sendo eles [30]:



– Inversores *Off Grid*: o termo *off grid* significa que o inversor é desconectado da rede elétrica. Este tipo de equipamento é utilizado em sistemas independentes (isolados) conectados a um banco de baterias como, por exemplo, em estações remotas de transmissão de rádio ou meteorológicas e em moradias afastadas da linha de transmissão elétrica.

– Inversores *Grid Tie* ou *String Inverter*: este modelo é o inversor mais difundido no mercado e funciona integrando um sistema fotovoltaico sem baterias à rede elétrica.

– Microinversores: este tipo de inversor tem o mesmo princípio de funcionamento do inversor *grid tie* ou *string*. Contudo, por ser miniaturizado, ele é ligado individualmente a cada painel fotovoltaico. Dessa forma, a tensão de saída de cada painel é 110/220 V. A vantagem deste inversor é a independência do painel em relação ao sistema, ou seja, quando um dos painéis sofre sombreamento ou algum tipo de problema, a produção de energia dos demais não é prejudicada, aumentando a eficiência global. O microinversor também permite maior modularidade do sistema, possibilitando a adição de painéis fotovoltaicos sem a necessidade de substituição dos inversores.

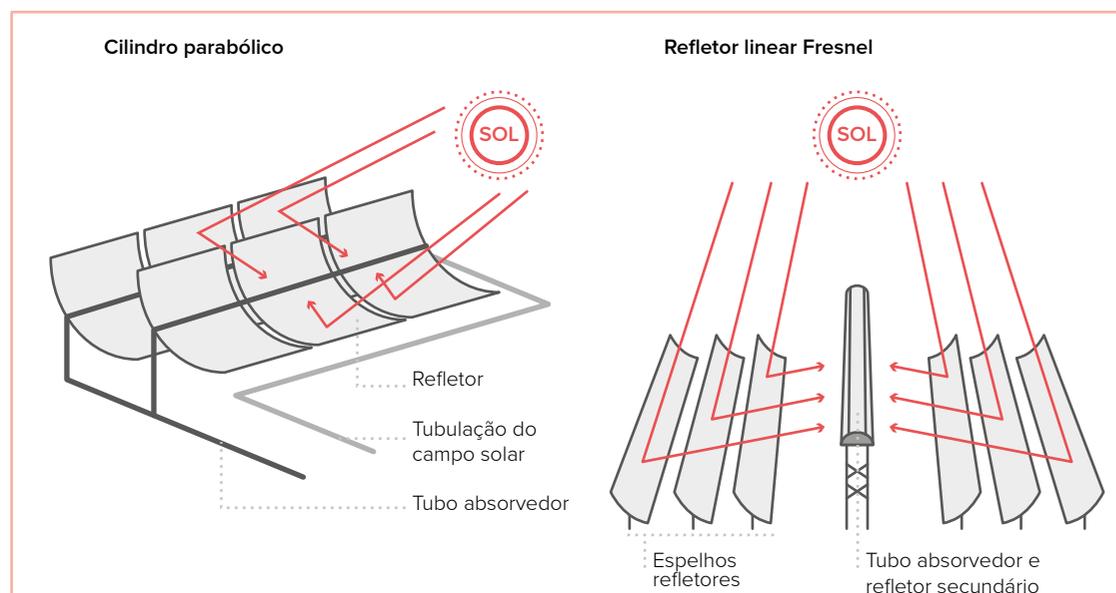
– Inversores Centrais: seu princípio de funcionamento também é similar aos inversores *grid tie* ou *string*. No entanto, são utilizados em centrais geradoras com grande quantidade de painéis, geralmente usinas de geração centralizada, onde a capacidade instalada é da ordem de megawatts.

• **TECNOLOGIA HELIOTÉRMICA**

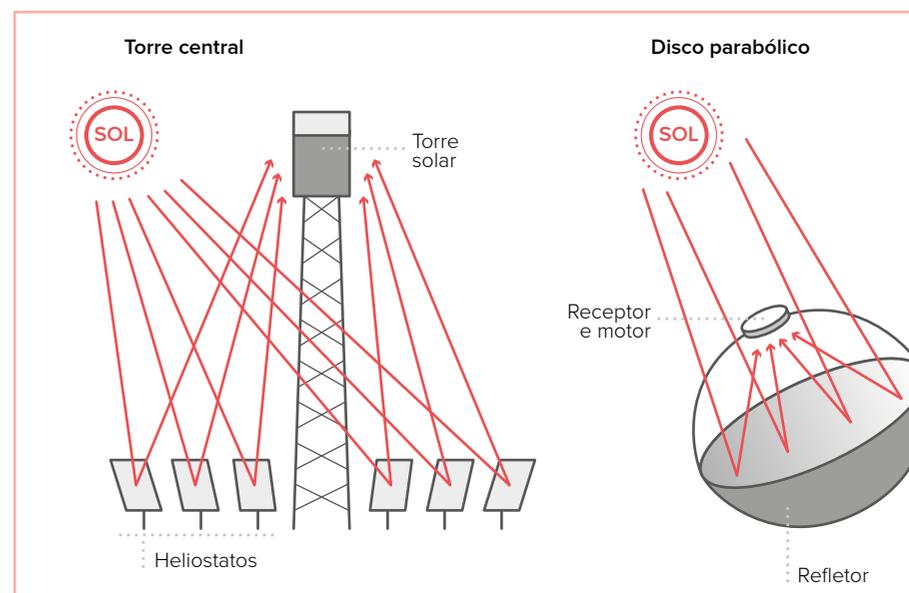
A tecnologia heliotérmica, também conhecida como *Concentrating Solar Power* - CSP, consiste no aproveitamen-

FIGURA 4.12 Principais tecnologias heliotérmicas.

Concentradores lineares



Concentradores pontuais



FONTE: ADAPTADO DE IEA [31].

to solar e na conversão da energia térmica em mecânica, para posterior conversão em energia elétrica. Na primeira etapa, em que ocorre a concentração térmica, um dos aspectos mais críticos é a precisão dos equipamentos, da qual depende a concentração eficiente dos raios solares. Outra característica sensível é o dimensionamento dos fluidos, com o objetivo de equilibrar o rendimento do sistema e os custos. Na segunda etapa, o fluido já aquecido (geralmente acima dos 450 °C) é direcionado para um ciclo termodinâmico, que se comporta tipicamente como a descrição teórica do Ciclo Rankine, ciclo termodinâmico reversível que converte calor em trabalho, em uma turbina. Por fim, estando a turbina acoplada a um gerador, o trabalho é convertido em energia elétrica.

As tecnologias heliotérmicas, já em fase comercial, classificam-se de acordo com a forma de concentração da radiação, que pode ser pontual ou linear. Distinguem-se assim as usinas que utilizam concentradores pontuais (torre central e disco parabólico) das usinas que utilizam coletores lineares (cilindro-parabólicos e refletores lineares Fresnel), como apresentados na Figura 4.12.

Apesar de recentes avanços na redução dos custos da tecnologia heliotérmica, estes ainda se mantêm em patamar ele-

vado, e são uma das principais barreiras a impedir uma maior disseminação da tecnologia. Além dos custos de investimento, operação e manutenção relativamente altos, há ainda restrições na seleção de locais aptos a receber essas usinas, tais como níveis mínimos de irradiação, tipologia do terreno (inclinação, refletividade) e disponibilidade de água para funcionamento e manutenção do sistema.

4.2.2 GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA

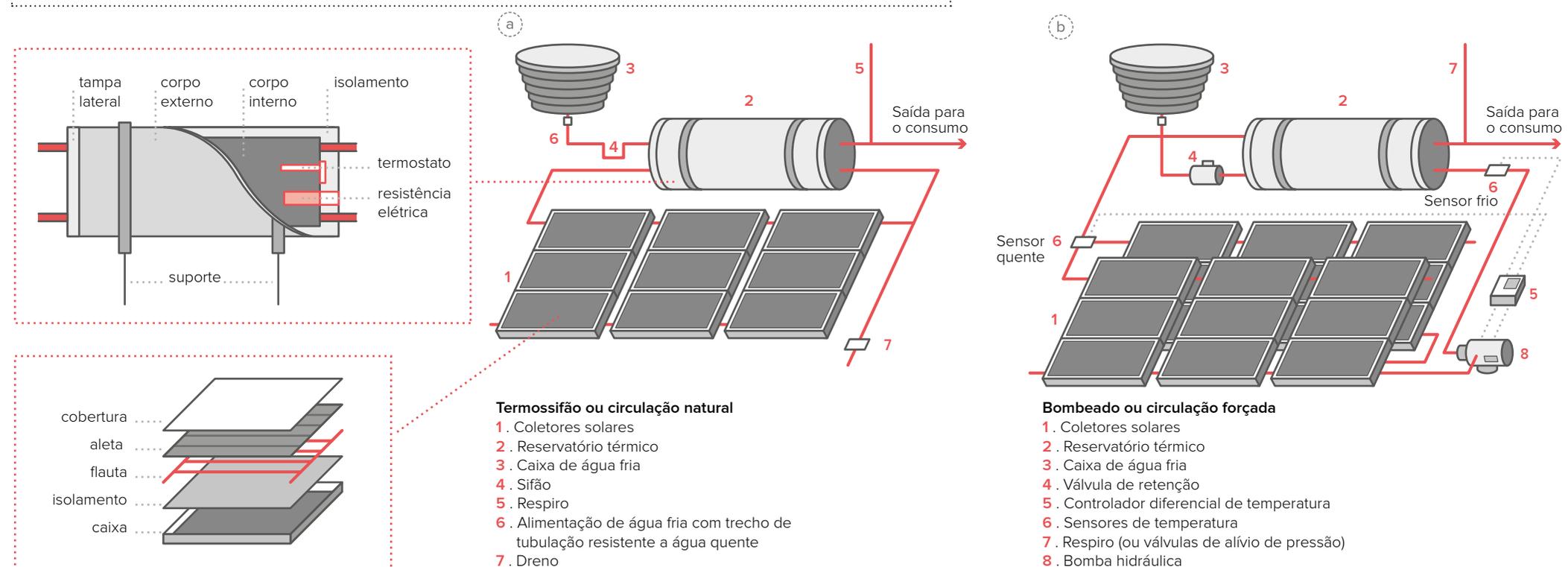
Como visto no item 4.1.1, pode-se afirmar que o aproveitamento da energia térmica do sol é um dos seus usos mais antigos. Na atualidade, o aproveitamento mais difundido é no aquecimento de água para uso residencial e industrial. Os principais modelos de coletores solares térmicos são baseados nos conceitos de tubos a vácuo e de placas solares planas.

Coletores solares a vácuo: os tubos a vácuo contêm em seu interior um condutor por onde passa a água que será aquecida. O vácuo criado entre o vidro e a superfície do condutor interno contribui para a eficiência do sistema, reduzindo as perdas térmicas, sendo indicado para regiões mais frias ou com baixo índice de insolação.

Placas solares planas: tipicamente funcionam por um sistema de termossifão (ou circulação natural), onde os raios solares aquecem a água que circula no interior das placas a qual, posteriormente, é direcionada para o reservatório térmico (*boiler*) devido à diferença de densidade (Figura 4.13a). No entanto, quando não há condições para a instalação de um sistema de circulação natural, não atendendo à diferença mínima de nível entre o *boiler* e as placas, utiliza-se circulação forçada, com o emprego de uma bomba hidráulica e de um dispositivo para controle de temperatura (Figura 4.13b).

Projetos de sistemas de aquecimento solar são amplamente difundidos no Brasil, onde são regulamentados por normativas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, para seu dimensionamento e instalação. Tratam desse assunto a NBR 15569 [32] e a Portaria nº 395 do Instituto Nacional de Metrologia - INMETRO [33].

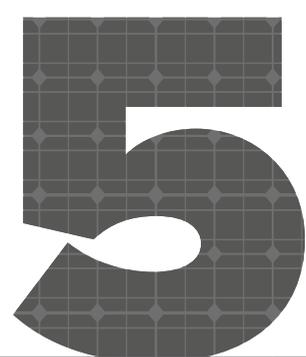
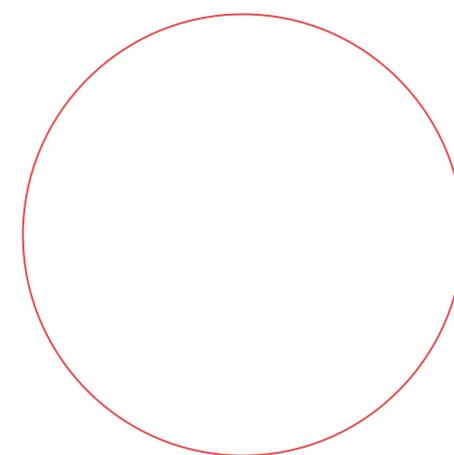
FIGURA 4.13 Sistemas de placas solares planas para aquecimento da água. (a) Circulação Natural e (b) Circulação forçada.



FONTE: ADAPTADO DE PROCOBRE [34].



atlas solar
RiGrande
do Sul



Metodologia



O mapeamento do potencial solar do Rio Grande do Sul foi realizado pela empresa UL TruePower a partir do sistema de modelagem WRF-Solar, o mais avançado no mercado para o mapeamento desse recurso, ajustado e validado com dados solarimétricos provenientes de 33 estações meteorológicas do INMET. O modelo meteorológico utilizado foi o *Weather Research and Forecasting Model* - WRF, adaptado pela UL para a climatologia do Sul do Brasil e processado nos *clusters* de computadores da empresa nos Estados Unidos.

5.1 O MODELO WRF

O mapeamento do Atlas Solar do Rio Grande do Sul empregou o modelo meteorológico de mesoescala WRF versão 3.9.1, com o núcleo *Advanced Research WRF* - ARW. A metodologia utilizada foi semelhante à adotada para o mapeamento eólico do Rio Grande do Sul, de 2014 [1], com configurações específicas e resolução final de 3 km x 3 km. O projeto foi executado pela associação técnica entre as empresas UL Truepower e Camargo-Schubert - C&S.

O modelo WRF foi selecionado devido à sua ampla aceitação e utilização pela comunidade científica e seu estado da arte na previsão numérica do tempo. Idealizado principalmente pelo *National Center for Atmospheric Research* - NCAR dos Estados Unidos [2], trata-se de um modelo compressível e não hidrostático que utiliza malha horizontal do tipo Arakawa C e coordenadas verticais que acompanham o terreno, sendo o limite superior uma superfície de pressão constante.

Para a execução das simulações computacionais de mesoescala, a UL utilizou um centro privado de supercomputação em Albany, NY. Foram utilizados ao todo 73 nós de 4 processadores cada um, totalizando 292 processadores, para simular um ano aleatório, representativo de um período de longo prazo de 15 anos. As simulações foram processadas durante os meses de junho a agosto de 2018.

Para o desenvolvimento do Atlas, foi aplicada uma configuração específica no modelo WRF, própria para a previsão meteorológica solar, chamada WRF-Solar. Esta configuração permite aperfeiçoar a representação da interação do sistema nuvem-aerossol-radiação no modelo [3]. Outras melhorias incluem novas parametrizações de aerossóis e um algoritmo de rápida transferência radiativa, o qual permite obter a radiação solar com alta resolução temporal e baixo custo computacional. Diversos trabalhos ressaltam os benefícios destes aperfeiçoamentos na previsão solar, reduzindo erros nas simulações com céu claro, onde se torna primordial aferir devidamente os impactos dos aerossóis [3]. Ainda, uma das novidades que aumenta a importância desta ferramenta para a indústria solar é a possibilidade de extrair diretamente dos resultados as componentes de radiação direta e difusa.

As condições iniciais e de contorno da simulação foram obtidas do modelo de reanálise global ERA-Interim, de 80 km de resolução espacial e 60 níveis verticais, disponibilizadas pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* - ECMWF [4]. O WRF-Solar foi configurado com três domínios aninhados, de 27 km, 9 km e 3 km de resolução horizontal. A escala de interesse para a realização do presente mapeamento corresponde à de menor tamanho de malha e, conseqüentemente, maior resolução espacial, com uma grade horizontal de 3 km x 3 km e 40 níveis verticais. A Tabela 5.1 indica as principais características dos domínios da simulação.

TABELA 5.1 Domínios da simulação e características.

DOMÍNIO	RESOLUÇÃO [km ²]	PONTOS DE MALHA	TAMANHO [km ²]
D01	27 x 27	78 x 76	2.106 x 2.052
D02	9 x 9	118 x 112	1.062 x 1.008
D03	3 x 3	268 x 268	858 x 804

No que concerne às opções físicas da simulação, foram empregados os esquemas de parametrizações apresentados na Tabela 5.2. Não foi considerada nenhuma parametrização de cúmulos para os dois domínios internos (D02 e D03), seguindo as recomendações do modelo de não utilizar esquemas de convecção para domínios inferiores a 10 km de resolução espacial.

TABELA 5.2 Modelos de parametrização empregados na simulação com WRF-Solar.

OPÇÃO FÍSICA	CONFIGURAÇÃO OU ESQUEMA DE PARAMETRIZAÇÃO
Camada Superficial – SL	<i>Mellor–Yamada Nakanishi Niino – MYNN [5] Level 2.5 Schemes</i>
Radiação Térmica – LW	<i>Rapid Radiative Transfer Model – RRTM [6]</i>
Radiação Solar – SW	<i>Dudhia [7]</i>
Microfísica – MP	<i>WRF Single-moment 5-class – WSM5 [8]</i>
Superfície do Solo – LSM	<i>Unified Noah Land Surface Model [9]</i>
Camada Limite Planetária – PBL	<i>Mellor–Yamada Nakanishi Niino – MYNN [5] Level 2.5 Schemes</i>
Cúmulos – CP	<i>Kain-Fritsch Eta Scheme [10]</i>

5.2 MEDIÇÕES SOLARIMÉTRICAS

Com a finalidade de ajustar ou validar os valores estimados pelo modelo meteorológico WRF, inicialmente foram considerados dados provenientes de 38 estações meteorológicas da rede pública do INMET localizadas no Rio Grande do Sul [11].

Pesquisou-se um conjunto de dados de medições da melhor qualidade possível e representativas a longo prazo, selecionando-se as séries com poucas falhas e pertinentes a períodos de vários anos.

O INMET, órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, é responsável pelo fornecimento das informações meteorológicas através do monitoramento, análise e previsão do tempo e do clima. O Instituto garante a distribuição de dados observacionais obtidos por uma rede de mais de 500 estações meteorológicas distribuídas por todo o país.

A Rede de estações do INMET dispõe de estações automáticas, convencionais e de radiossonda. Para este estudo especificamente, foram considerados os dados horários registrados pelas Estações Meteorológicas Automáticas - EMA, desde 2001 até 2017. As EMAs são compostas por um *datalogger* conectado a sensores ambientais, o qual registra valores de minuto em minuto de diferentes parâmetros meteorológicos, tais como pressão atmosférica, temperatura, umidade relativa, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, entre outros. A cada hora, os valores registrados são integrados e transmitidos ao centro de processamento do INMET. Os principais equipamentos utilizados em uma estação típica da rede EMA estão relacionados na Tabela 5.3.

TABELA 5.3 Principais equipamentos utilizados em uma estação típica da rede EMA do INMET.

EQUIPAMENTO	VARIÁVEL MEDIDA	MODELO	FABRICANTE
<i>Datalogger</i>	-	MAWS301	Vaisala
Piranômetro	irradiância solar	CM 6B*	Kipp & Zonen
Anemômetros	velocidade do vento	WAA151	Vaisala
Sensor de direção <i>wind vane</i>	direção do vento	WAV151	Vaisala
Sensor de temperatura	temperatura	GMT102	Vaisala

* CLASSIFICAÇÃO ISO 9060 DA SECONDARY STANDARD. FONTE: INMET [11].

Seguindo diretrizes técnicas, as estações EMA são instaladas em áreas livres de obstruções naturais ou construções, ocupando área mínima de 14 m x 18 m. A estação meteorológica de Porto Alegre, que reúne no mesmo espaço uma EMA e uma estação convencional, é apresentada na Figura 5.1a. Os detalhes do piranômetro e do pluviômetro são apresentados na Figura 5.1b. A manutenção da rede de estações ocorre mensalmente. O INMET adota, há mais de 10 anos, o Sistema de Qualidade ISO 9001 para auxiliar no acompanhamento e nos processos de manutenção [12].

FIGURA 5.1 (a) Configuração típica de uma estação EMA, em Porto Alegre. (b) Detalhe do piranômetro e do pluviômetro, instalados no padrão WMO.

No Rio Grande do Sul, existem atualmente 44 estações meteorológicas de observação do tipo EMA do INMET, em operação [11]. Destas, 33 foram selecionadas para fornecer os dados utilizados na elaboração deste Atlas Solar. O principal critério aplicado na seleção foi a taxa de disponibilidade das séries de dados para garantir a consistência na representação do perfil de radiação em cada um dos locais analisados. A localização das estações consideradas no estudo é apresentada no Mapa 5.1. Ressalta-se que nem todas as estações meteorológicas estão instaladas em sedes municipais, algumas estão em fazendas ou campos experimentais, em zonas rurais.



FOTO: RAMON F.



FOTO: RAMON F.



-  Estações INMET validadas
-  Estações INMET não utilizadas
-  Corpos de água
-  Rios
-  Divisas estaduais e federais



Os valores médios anuais da radiação diária das estações EMA validados neste estudo encontram-se na Tabela 5.4. Nela são apresentadas valores oriundos de diferentes períodos e metodologias de tratamentos de dados: INMET EMA - UERGS e INMET EMA - C&S. Os dados INMET EMA - UERGS foram compilados e tratados pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul para o mapeamento da radiação solar do estado [12] [13], e posteriormente utilizados neste Atlas para o ajuste do viés do modelo WRF. Paralelamente, com o objetivo de obter os valores horários de radiação e temperatura necessários ao cálculo da produtividade fotovoltaica, a Camargo-Schubert processou todo o conjunto de dados INMET EMA - C&S disponíveis até março de 2017.

Para o cálculo das médias anuais INMET EMA - C&S, foram empregados algoritmos de identificação de falhas, não conformidades e medidas corretivas, quando aplicáveis. Destaca-se aqui a exclusão das medições de radiação das estações do Chuí (Santa Vitória do Palmar) e de Santana do Livramento, por apresentarem inconsistências nas medidas, valores falhos ou mudanças na localização das estações. Apesar de algumas estações apresentadas na Tabela 5.4 possuírem um alto percentual de dados inválidos, apresentam, em contrapartida, considerável número de horas de medição válidas registradas por longos períodos, p. ex. Santo Augusto e Rio Grande.

A maioria das estações apresentou cerca de 10 anos de dados válidos. Ressalte-se que para a medição da radiação solar pode haver, no máximo, 14 h de medições em um dia, enquanto, para outras variáveis, as medições são registradas 24 horas ao dia, continuamente. Quanto à localização no Estado, as estações encontram-se bem distribuídas ao longo do território, dispostas a uma distância média de 43 km uma da outra, sendo 143 km a maior distância entre duas estações.

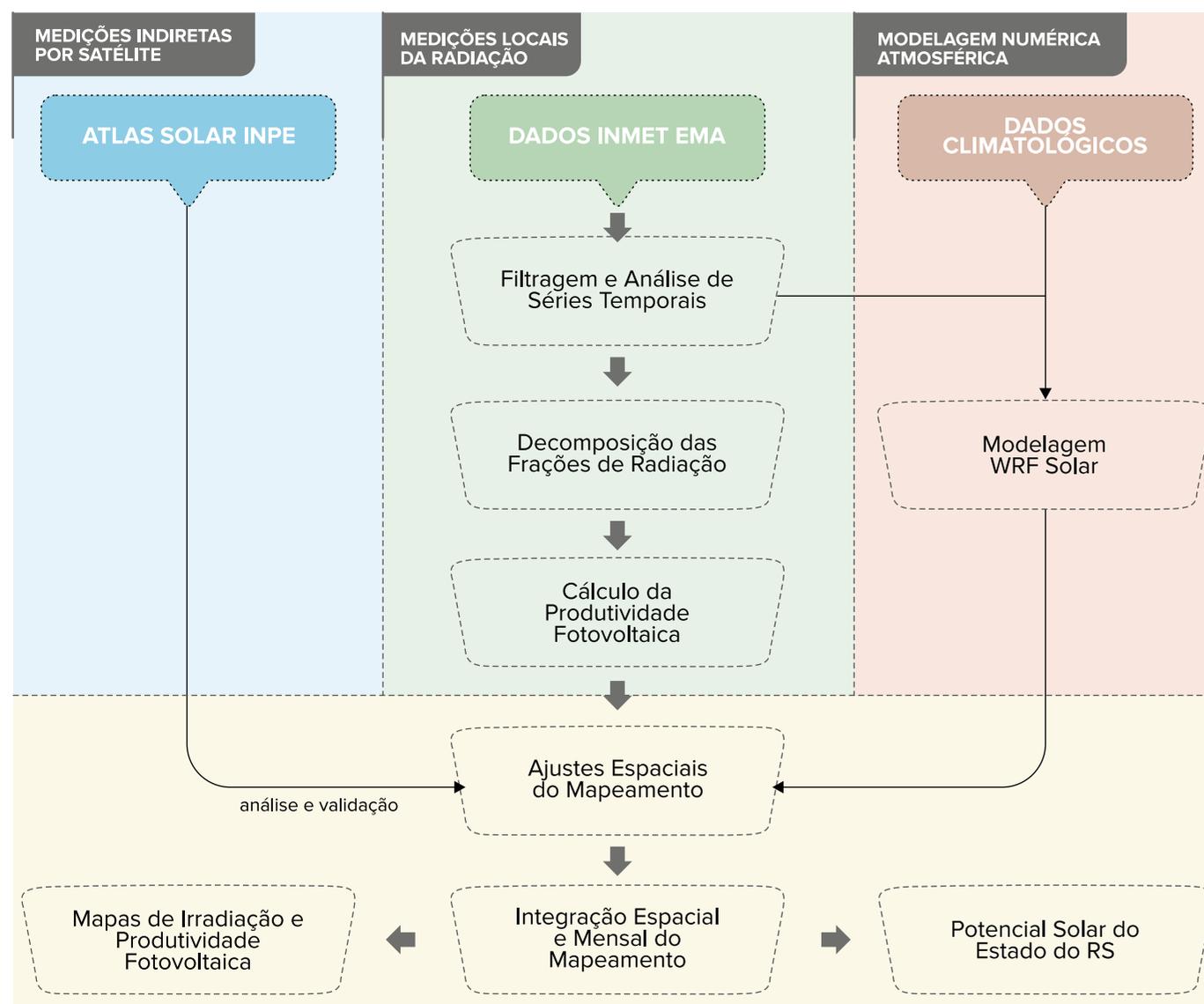
Além dos dados do INMET, foram utilizados, para validação e interpretação dos resultados, os dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar disponibilizados pelo INPE [17] e os dados de Reanálise MERRA2 [18]. O fluxograma simplificado da metodologia aplicada neste Atlas é apresentado na Figura 5.2.

TABELA 5.4 Resumo das médias anuais e disponibilidade das estações EMA validadas.

Nome da Estação	Latitude [°]	Longitude [°]	Altitude [m]	Percentual de dados inválidos INMET EMA até março 2017 [%]	Horas de medição válidas INMET EMA até março 2017 [horas]	ESCALA LOCAL		ESCALA REGIONAL		ESCALA GLOBAL
						INMET EMA – C&S* até março 2017 (medição)*** [kWh/m ² /dia]	INMET EMA – UERGS** até dezembro 2015 (medição)*** [kWh/m ² /dia]	Modelo WRF Solar 3 x 3 km (sintético)*** [kWh/m ² /dia]	Atlas Brasileiro INPE 2017 10 x 10 km (sintético)*** [kWh/m ² /dia]	DADOS DE REANÁLISE MERRA2 20 anos [0,5° x 0,625°] (sintético)*** [kWh/m ² /dia]
Alegrete	-29,70908	-55,52548	121	9,20	53732	4,894	4,982 (1,80%)	4,828 (-1,35%)	4,744 (-3,06%)	5,283 (7,95%)
Bagé	-31,34780	-54,01330	230	5,70	52360	4,846	4,927 (1,66%)	4,662 (-3,80%)	4,519 (-6,76%)	5,134 (5,94%)
Bento Gonçalves	-29,16720	-51,53470	640	5,25	52836	4,511	4,544 (0,73%)	4,560 (1,10%)	4,423 (-1,95%)	5,131 (13,75%)
Caçapava do Sul	-30,54770	-53,46750	45	4,31	55104	4,676	4,767 (1,94%)	4,702 (0,56%)	4,513 (-3,49%)	5,208 (11,37%)
Camaquã	-30,81060	-51,83470	108	5,16	52682	4,177	4,214 (0,89%)	4,308 (3,15%)	4,281 (2,50%)	5,163 (23,61%)
Canela	-29,36880	-50,82740	830	2,28	44002	4,352	4,388 (0,82%)	4,352 (-0,00%)	4,305 (-1,08%)	5,039 (15,78%)
Canguçu	-31,40580	-52,70110	464	6,25	52080	4,335	4,360 (0,59%)	4,488 (3,54%)	4,333 (-0,03%)	5,123 (18,19%)
Cruz Alta	-28,60300	-53,67360	432	12,98	50302	4,760	4,814 (1,13%)	4,732 (-0,60%)	4,604 (-3,28%)	5,308 (11,51%)
Dom Pedrito	-30,99250	-54,81530	170	8,69	35490	4,866	5,042 (3,61%)	4,742 (-2,56%)	4,625 (-4,95%)	5,247 (7,82%)
Erechim	-27,66030	-52,30640	765	5,96	52920	4,760	4,780 (0,41%)	4,721 (-0,83%)	4,581 (-3,76%)	5,329 (11,94%)
Frederico Westphalen	-27,39560	-53,42940	490	2,62	47544	4,669	4,728 (1,26%)	4,874 (4,37%)	4,648 (-0,46%)	5,311 (13,74%)
Jaguarão	-32,55420	-53,37640	47	7,04	52290	4,424	4,500 (1,72%)	4,300 (-2,80%)	4,428 (0,09%)	5,137 (16,12%)
Lagoa Vermelha	-28,22190	-51,51220	842	4,83	51562	4,684	4,676 (-0,18%)	4,767 (1,77%)	4,506 (-3,81%)	5,282 (12,76%)
Mostardas	-31,24780	-50,90570	10	6,80	46312	4,781	4,868 (1,83%)	4,249 (-11,11%)	4,403 (-7,91%)	5,140 (7,52%)
Palmeira das Missões	-27,91990	-53,31740	642	9,16	46508	4,671	4,748 (1,64%)	4,836 (3,53%)	4,632 (-0,85%)	5,321 (13,91%)
Passo Fundo	-28,22940	-52,40390	684	6,38	52892	4,617	4,678 (1,33%)	4,761 (3,12%)	4,548 (-1,50%)	5,285 (14,47%)
Porto Alegre	-30,05000	-51,16660	47	5,93	84490	4,279	4,228 (-1,19%)	4,500 (5,15%)	4,396 (2,73%)	5,067 (18,41%)
Quaraí	-30,36860	-56,43720	124	4,43	48356	4,849	4,925 (1,57%)	4,938 (1,84%)	4,792 (-1,16%)	5,273 (8,75%)
Rio Grande	-32,07890	-52,16780	2	28,83	78610	4,419	4,373 (-1,04%)	4,146 (-6,19%)	4,371 (-1,09%)	5,134 (16,18%)
Rio Pardo	-29,87330	-52,38250	111	6,16	53690	4,447	4,489 (0,94%)	4,498 (1,14%)	4,406 (-0,92%)	5,129 (15,33%)
Santa Maria	-29,72496	-53,72047	95	5,29	78470	4,385	4,461 (1,72%)	4,609 (5,09%)	4,488 (2,35%)	5,134 (17,07%)
Santa Rosa	-27,89010	-54,47970	276	12,99	53060	4,765	4,823 (1,21%)	4,919 (3,23%)	4,679 (-1,81%)	5,329 (11,83%)
Santiago	-29,19140	-54,88560	394	6,16	41692	4,829	4,965 (2,81%)	4,889 (1,24%)	4,689 (-2,90%)	5,283 (9,40%)
Santo Augusto	-27,85000	-53,78330	550	31,72	78344	4,573	4,606 (0,72%)	4,842 (5,88%)	4,652 (1,73%)	5,338 (16,72%)
São Borja	-28,64940	-56,01560	83	7,38	49588	4,896	5,007 (2,26%)	4,947 (1,04%)	4,769 (-2,60%)	5,310 (8,45%)
São Gabriel	-30,34140	-54,31080	126	7,34	49728	4,687	4,811 (2,65%)	4,756 (1,47%)	4,622 (-1,38%)	5,216 (11,29%)
São José dos Ausentes	-28,75140	-50,05830	1244	6,38	53340	4,550	4,544 (-0,12%)	4,512 (-0,83%)	4,398 (-3,32%)	5,189 (14,06%)
São Luiz Gonzaga	-28,41720	-54,96250	245	10,61	49532	4,938	5,039 (2,04%)	4,922 (-0,33%)	4,702 (-4,77%)	5,294 (7,21%)
Soledade	-28,85360	-52,54170	667	7,64	46452	4,652	4,749 (2,08%)	4,718 (1,42%)	4,548 (-2,24%)	5,201 (11,80%)
Torres	-29,35030	-49,73310	4,5	8,27	55398	4,474	4,501 (0,60%)	4,283 (-4,27%)	4,285 (-4,24%)	5,177 (15,70%)
Tramandaí	-30,00970	-50,13530	1	4,49	46340	4,549	4,606 (1,26%)	4,239 (-6,82%)	4,388 (-3,54%)	5,110 (12,34%)
Uruguaiana	-29,84250	-57,08250	62	9,96	53732	4,959	5,006 (0,95%)	5,035 (1,54%)	4,833 (-2,54%)	5,313 (7,14%)
Vacaria	-28,51360	-50,88280	986	4,15	45668	4,518	4,396 (-2,70%)	4,639 (2,67%)	4,441 (-1,71%)	5,140 (13,76%)
RMSPE a partir da referência:						Referência	1,63%	3,67%	3,14%	13,37%

* DADOS DISPONIBILIZADOS PELA SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA, ORIUNDOS DO INMET E PROCESSADOS PELA CAMARGO-SCHUBERT. ** DADOS PROCESSADOS PELO GRUPO DE PESQUISA EM RADIAÇÃO SOLAR E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UERGS. *** MEDIÇÃO REFERE-SE A DADOS OBSERVACIONAIS COM PIRANÔMETRO. SINTÉTICOS ENGLOBALAM DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE MODELAGEM NUMÉRICA DA ATMOSFERA OU MEDIDAS INDIRETAS DA RADIAÇÃO POR MEIO DE SENSORES ORBITAIS A BORDO DE SATÉLITES.

FIGURA 5.2 Fluxograma da metodologia para elaboração dos mapas solares e cálculo da produtividade.



5.3 VALIDAÇÃO DOS MAPAS E INCERTEZAS

O mapeamento da radiação solar utilizando modelos de mesoescala permite caracterizar a distribuição espacial qualitativa do recurso. Porém, para obter os melhores resultados quantitativos, é necessário ajustar os mapas a partir das medições de radiação em superfície. Conforme descrito no Item 5.2, os mapas solares finais foram ajustados com base nos resultados das medições das estações INMET EMA selecionadas.

O ajuste consiste na correção do *bias* da modelagem, considerando-se a diferença entre o valor estimado pelo modelo no

ponto da estação e o valor da radiação de longo prazo medida na estação. O valor médio da diferença é o *bias* a corrigir. Após essa correção do *bias*, as diferenças nos pontos das estações do INMET, para a Irradiação Global Horizontal, resultaram nos valores apresentados na Tabela 5.4.

A Tabela 5.4 também permite a visualização da comparação entre os valores medidos pelas estações do INMET, mapas WRF, mapeamento por satélite (INPE) e dados de reanálise (MERRA2). É apresentado o valor médio anual da irradiação diária estimado para cada tipo de metodologia. A diferença percentual dos dados com a referência adotada (INMET EMA - C&S) é exibida entre parênteses. Naturalmente, cada metodologia de mapeamento apresenta diferenças em função das

limitações e restrições do processo de modelagem. Mesmo o processamento dos dados meteorológicos pode gerar divergências quando utilizadas diferentes metodologias, pois as estações apresentam períodos de medição variáveis, e pode haver distintos critérios de detecção de valores atípicos, inválidos, e preenchimento de falhas.

Quando são comparados o modelo físico baseado em medições por meio de instrumentos a bordo de satélites (Atlas Brasileiro de Energia Solar - INPE) com os resultados das medições do INMET, observam-se divergências mais significativas em abril e setembro, coincidindo com os meses em que o processo de modelagem de aerossóis na atmosfera é mais crítico. Quando comparadas as médias anuais, o erro médio é da ordem de 3%, demonstrando coerência com a medição nessa escala temporal. Na análise comparativa dos dados do modelo de reanálise global (MERRA2), observa-se superestimação sistemática dos valores, atribuída às parametrizações do modelo climatológico e à baixa resolução espacial ($0,5^\circ \times 0,66^\circ$). Mesmo assim, esses dados são utilizados em estudos globais [19] e permitem análises dos impactos da variabilidade climática da radiação.

Por fim, os valores obtidos da modelagem com o WRF-Solar apresentam a raiz do erro médio quadrático percentual (*Root Mean Square Percentage Error - RMPSE*) de 3,67% quando comparados às medições locais. Considera-se, portanto, consistente a estimativa nos pontos onde os valores foram integrados espacialmente, isto é, aqueles onde não há medições. No caso do modelo WRF, essa integração teve resolução espacial de 3×3 km, enquanto no Atlas Brasileiro do INPE, de 10×10 km. Destaca-se a estação de Mostardas, a qual apresentou maior divergência entre os dados observados e os sintéticos (INPE e WRF). Esta estação está localizada a menos de 300 metros da linha da costa, numa região de dunas, isto é, de transição geográfica. Tais zonas normalmente apresentam características climáticas difíceis de serem reproduzidas em modelos numéricos com baixa resolução espacial. Ressalta-se, portanto, a importância das medições em locais onde há grande variação de albedo, como é o caso da faixa litorânea e de entornos de grandes corpos d'água.

Normalmente, modelos numéricos atmosféricos apresentam os maiores erros sobre relevos complexos ou locais de escala micrometeorológica relevante. Sobre esses lugares, as modelagens apontam para limitações e dificuldades inerentes, que poderiam ser corrigidas com a coleta adicional de dados experimentais *in situ*, para auxílio na parametrização. Quanto maior a quantidade de dados meteorológicos de qualidade, maior a exatidão da modelagem. Salienta-se, por fim, que a validação de modelos é um processo significativamente mais complexo que a simples análise de erros sobre pontos de estações meteorológicas, pois deve considerar também aspectos

temporais e espaciais próprios desses locais. Apesar da incerteza intrínseca associada, de modo geral, os modelos numéricos de simulação atmosférica são muito importantes por fornecer estimativas da radiação solar em locais sem medições.

5.3.1 ETAPAS DE PROCESSAMENTO DAS ESTAÇÕES INMET EMA E CÁLCULO DA PRODUTIVIDADE

O procedimento para o cálculo das frações de radiação direta, difusa e refletida, bem como da produtividade fotovoltaica seguiu a metodologia descrita no edital de contratação do Atlas Solar do Rio Grande do Sul [20], do qual as etapas de cálculo especificadas são reproduzidas no Apêndice A. A primeira análise envolveu o processamento de séries temporais de dados de cada estação EMA do INMET. Os dados foram inspecionados visualmente e analiticamente para eliminação de valores atípicos e inválidos e para a correção temporal do horário. Na etapa seguinte, para cada estação meteorológica foram compiladas as séries temporais de dados horários válidos de irradiação, temperatura e velocidade do vento. O cálculo das frações de radiação direta e difusa foi realizado de acordo com o modelo proposto por Erbs et al. [21] e o cálculo da radiação no plano inclinado, segundo o modelo de Perez et al. [22]. A produtividade fotovoltaica foi então calculada em escala horária para cada valor válido. Como o objetivo era obter valores mensais médios de longo prazo de radiação (e de produtividade), optou-se pela não interpolação bem como pelo não preenchimento de dados inválidos, procedimentos estes que poderiam gerar tendências equivocadas na série temporal.

O cálculo da energia elétrica horária injetada na rede utilizou a metodologia desenvolvida no Laboratório de Energia Solar da UFRGS [23] (ver descrição completa no Apêndice A). A equação é expressa como:

$$E_{INJ} = P_{STD} \left[\frac{I_{b\beta} F_{\theta} + I_{d\beta}}{1000} \right] F_G F_T F_{SIST} \eta_{CCCA} \eta_{SPMP}$$

Em que: E_{INJ} é a energia elétrica injetada na rede, na hora considerada, em Wh; P_{STD} é a potência nominal do arranjo fotovoltaico (nas condições padrão), em Wh; $I_{b\beta}$ é a irradiação direta sobre superfície inclinada na hora considerada, em Wh/m²; $I_{d\beta}$ é a irradiação difusa sobre superfície inclinada na hora considerada, incluindo a radiação refletida pelo solo, em Wh/m²; F_{θ} é o fator de correção da variação da potência exclusivamente em função do ângulo de incidência da radiação solar direta (dado pela relação entre a refletividade de apenas uma interface do vidro no ângulo de incidência da radiação direta e a refletividade do vidro com incidência normal); F_G é o fator de correção da variação da potência exclusivamente em função do fluxo de radiação solar incidente; F_T é o fator de correção da variação da potência exclusivamente em função da temperatura da célula;

F_{SIST} é o fator de correção da produção de energia em função das perdas do sistema (envolvem perdas por descasamento entre as potências dos módulos e perdas nas conexões elétricas e cabeamentos); η_{CCCA} é a eficiência de conversão de corrente contínua a alternada do inversor e η_{SPMP} é a eficiência do seguimento do ponto de máxima potência do inversor. Os cálculos desses fatores são também apresentados no Apêndice A.

O cálculo da energia injetada foi realizado para cada série temporal das 33 estações meteorológicas utilizadas, nas inclinações de 20° e 45°. A partir do cálculo da irradiação no plano inclinado e produtividade fotovoltaica, foi realizada a espacialização desses valores com base nos mapas mensais de Irradiação Global Horizontal oriundos do WRF. Para cada coordenada da estação meteorológica foi calculado um fator de ajuste entre os valores médios mensais da série temporal INMET EMA e do modelo WRF, ajustando os mapas em cada coordenada da estação. A partir dos dados mensais de Irradiação Global Horizontal foi realizada uma regressão polinomial de segundo grau para cada mês, com os valores de irradiação no plano inclinado e produtividade calculados da série INMET EMA. Os coeficientes da regressão foram aplicados aos mapas de Irradiação Global Horizontal gerando os mapas de irra-

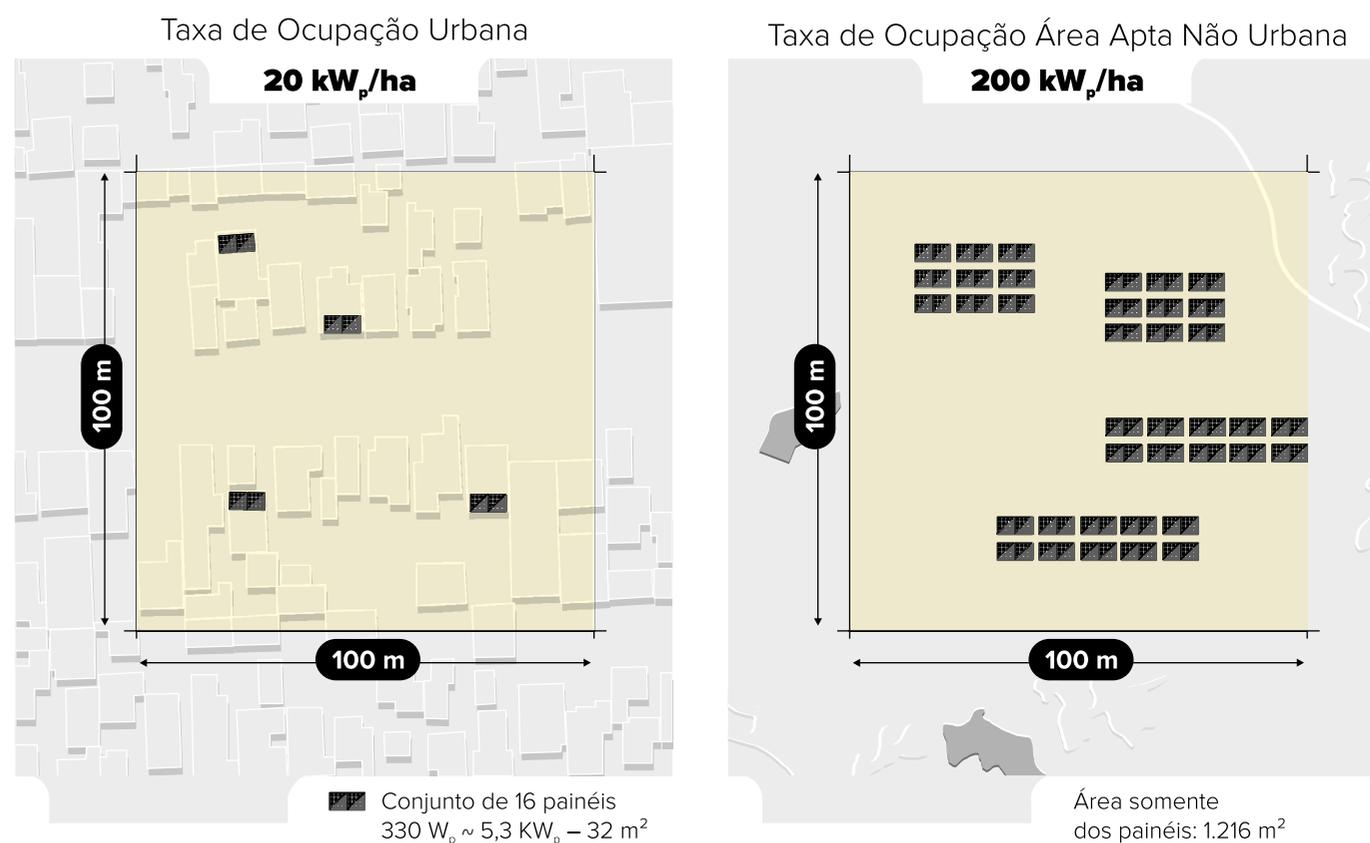
diância no plano inclinado e produtividade fotovoltaica. Todos os ajustes espaciais gerados das séries INMET EMA e mapas do WRF foram realizados pelo método de krigagem simples.

O cálculo da incerteza da produtividade fotovoltaica não foi considerado no Atlas, pois dependeria também de parâmetros específicos de cada projeto, fora do escopo deste trabalho. Em geral, a incerteza do mapeamento está na ordem de 5% a 17%, dentro da qual as incertezas de simulação de energia variam entre 3% a 5%, as incertezas de modelagem da irradiância no plano inclinado entre 0,5% a 2% e as incertezas da degradação anual dos módulos entre 0,1% a 1% [24].

5.4 DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS APTAS E CÁLCULO DE PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA

Na consolidação dos resultados, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento para delimitar as áreas aptas para instalação de projetos fotovoltaicos. Foi então elaborado um mapa de áreas aptas, resultante da combinação dos mapas das classes de uso e

FIGURA 5.3 Conceito de taxa de ocupação urbana e não urbana.



cobertura do solo do projeto MapBiomas Coleção 3.0 [25], disponibilizados em setembro de 2018 com resolução espacial de 30 metros, com os mapas de declividade baseados nos dados de topografia SRTM [26], de 30 metros de resolução espacial. As áreas aptas foram calculadas a partir da exclusão das áreas agrícolas, áreas de pastagens não naturais, florestas e formações florestais naturais e plantadas, mata ciliar, áreas alagáveis, citriculturas, corpos d'água, açudes, rios, e áreas de declividade maior que 5%, bem como terrenos com face voltada para o Sul. Foram também excluídas as áreas protegidas (áreas de proteção integral, áreas indígenas, assentamentos agrícolas e terras quilombolas).

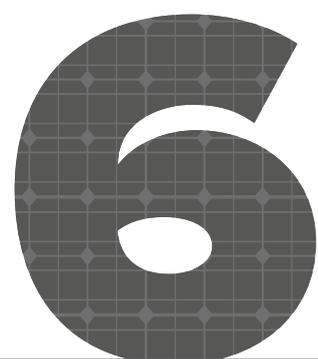
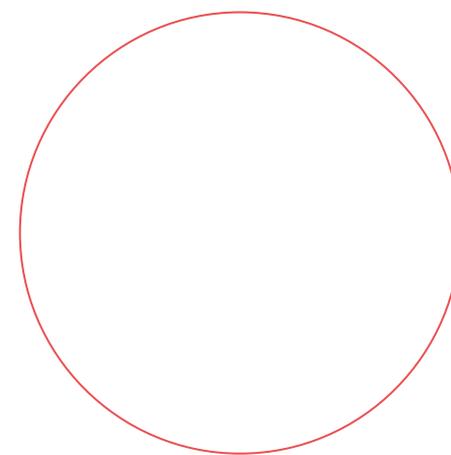
Os mapas de produtividade foram reamostrados para resolução espacial de 30 metros para integração aos mapas de áreas aptas. Também foi integrada, separadamente, a produtividade nas áreas aptas urbanas, representando todos os aglomerados urbanos edificados no Estado. Dentro das áreas urbanas, foram excluídos os grandes parques urbanos, os corpos d'água, todas as áreas com declividade maior que 5% e todos os terrenos inclinados com a face orientada para o Sul.

A apresentação dos resultados da integração do potencial fotovoltaico foi detalhada com base na delimitação das áreas dos agentes de distribuição de energia e os limites das microrregiões, mesorregiões e municípios disponibilizados pelo IBGE. No cálculo da energia efetiva anual, adotou-se o conceito de taxa de ocupação, que é a quantidade média teórica de potência instalável por unidade de área. O conceito de taxa de ocupação é ilustrado na Figura 5.3, considerando a unidade de hectare [ha]. Para o presente trabalho, considerou-se a taxa de ocupação de $200 \text{ kW}_p/\text{ha}$ (ou $20 \text{ MW}_p/\text{km}^2$) para projetos de grande porte, de energia centralizada, em áreas não urbanas, e de $20 \text{ kW}_p/\text{ha}$ (ou $2 \text{ MW}_p/\text{km}^2$) para projetos de energia distribuída, em áreas urbanas. A taxa de ocupação nas áreas aptas urbanas foi estimada com base na instalação média residencial de $5,68 \text{ kW}_p$, que é a média das 3200 instalações residenciais no estado até agosto de 2018 [27], e a potência média por área de um painel comercialmente disponível de $165 \text{ W}_p/\text{m}^2$.

O conceito de taxa de ocupação é uma importante métrica para avaliar espacialmente o potencial fotovoltaico e a geração de energia a partir de um mapeamento solar. A taxa de ocupação não significa área efetiva de painéis, e sim a área onde será instalado todo o projeto, já considerando áreas de reservas ambientais, espaçamentos entre as fileiras e espaços para infraestrutura do projeto.

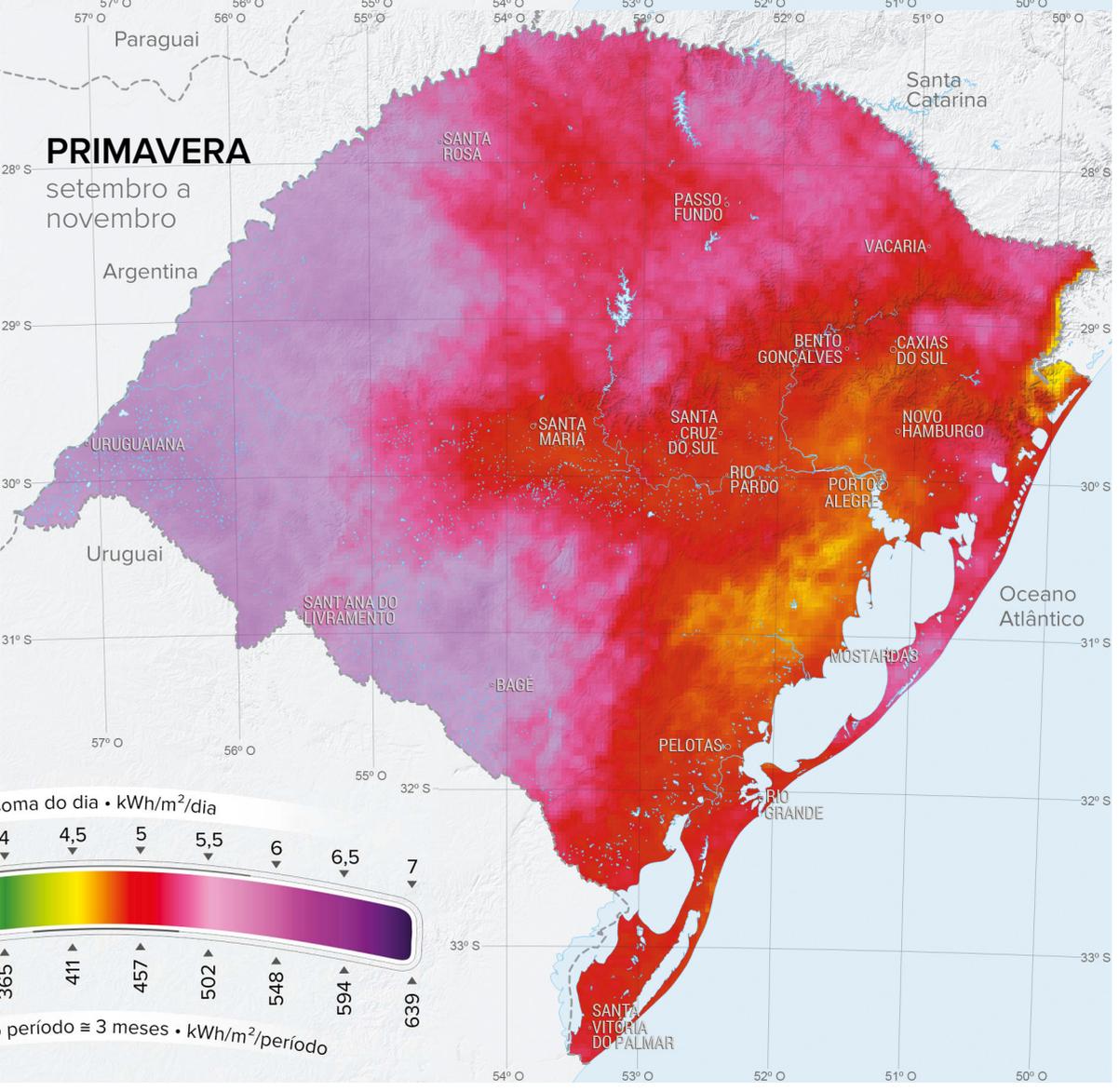
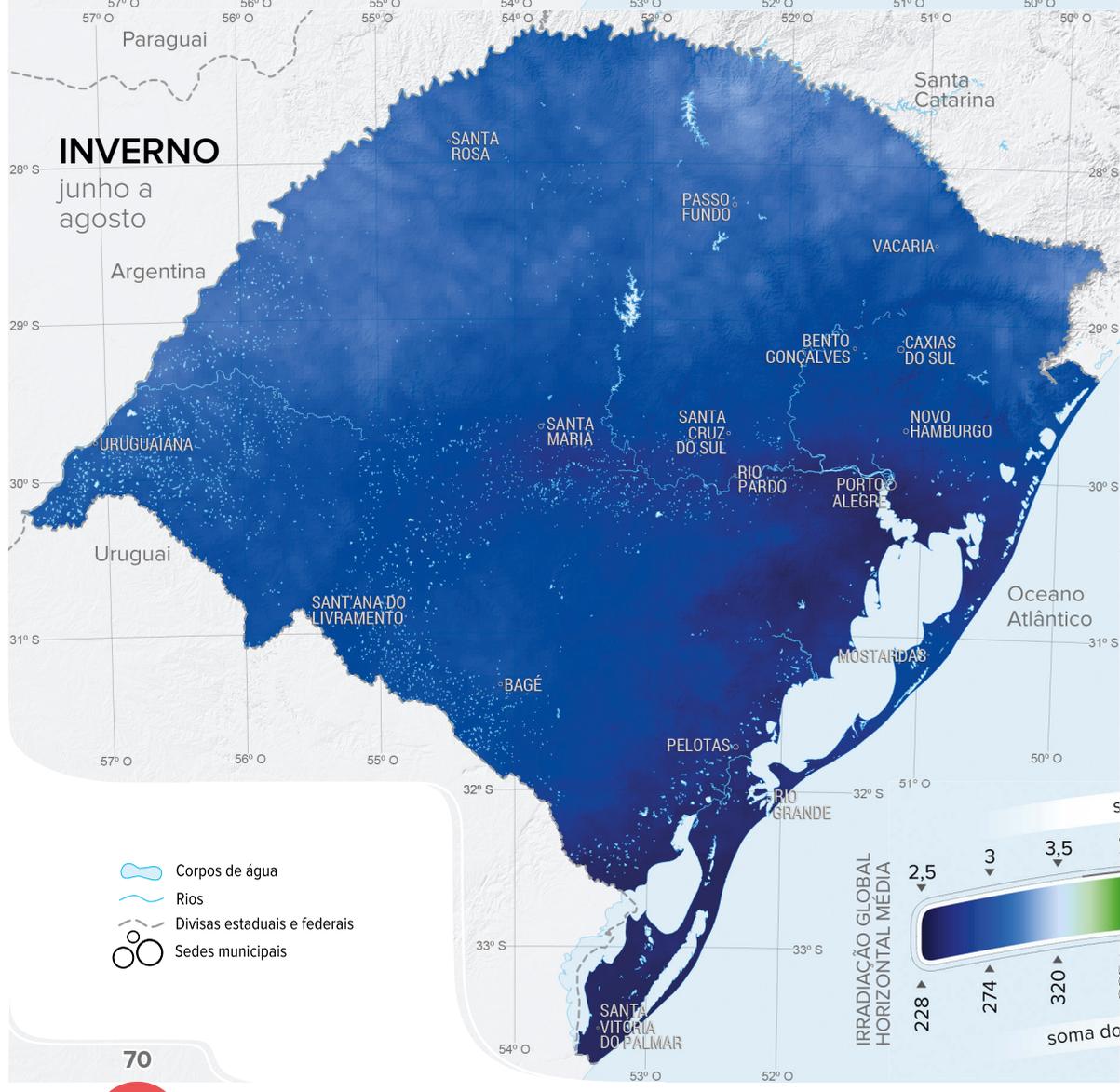
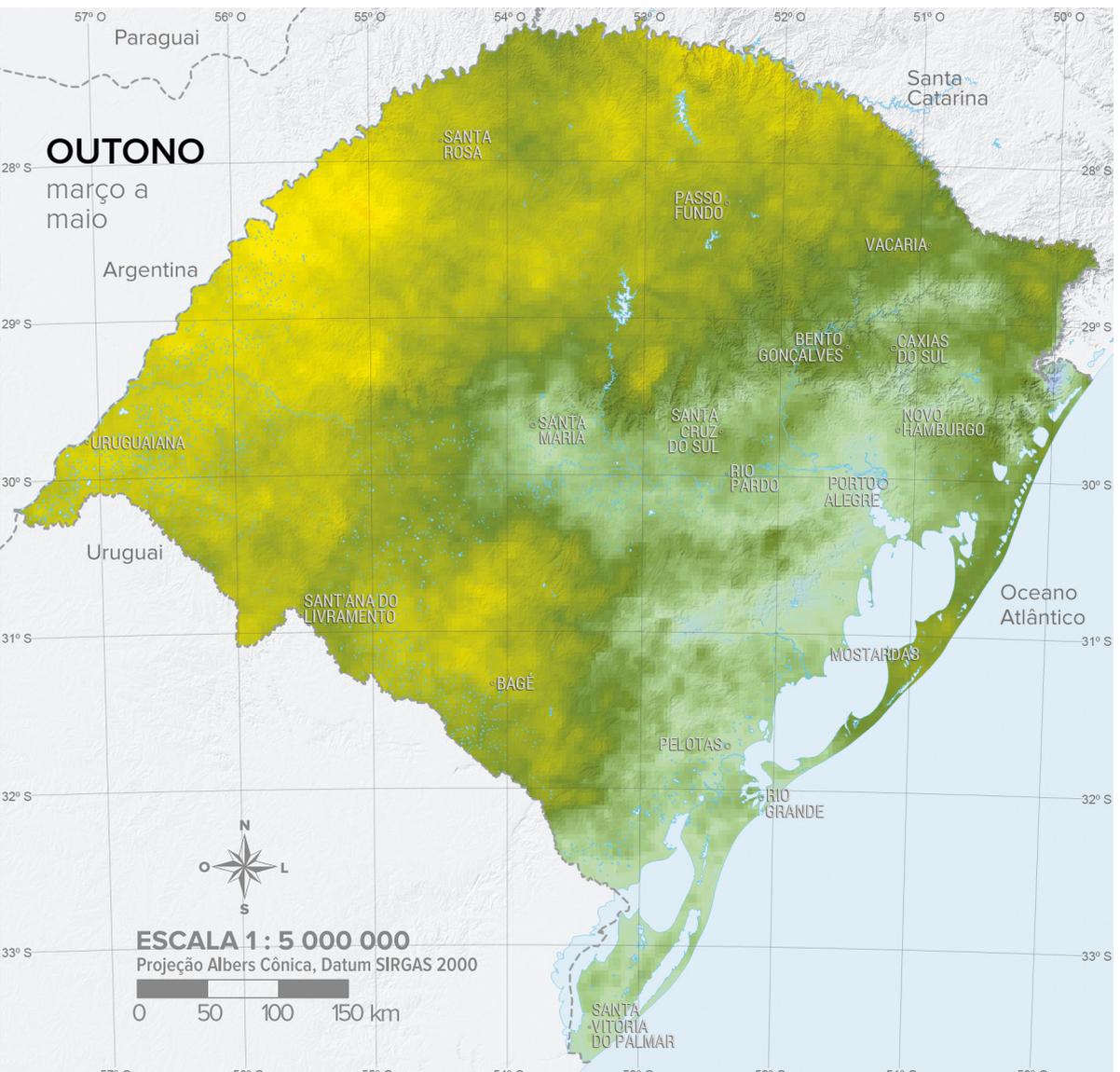
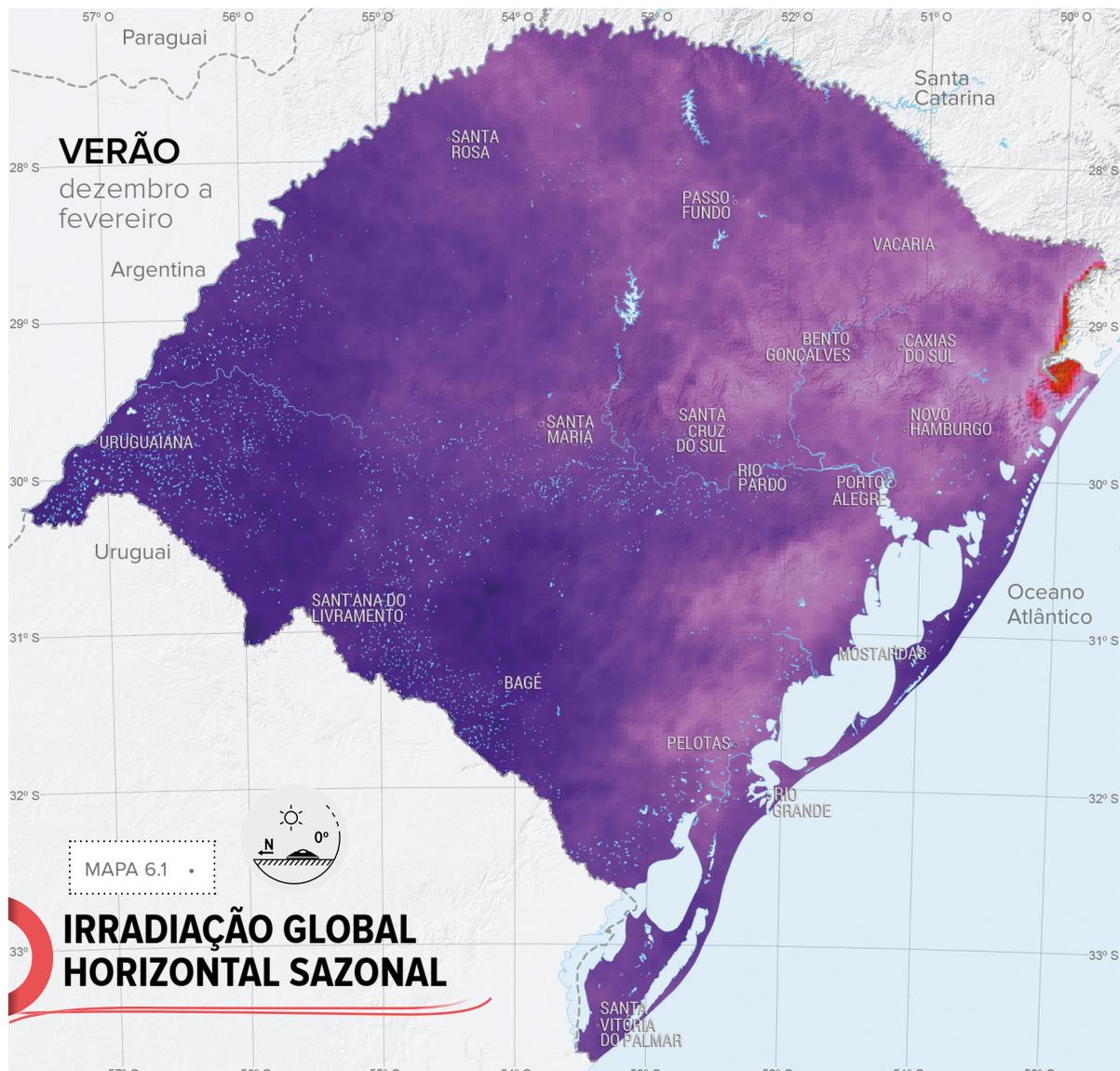


atlas solar
RiGrande
do Sul



Mapas Solares

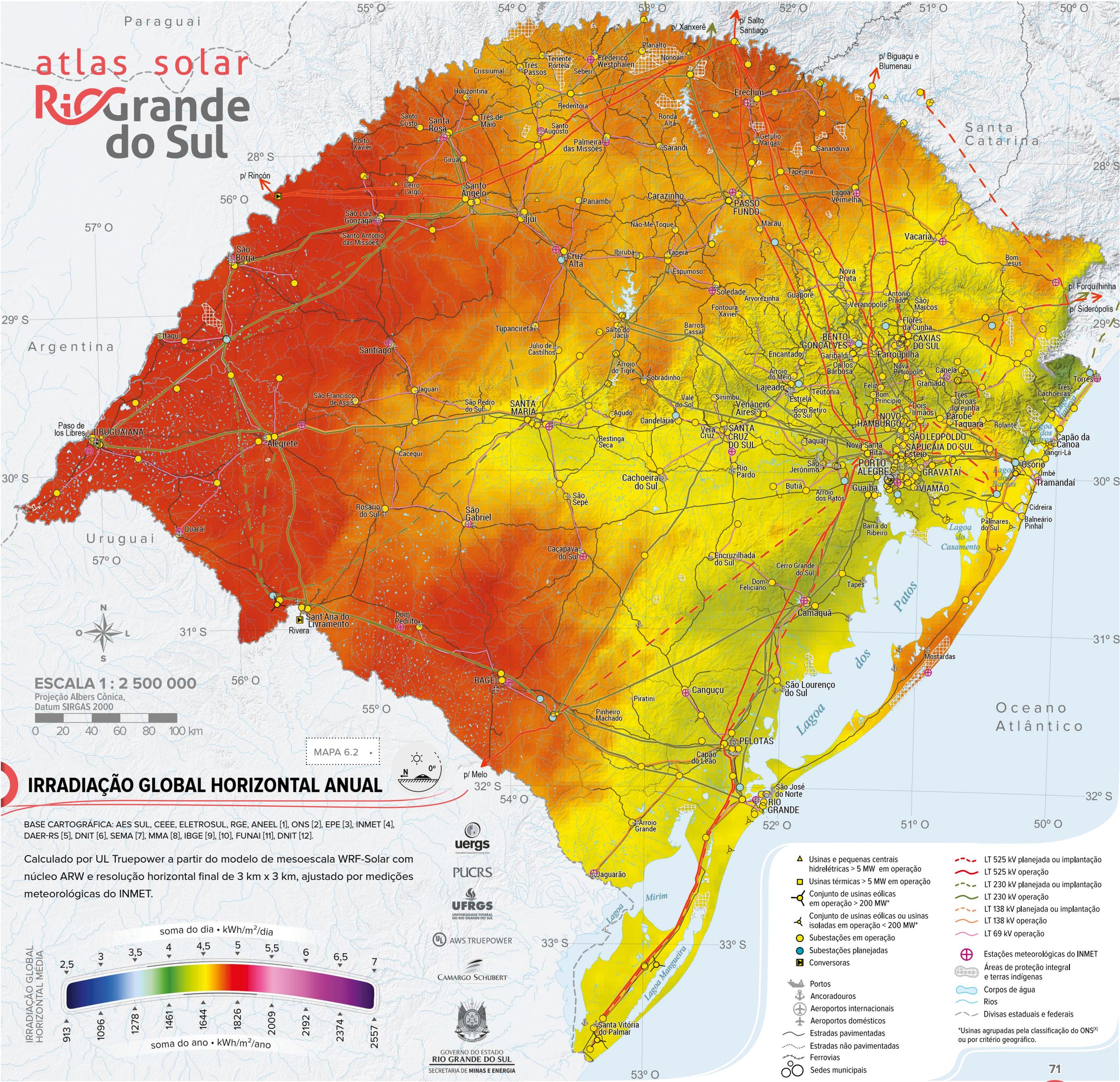
Mapa 6.1	Irradiação Global Horizontal Sazonal	70
Mapa 6.2	Irradiação Global Horizontal Anual	71
Mapa 6.3	Irradiação Global Horizontal Mensal	72
Mapa 6.4	Irradiação Difusa Horizontal Sazonal	74
Mapa 6.5	Irradiação Difusa Horizontal Anual	75
Mapa 6.6	Irradiação Difusa Horizontal Mensal	76
Mapa 6.7	Irradiação Normal Direta Sazonal	78
Mapa 6.8	Irradiação Normal Direta Anual	79
Mapa 6.9	Irradiação Normal Direta Mensal	80
Mapa 6.10	Irradiação Total Sazonal no Plano Inclinado a 20°	82
Mapa 6.11	Irradiação Total Anual no Plano Inclinado a 20°	83
Mapa 6.12	Irradiação Total Mensal no Plano Inclinado a 20°	84
Mapa 6.13	Irradiação Total Sazonal no Plano Inclinado a 45°	86
Mapa 6.14	Irradiação Total Anual no Plano Inclinado a 45°	87
Mapa 6.15	Irradiação Total Mensal no Plano Inclinado a 45°	88
Mapa 6.16	Produtividade Fotovoltaica Sazonal no Plano Inclinado a 20°	90
Mapa 6.17	Produtividade Fotovoltaica Anual no Plano Inclinado a 20°	91
Mapa 6.18	Produtividade Fotovoltaica Sazonal no Plano Inclinado a 45°	92
Mapa 6.19	Produtividade Fotovoltaica Anual no Plano Inclinado a 45°	93
Mapa 6.20	Áreas Aptas: Intersecção entre Mapas Solar e Eólico	94
Mapa 6.21	Densidade de Potência Instalada Fotovoltaica – Geração Distribuída	95



- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais
- Sedes municipais

atlas solar

Rio Grande do Sul



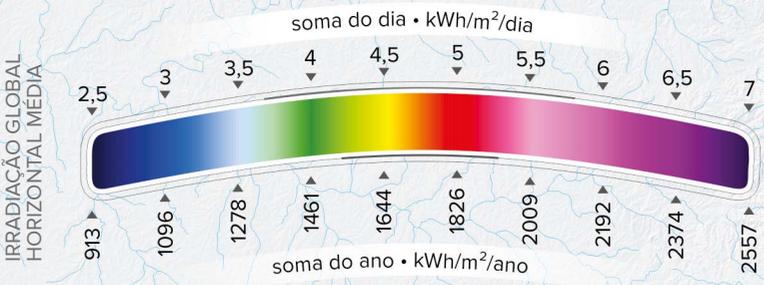
ESCALA 1 : 2 500 000
 Projeção Albers Cônica,
 Datum SIRGAS 2000

MAPA 6.2

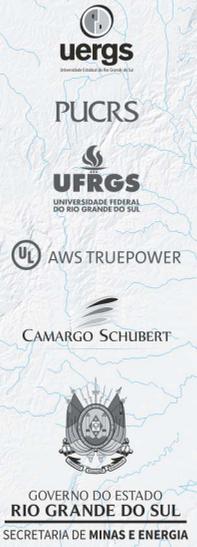
IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL ANUAL

BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL [1], ONS [2], EPE [3], INMET [4], DAER-RS [5], DNIT [6], SEMA [7], MMA [8], IBGE [9], [10], FUNAI [11], DNIT [12].

Calculado por UL Truepower a partir do modelo de mesoescala WRF-Solar com núcleo ARW e resolução horizontal final de 3 km x 3 km, ajustado por medições meteorológicas do INMET.

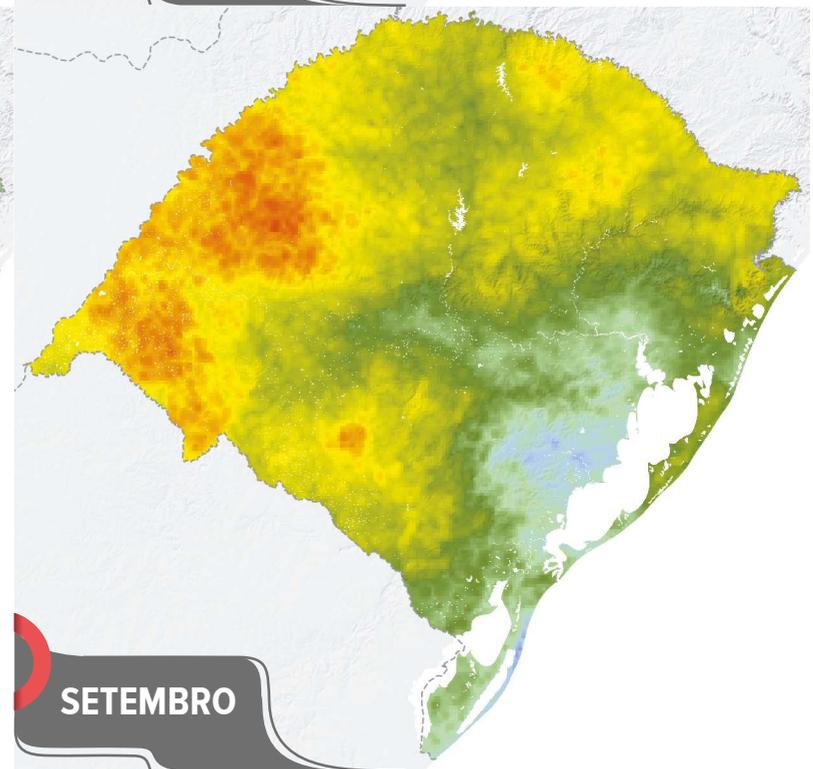
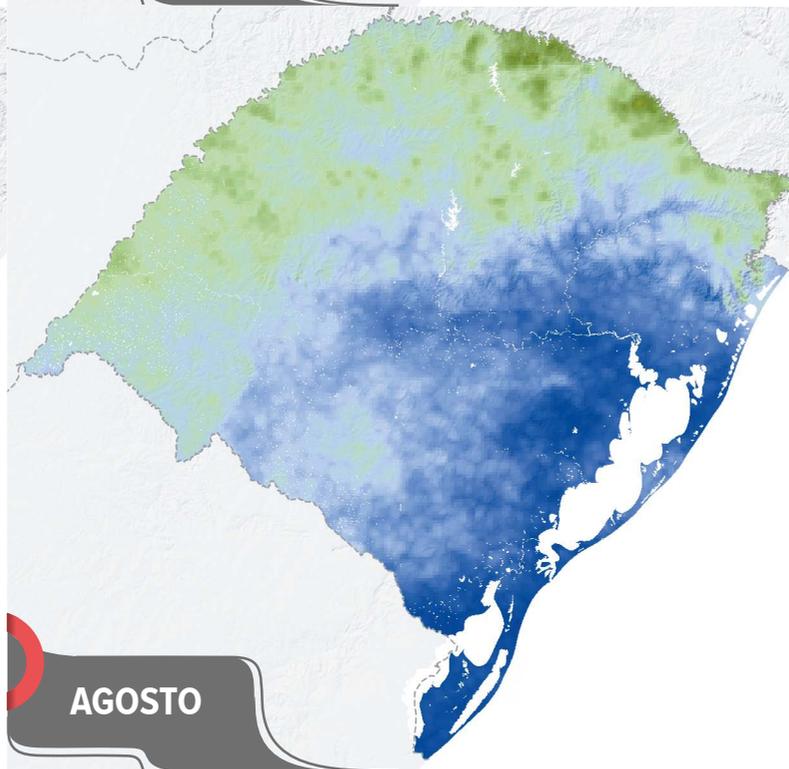
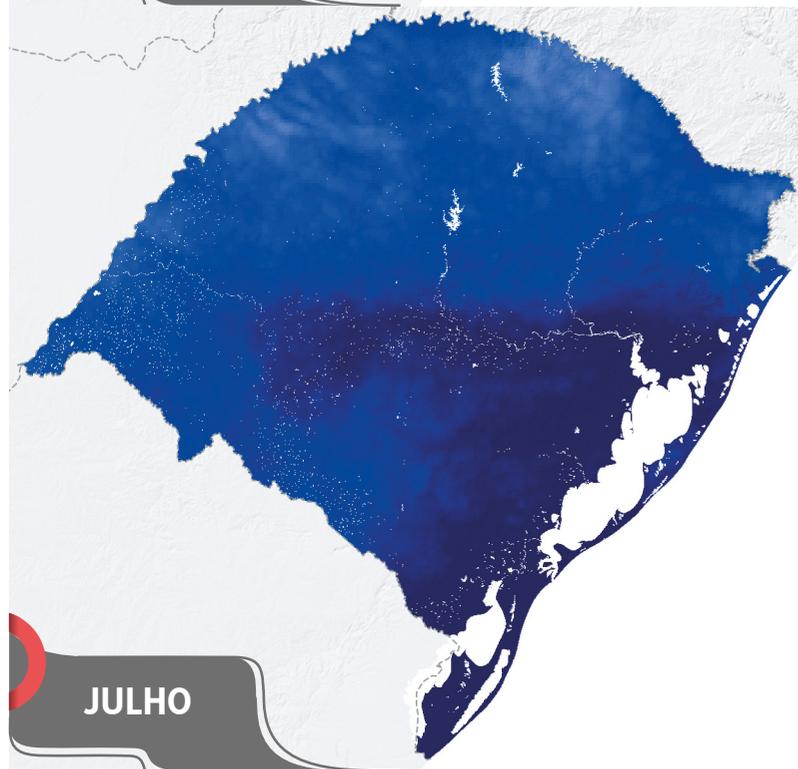
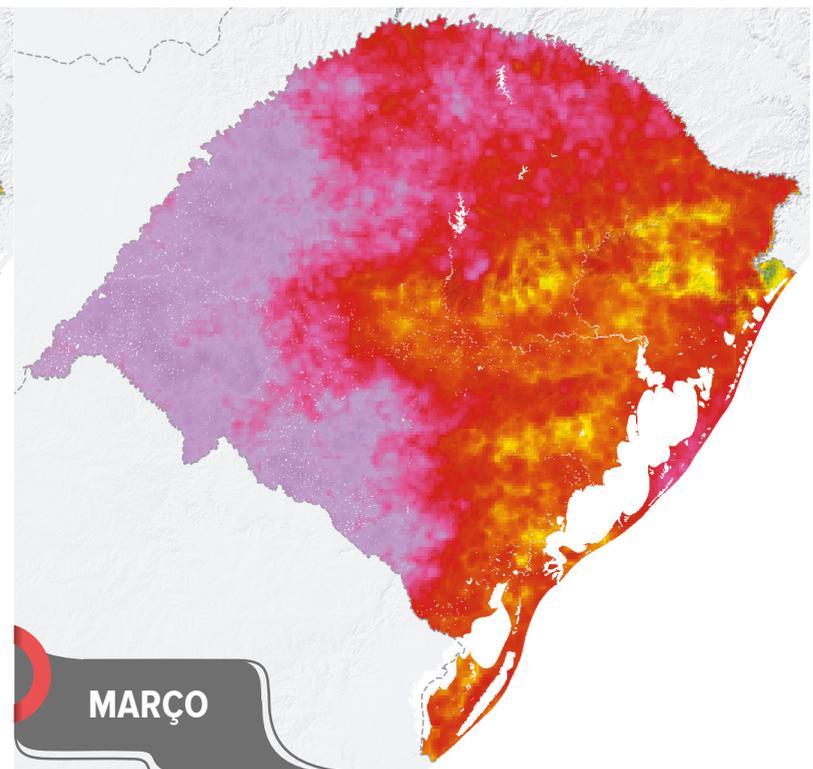
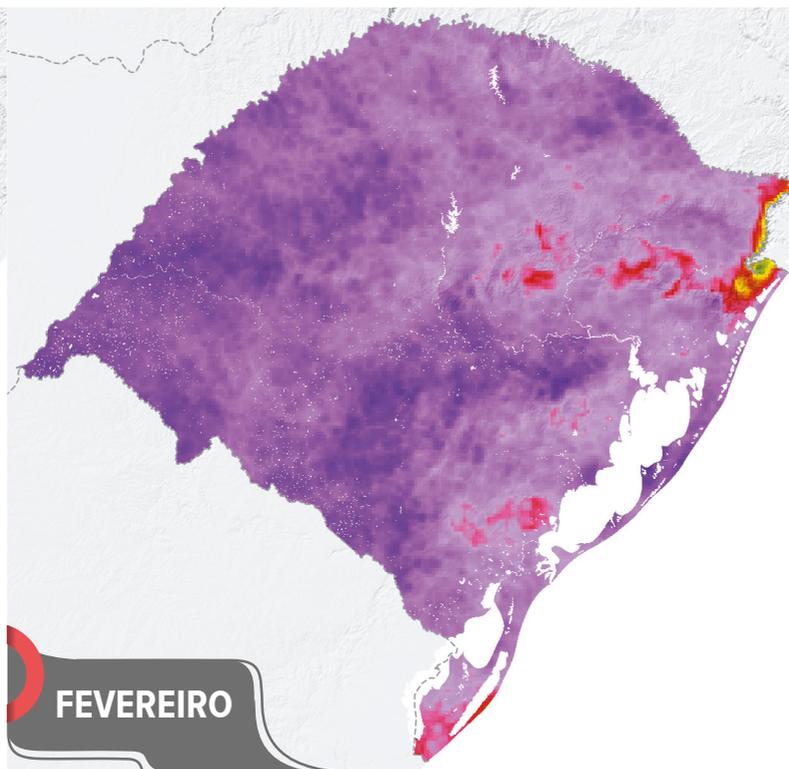
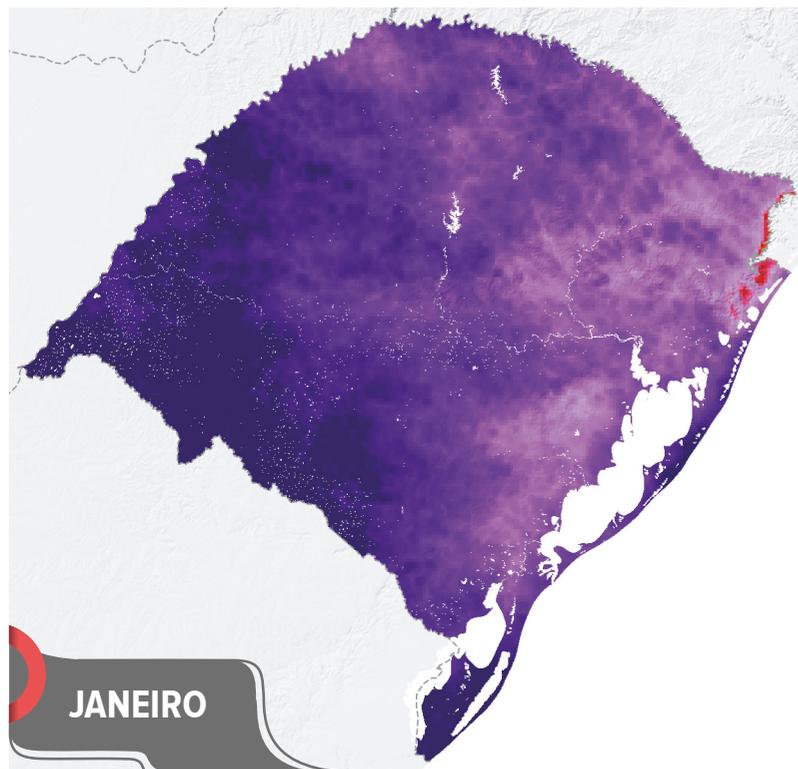
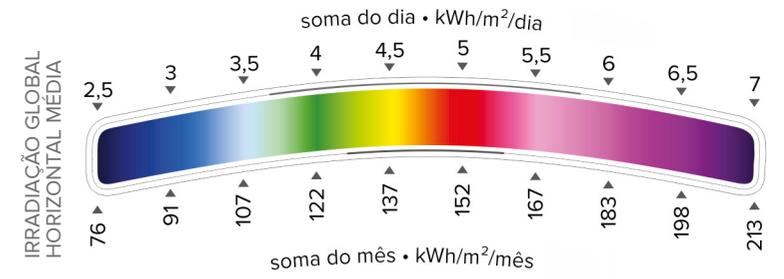


- ▲ Usinas e pequenas centrais hidrelétricas > 5 MW em operação
 - Usinas térmicas > 5 MW em operação
 - ⚡ Conjunto de usinas eólicas em operação > 200 MW*
 - ⚡ Conjunto de usinas eólicas ou usinas isoladas em operação < 200 MW*
 - Subestações em operação
 - Subestações planejadas
 - Conversoras
 - ⚓ Portos
 - ⚓ Ancoradouros
 - ✈ Aeroportos internacionais
 - ✈ Aeroportos domésticos
 - 🛣 Estradas pavimentadas
 - 🛣 Estradas não pavimentadas
 - 🚂 Ferrovias
 - ⊙ Sedes municipais
 - LT 525 kV planejada ou implantação
 - LT 525 kV operação
 - LT 230 kV planejada ou implantação
 - LT 230 kV operação
 - LT 138 kV planejada ou implantação
 - LT 138 kV operação
 - LT 69 kV operação
 - ⊕ Estações meteorológicas do INMET
 - ⊕ Áreas de proteção integral e terras indígenas
 - 🌊 Corpos de água
 - 🌊 Rios
 - Divisas estaduais e federais
- *Usinas agrupadas pela classificação do ONS^{xi} ou por critério geográfico.



IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL MENSAL

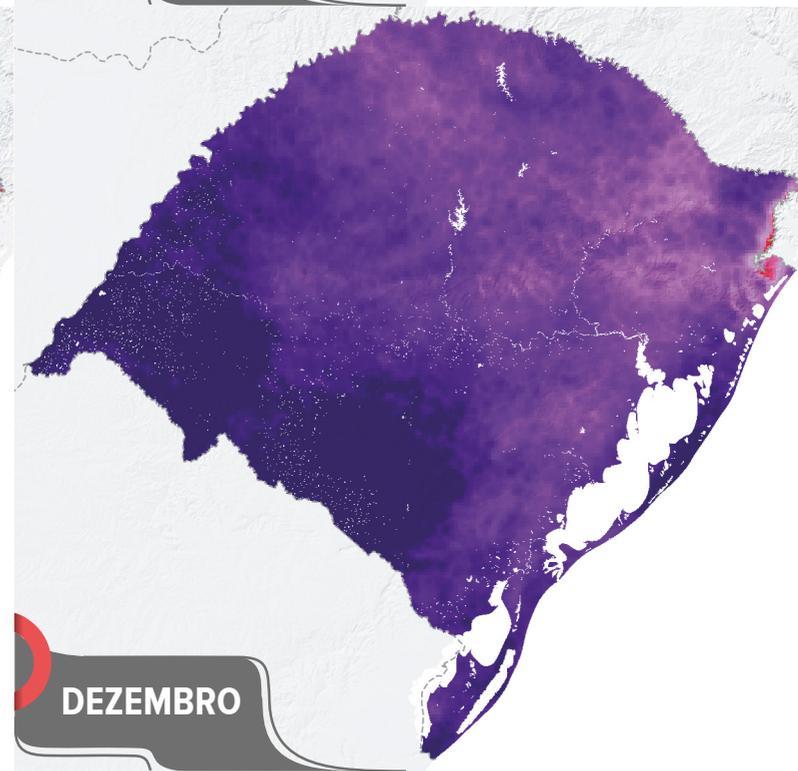
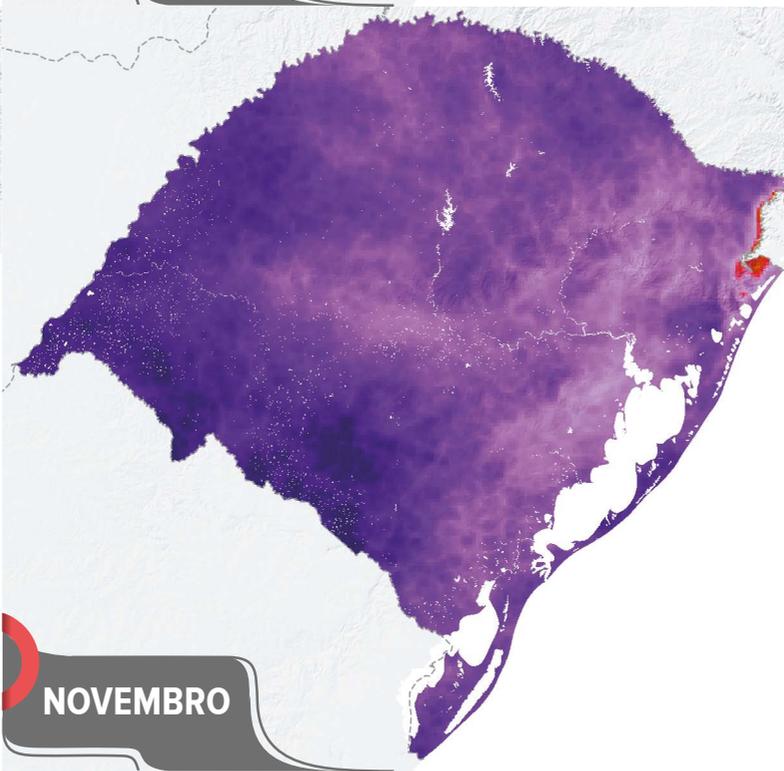
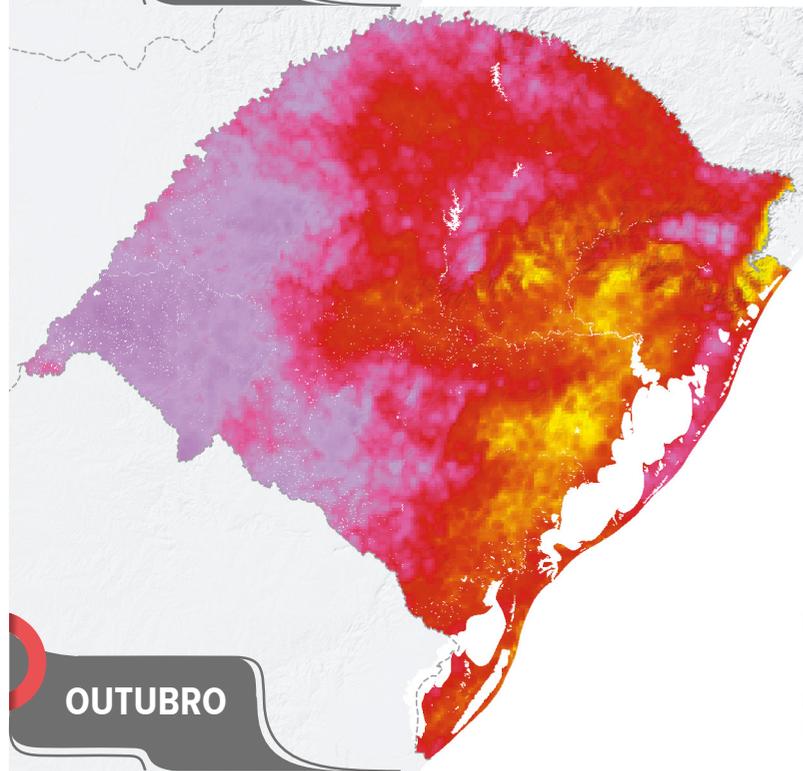
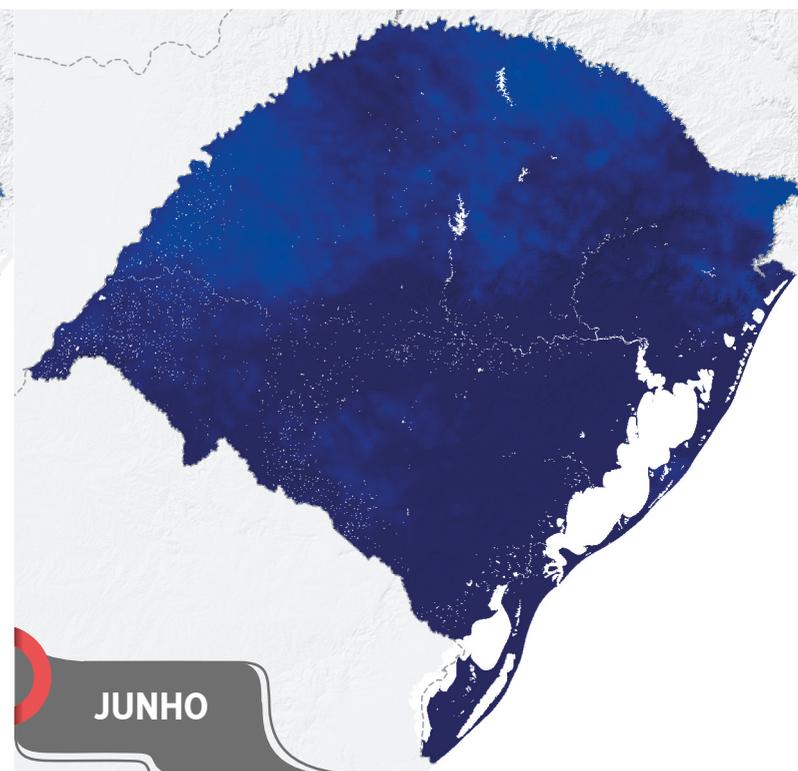
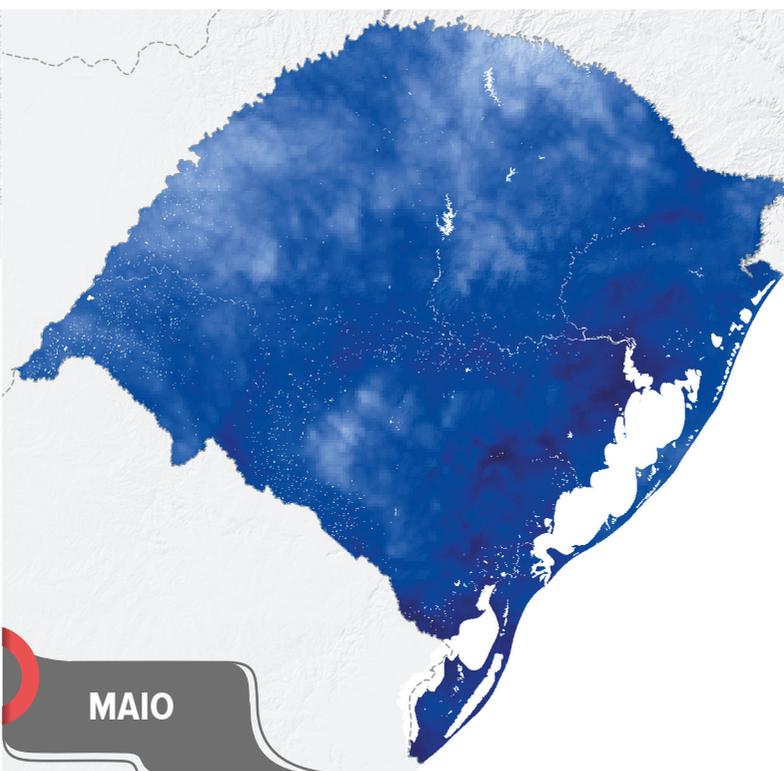
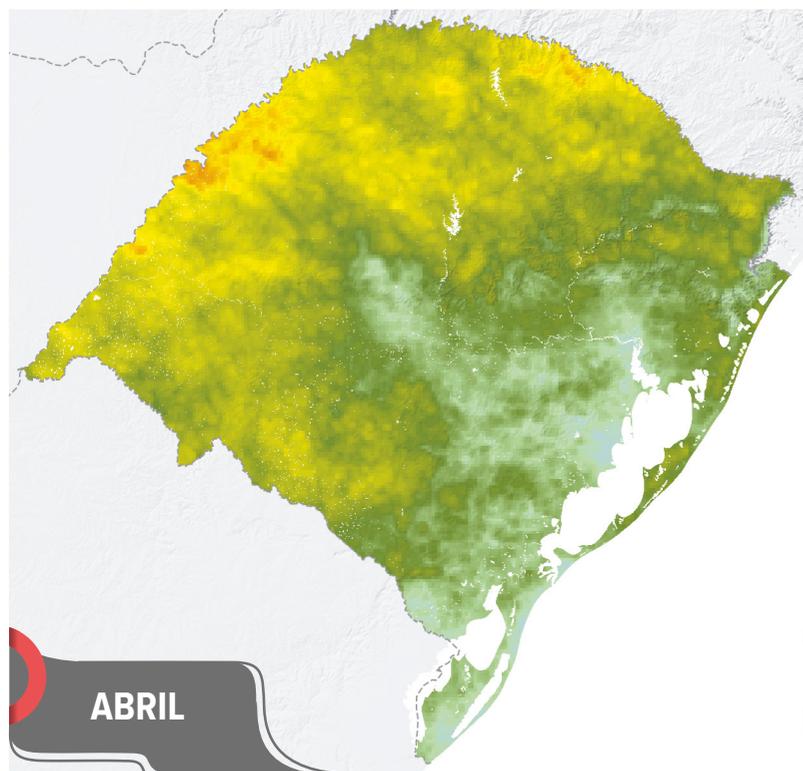
MAPA 6.3

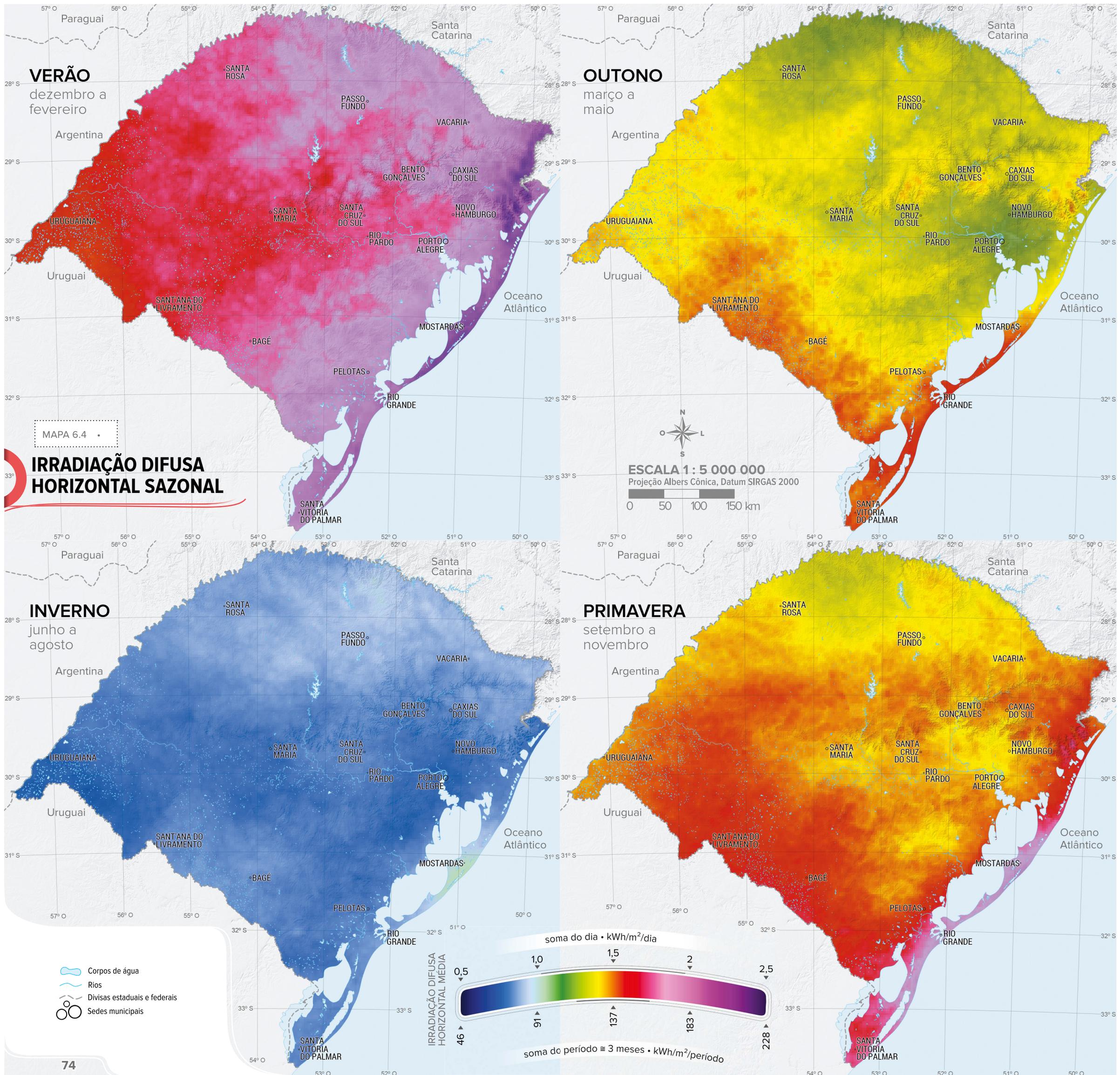




ESCALA 1 : 7 500 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000

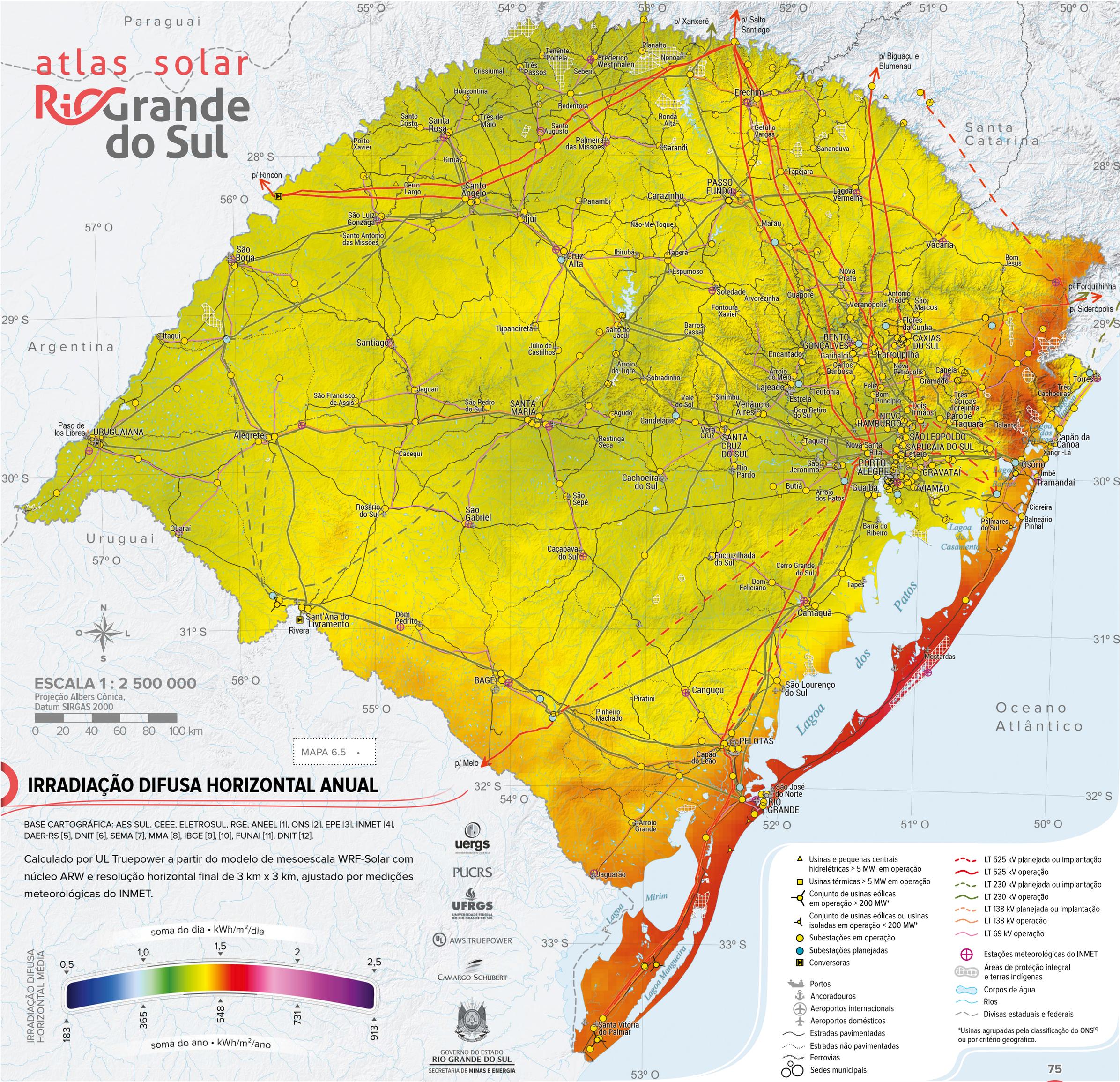
0 50 100 150 km





atlas solar

Rio Grande do Sul



ESCALA 1 : 2 500 000

Projeção Albers Cônica,
Datum SIRGAS 2000

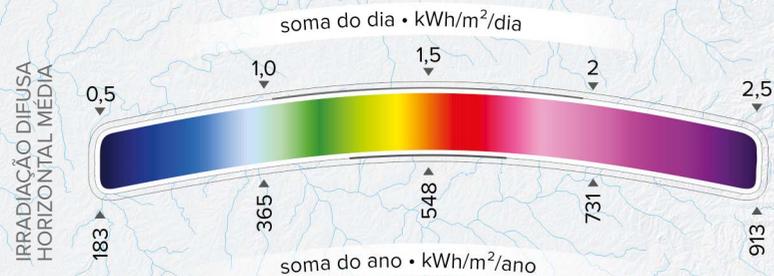
0 20 40 60 80 100 km

MAPA 6.5

IRRADIAÇÃO DIFUSA HORIZONTAL ANUAL

BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL [1], ONS [2], EPE [3], INMET [4], DAER-RS [5], DNIT [6], SEMA [7], MMA [8], IBGE [9], [10], FUNAI [11], DNIT [12].

Calculado por UL Truepower a partir do modelo de mesoescala WRF-Solar com núcleo ARW e resolução horizontal final de 3 km x 3 km, ajustado por medições meteorológicas do INMET.



SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

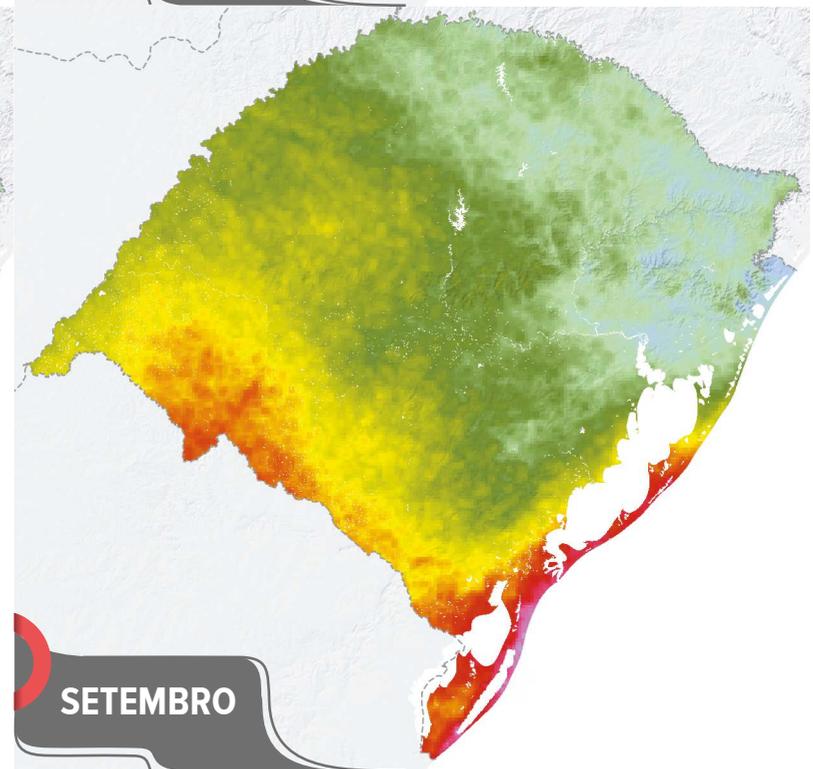
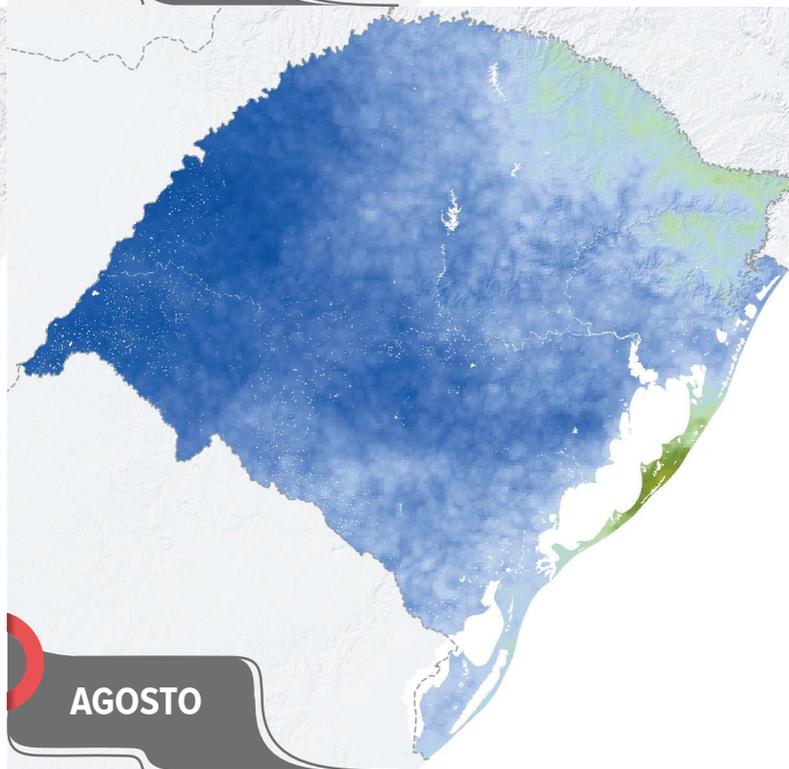
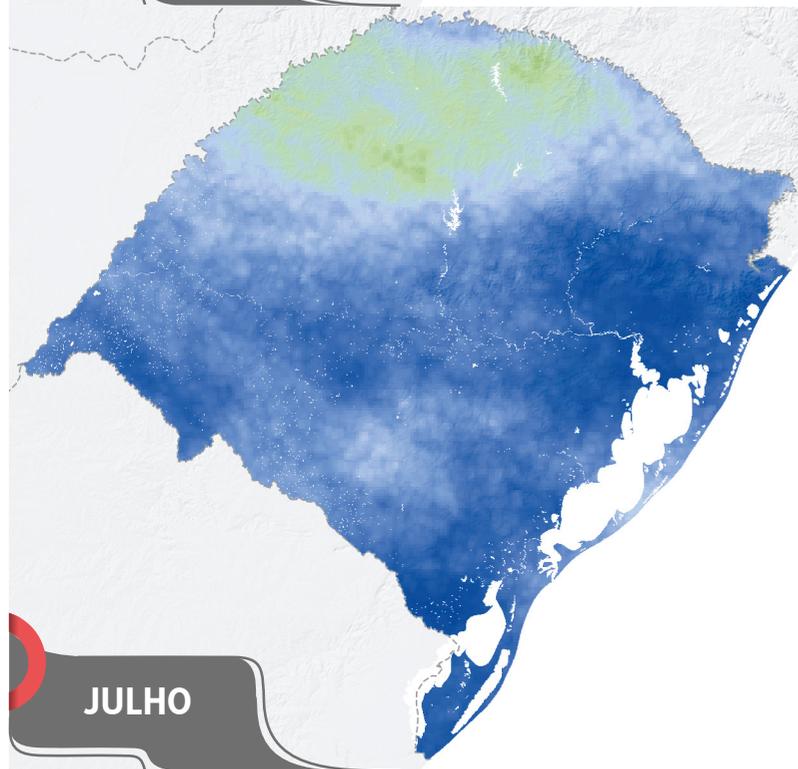
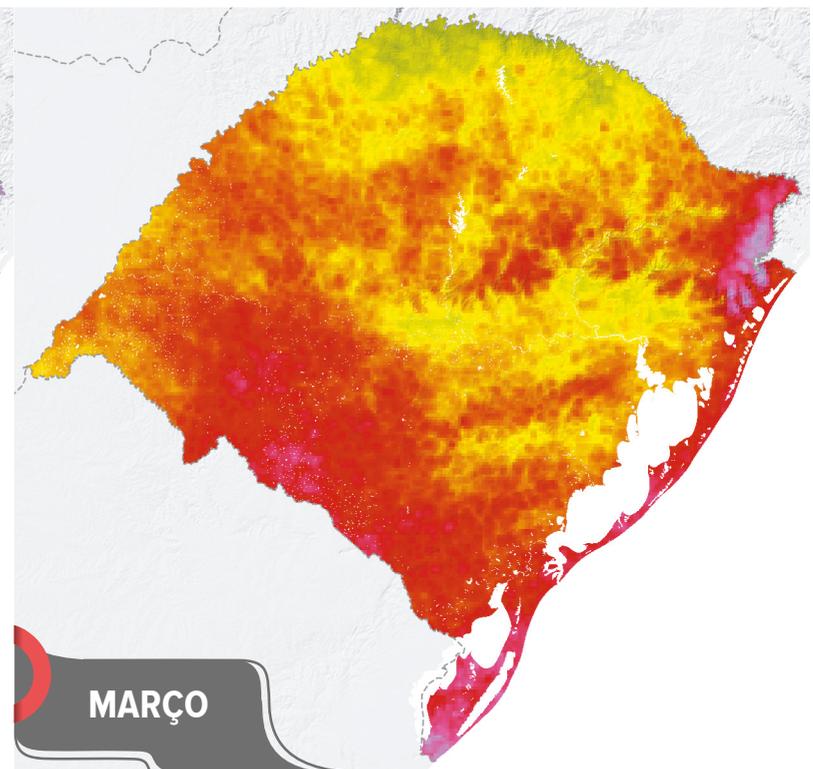
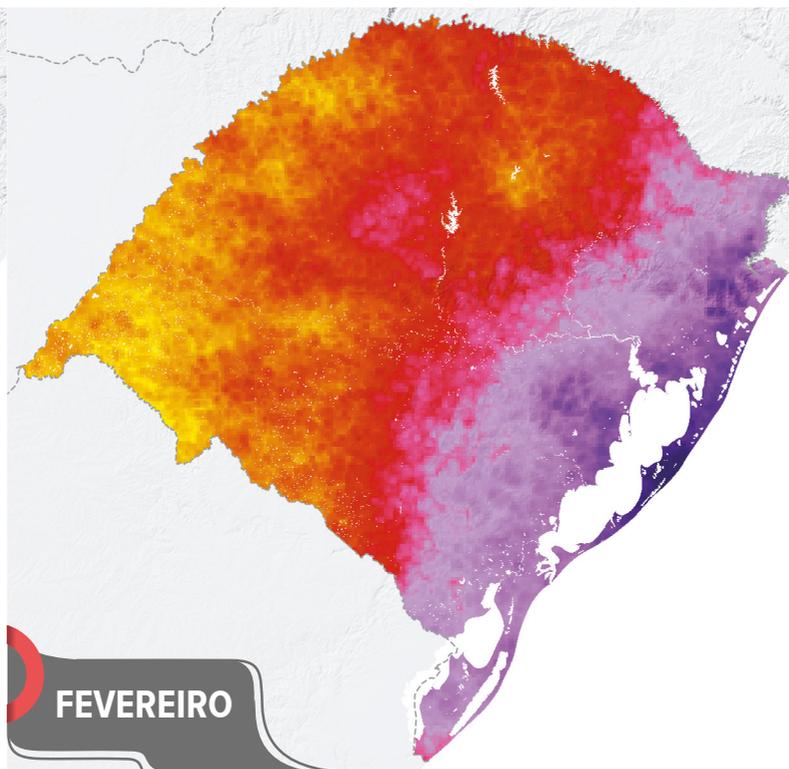
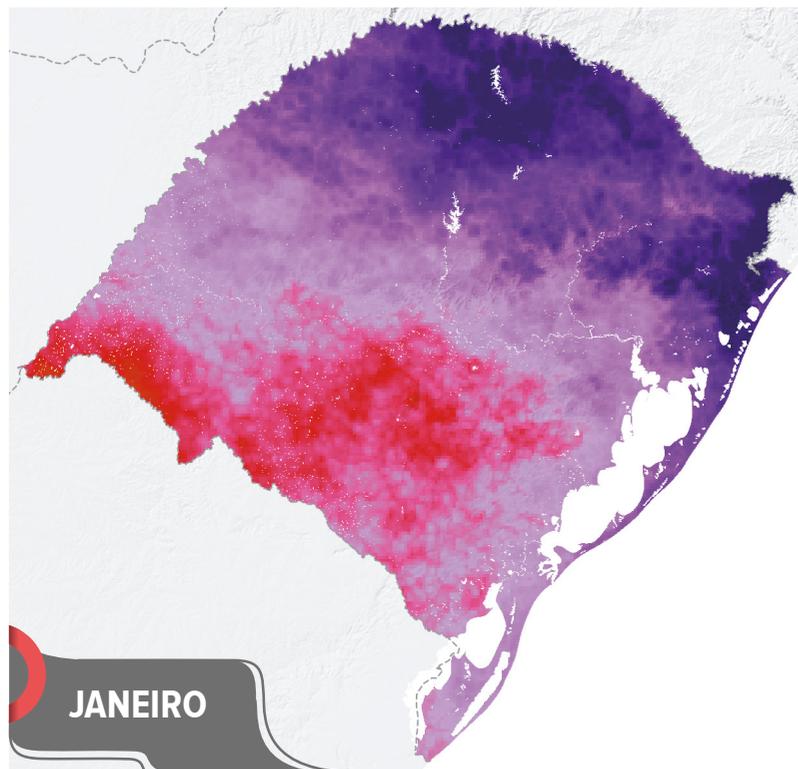
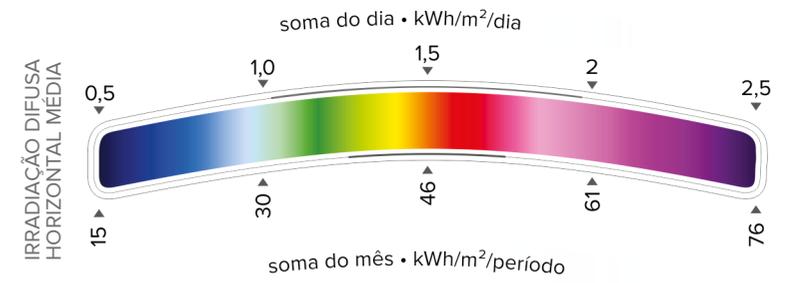
- Usinas e pequenas centrais hidrelétricas > 5 MW em operação
- Usinas térmicas > 5 MW em operação
- Conjunto de usinas eólicas em operação > 200 MW*
- Conjunto de usinas eólicas ou usinas isoladas em operação < 200 MW*
- Subestações em operação
- Subestações planejadas
- Conversoras
- Portos
- Ancoradouros
- Aeroportos internacionais
- Aeroportos domésticos
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Sedes municipais
- LT 525 kV planejada ou implantação
- LT 525 kV operação
- LT 230 kV planejada ou implantação
- LT 230 kV operação
- LT 138 kV planejada ou implantação
- LT 138 kV operação
- LT 69 kV operação
- Estações meteorológicas do INMET
- Áreas de proteção integral e terras indígenas
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais

*Usinas agrupadas pela classificação do ONS^{xi} ou por critério geográfico.



IRRADIAÇÃO DIFUSA HORIZONTAL MENSAL

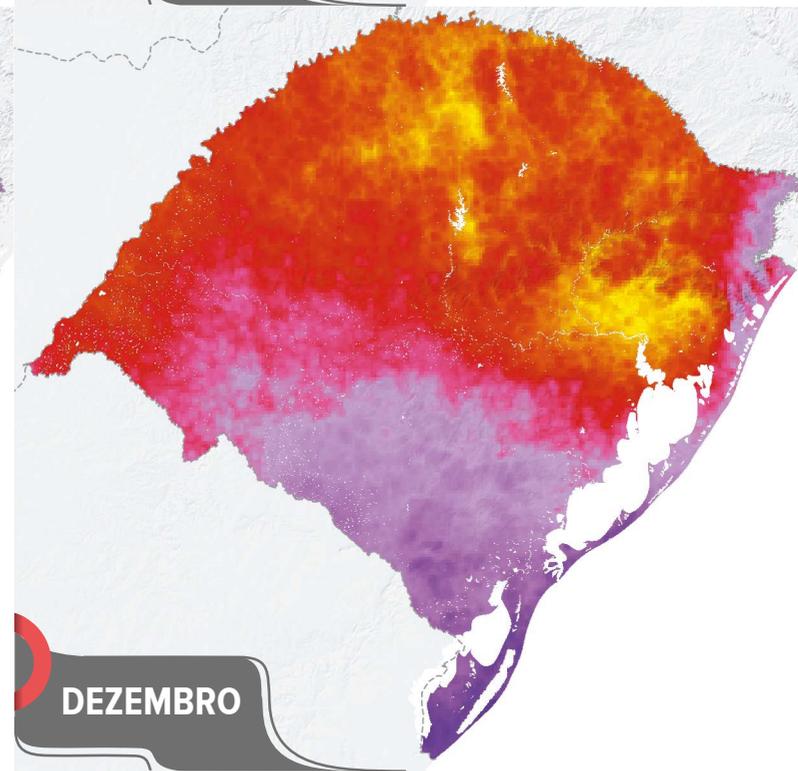
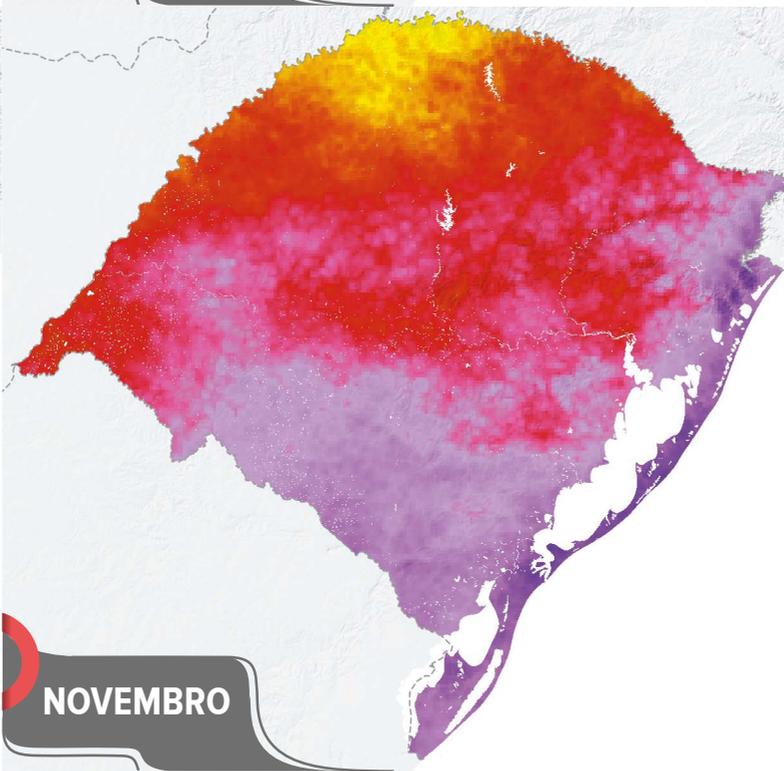
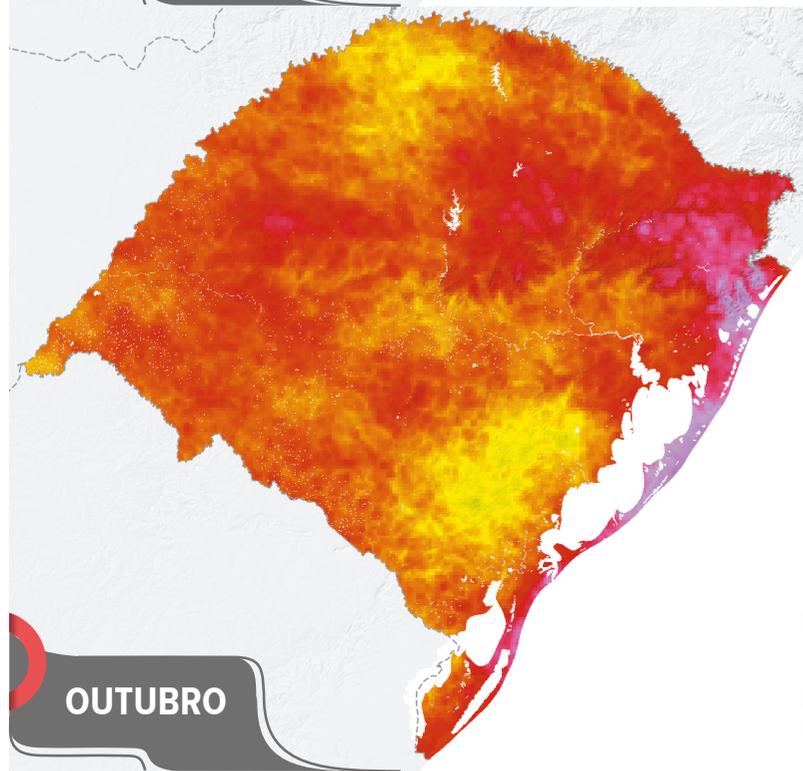
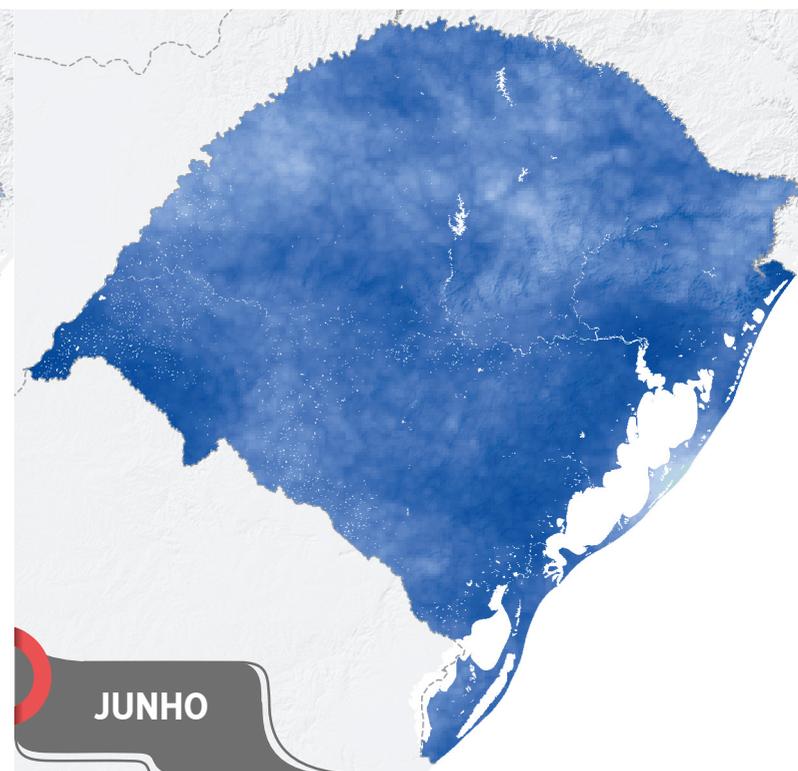
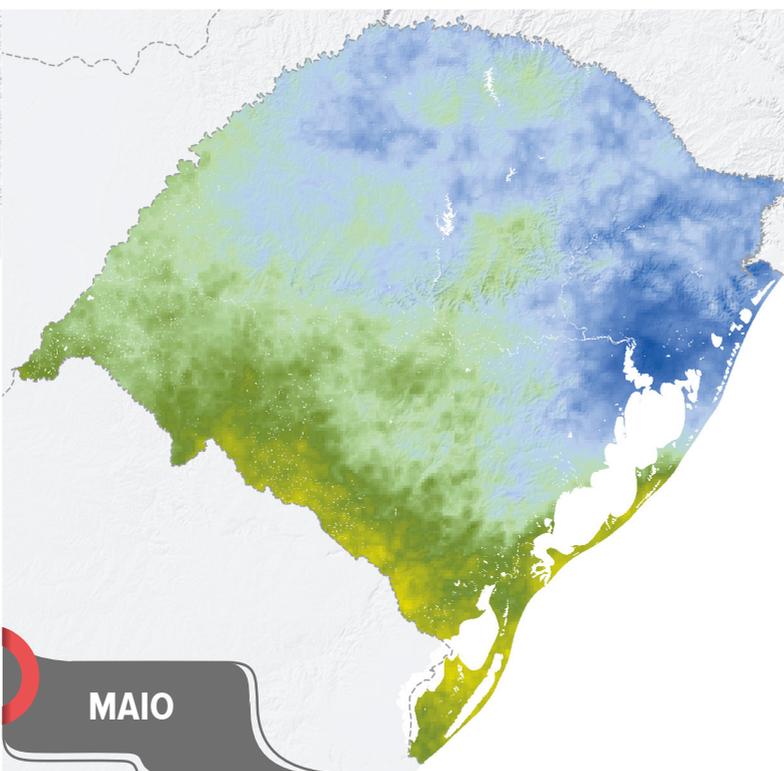
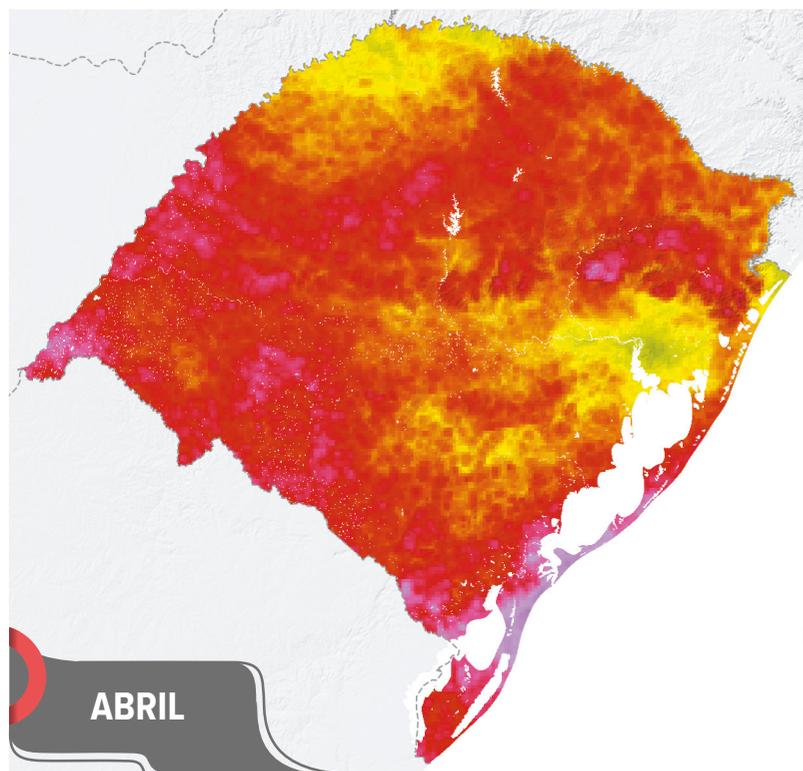
MAPA 6.6

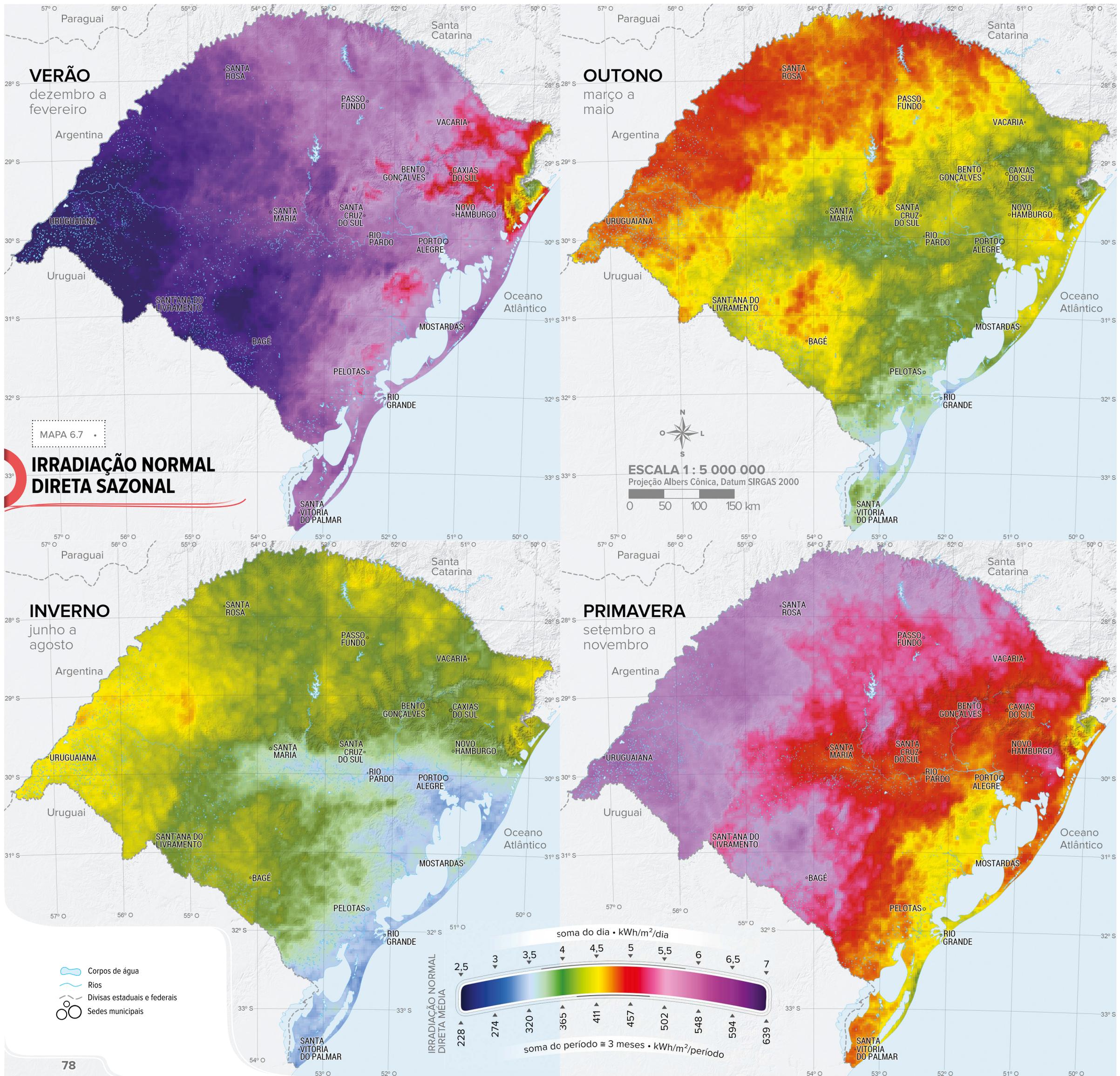




ESCALA 1 : 7 500 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000

0 50 100 150 km





VERÃO
dezembro a fevereiro

OUTONO
março a maio

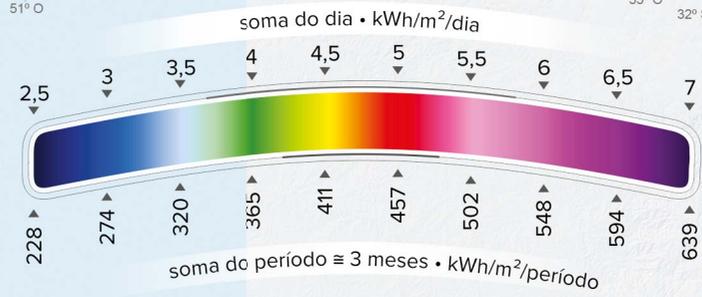
INVERNO
junho a agosto

PRIMAVERA
setembro a novembro

MAPA 6.7
IRRADIAÇÃO NORMAL DIRETA SAZONAL

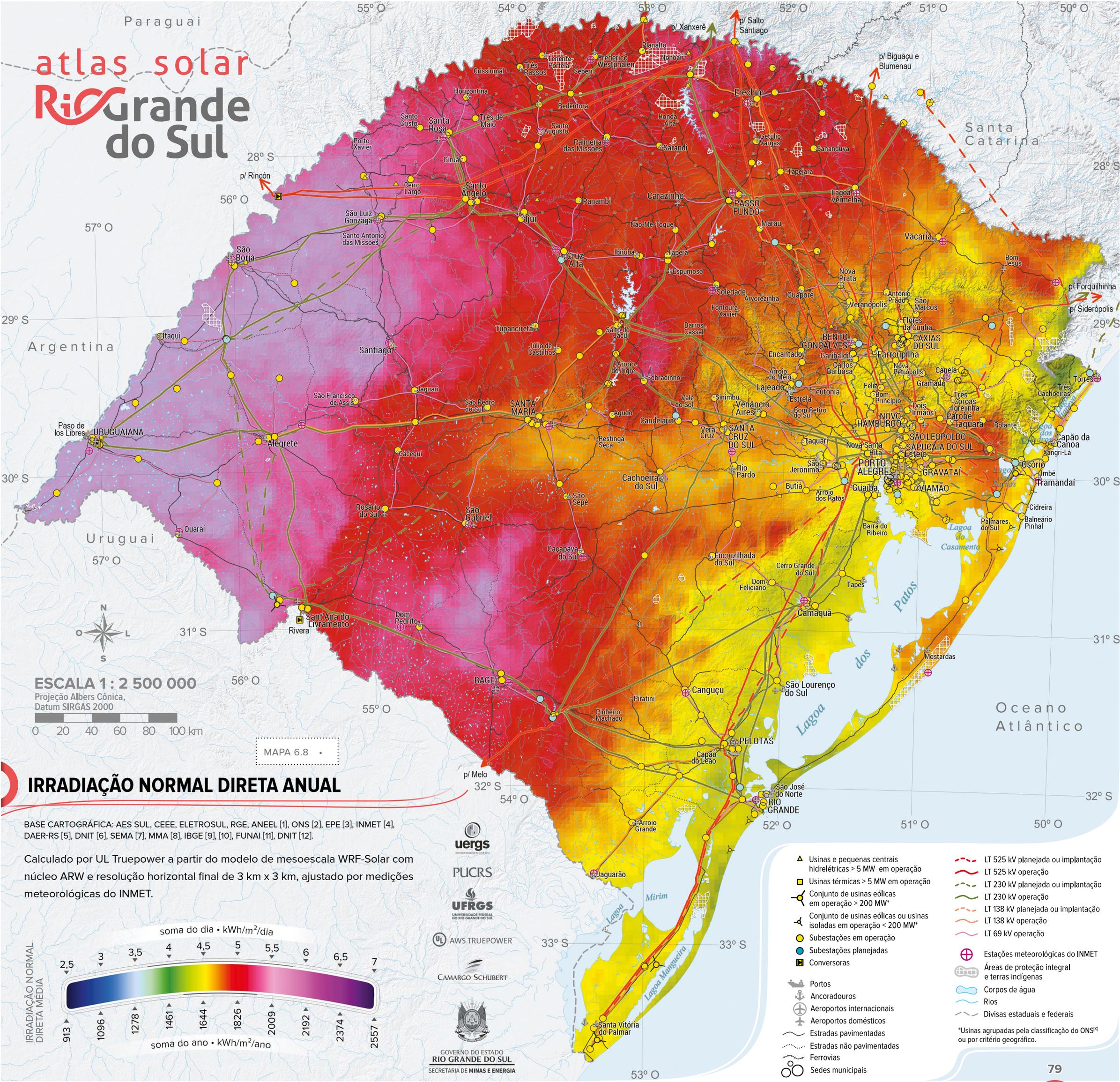
ESCALA 1 : 5 000 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 50 100 150 km

- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais
- Sedes municipais



atlas solar

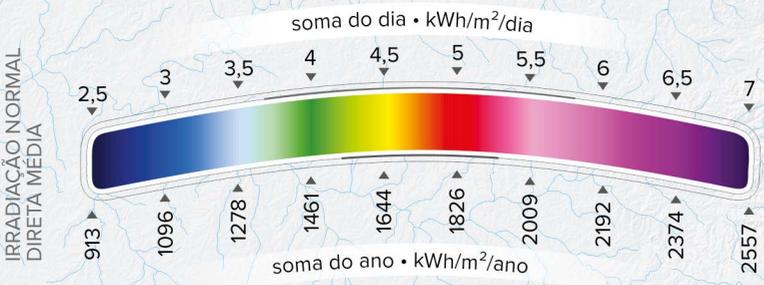
Rio Grande do Sul



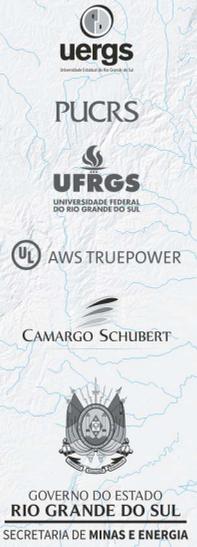
IRRADIAÇÃO NORMAL DIRETA ANUAL

BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL [1], ONS [2], EPE [3], INMET [4], DAER-RS [5], DNIT [6], SEMA [7], MMA [8], IBGE [9], [10], FUNAI [11], DNIT [12].

Calculado por UL Truepower a partir do modelo de mesoescala WRF-Solar com núcleo ARW e resolução horizontal final de 3 km x 3 km, ajustado por medições meteorológicas do INMET.



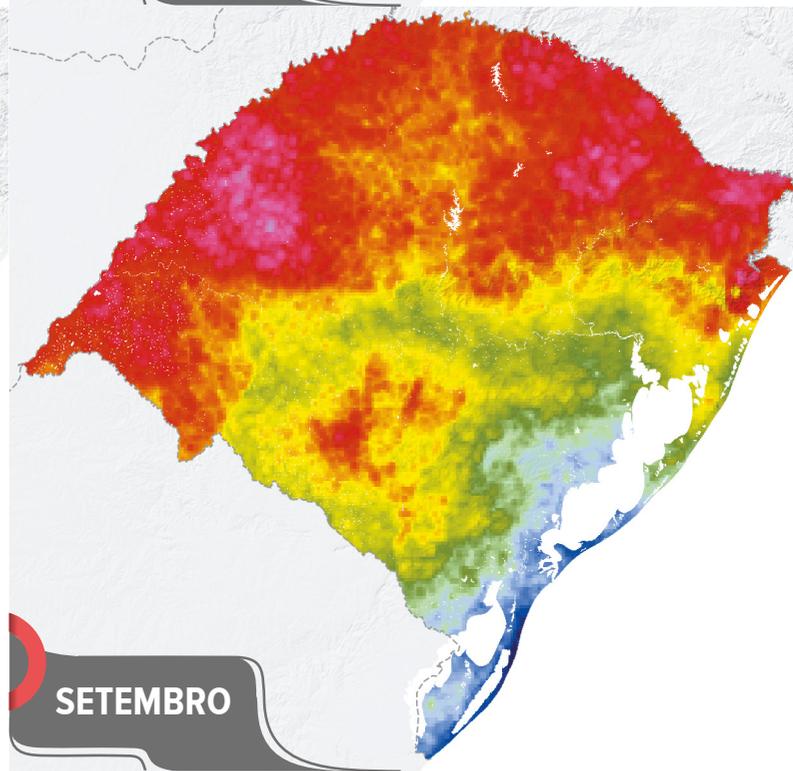
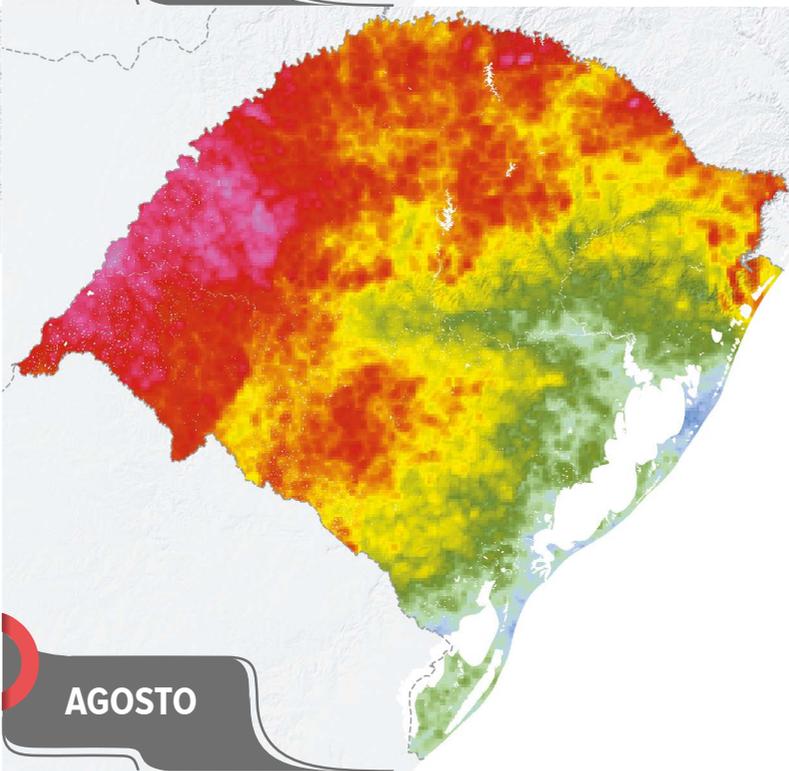
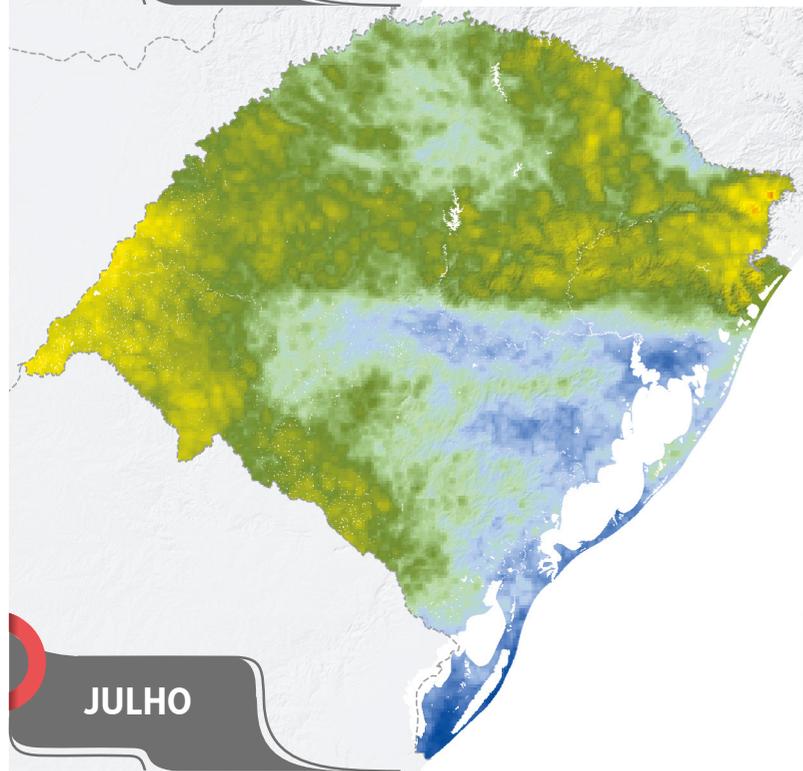
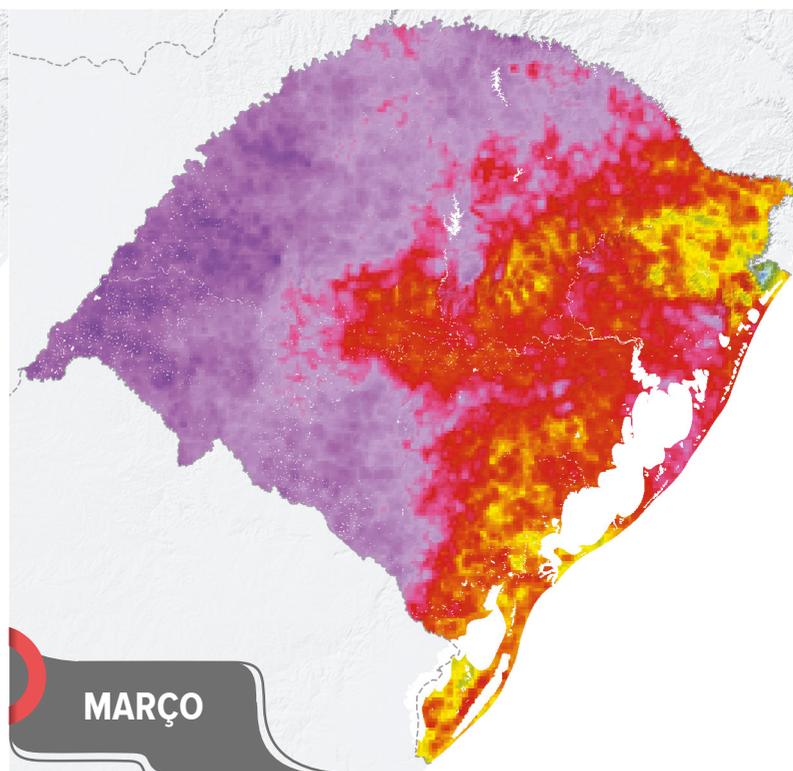
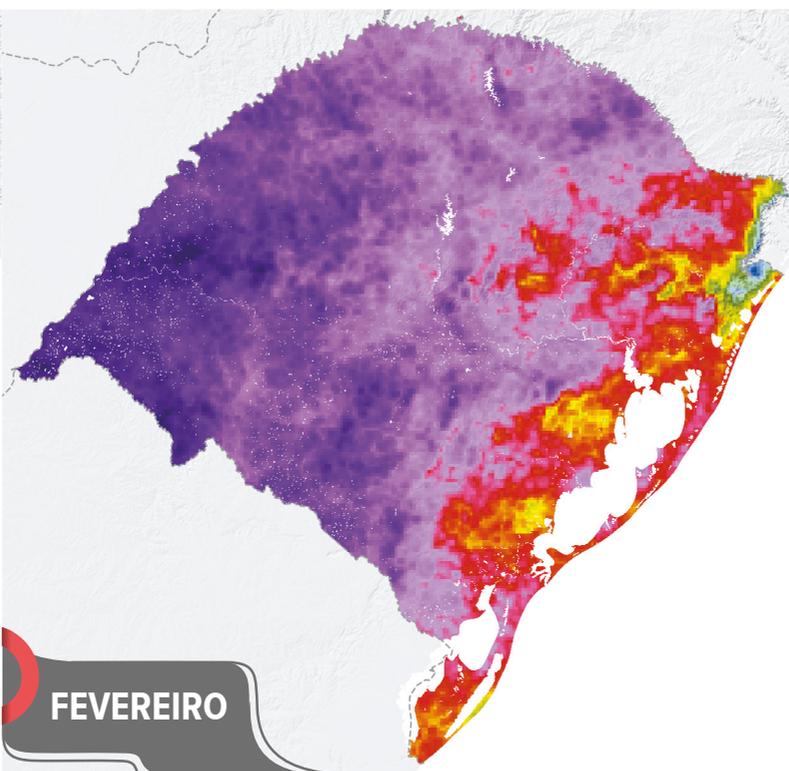
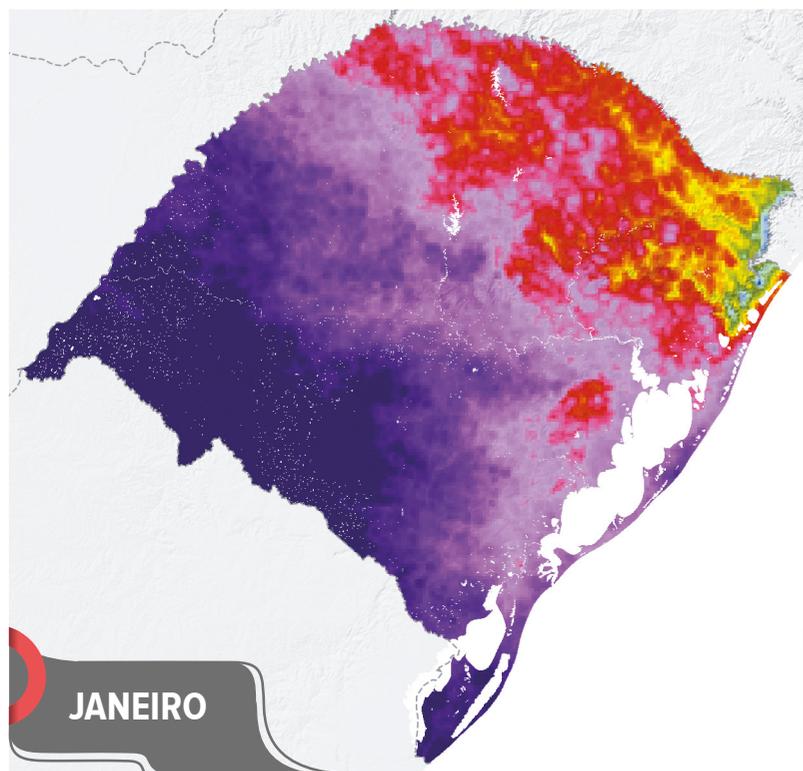
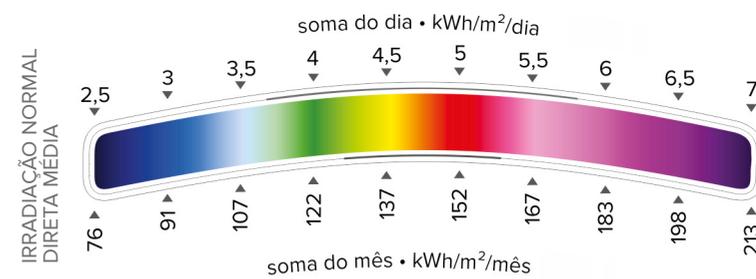
- ▲ Usinas e pequenas centrais hidrelétricas > 5 MW em operação
 - Usinas térmicas > 5 MW em operação
 - ⚡ Conjunto de usinas eólicas em operação > 200 MW*
 - ⚡ Conjunto de usinas eólicas ou usinas isoladas em operação < 200 MW*
 - Subestações em operação
 - Subestações planejadas
 - Conversoras
 - ⚓ Portos
 - ⚓ Ancoradouros
 - ✈ Aeroportos internacionais
 - ✈ Aeroportos domésticos
 - 🛣 Estradas pavimentadas
 - 🛣 Estradas não pavimentadas
 - 🚂 Ferrovias
 - ⊙ Sedes municipais
 - LT 525 kV planejada ou implantação
 - LT 525 kV operação
 - LT 230 kV planejada ou implantação
 - LT 230 kV operação
 - LT 138 kV planejada ou implantação
 - LT 138 kV operação
 - LT 69 kV operação
 - ⊕ Estações meteorológicas do INMET
 - ⊕ Áreas de proteção integral e terras indígenas
 - 🌊 Corpos de água
 - 🌊 Rios
 - Divisas estaduais e federais
- *Usinas agrupadas pela classificação do ONS^{xi} ou por critério geográfico.





IRRADIAÇÃO NORMAL DIRETA MENSAL

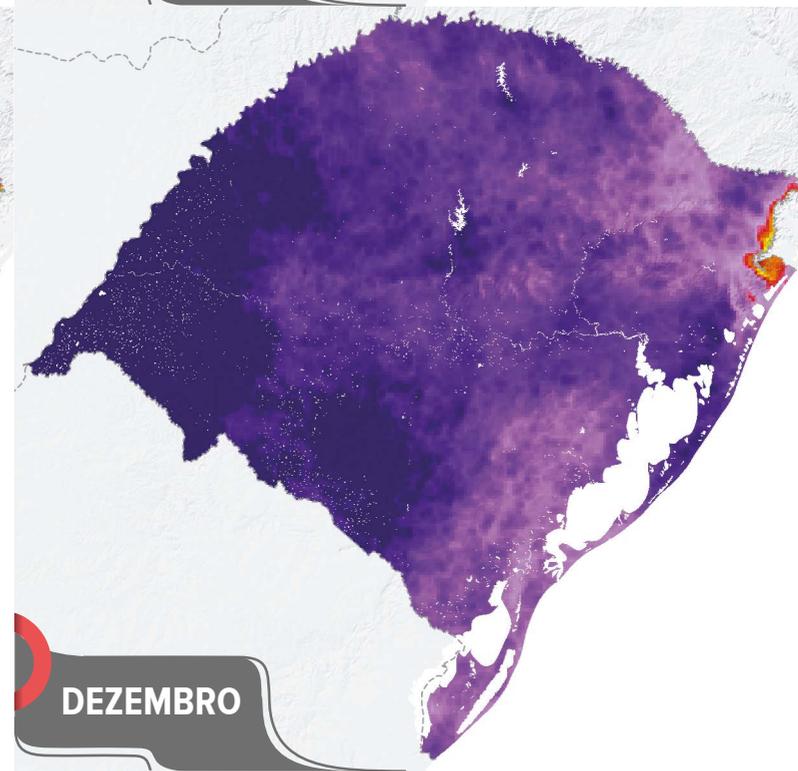
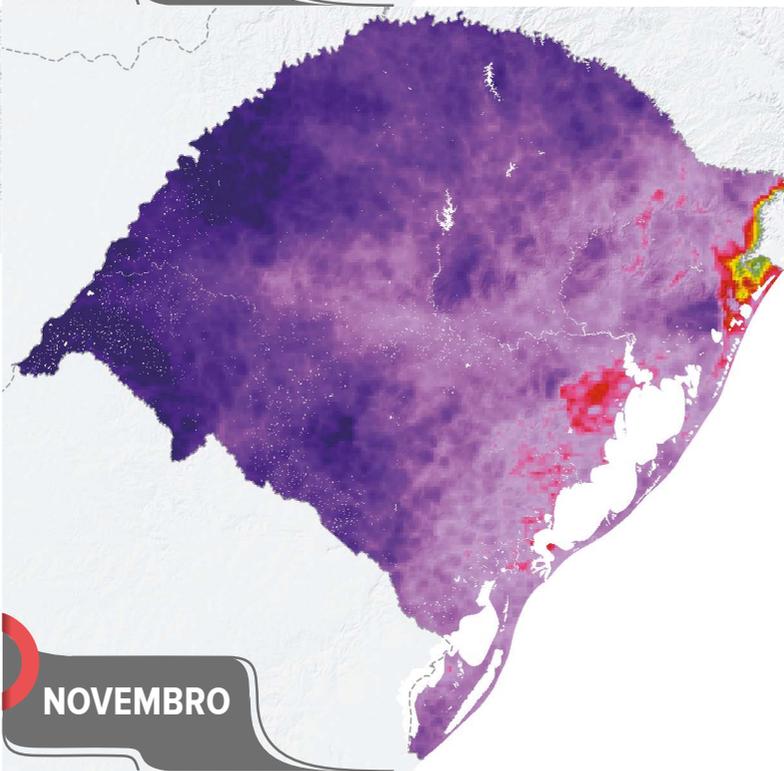
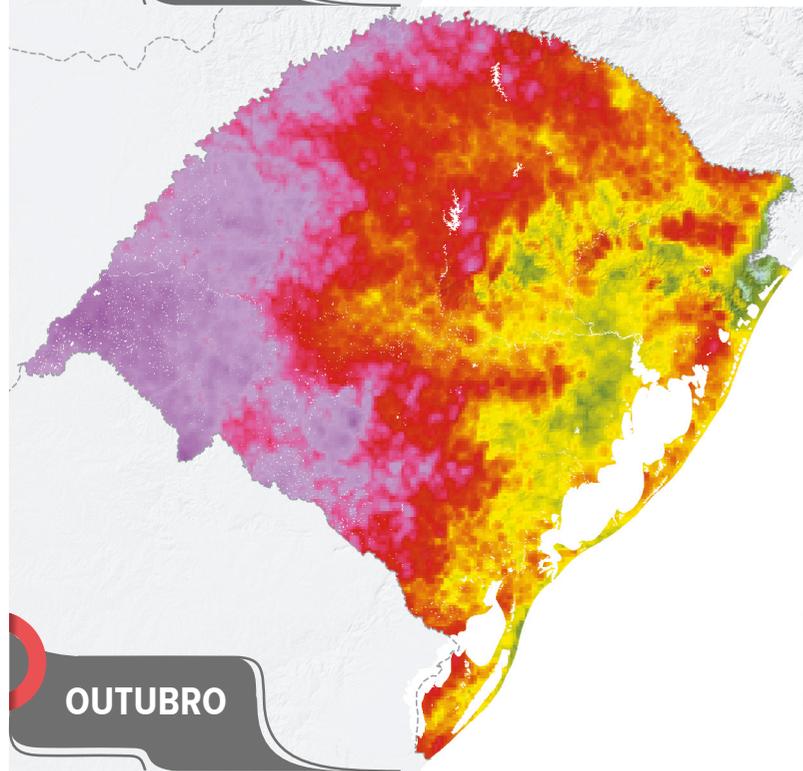
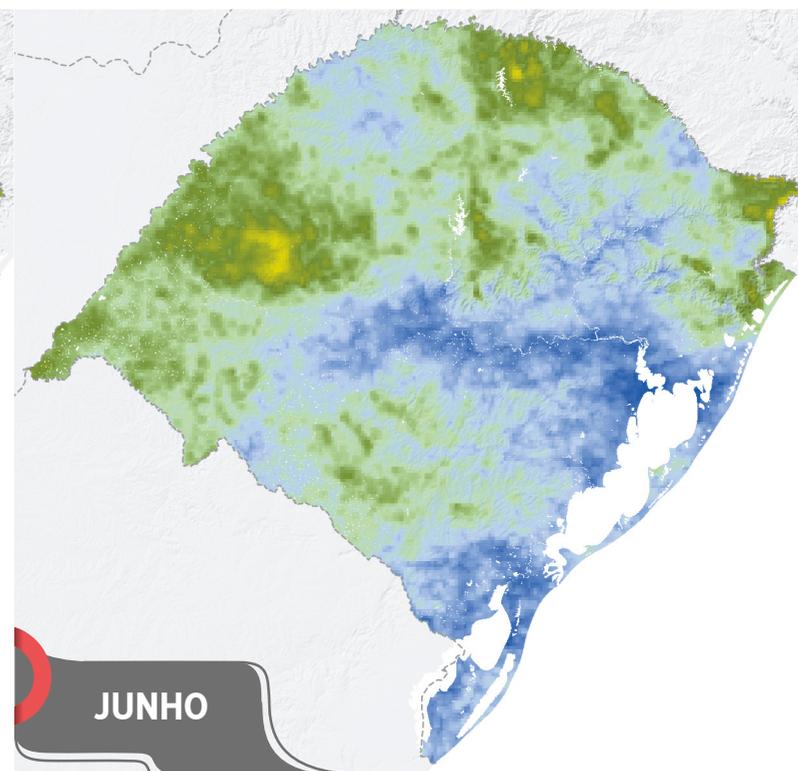
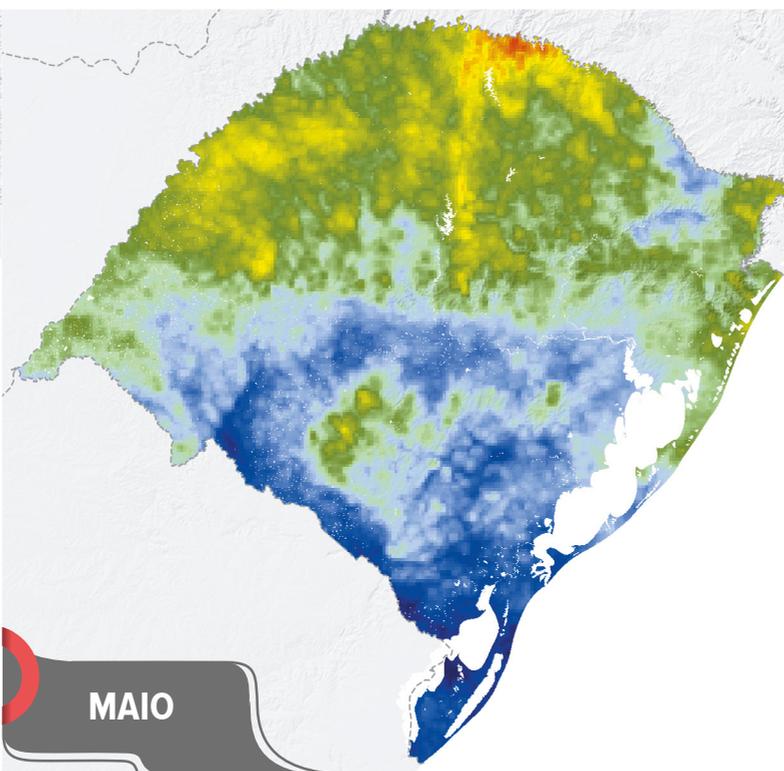
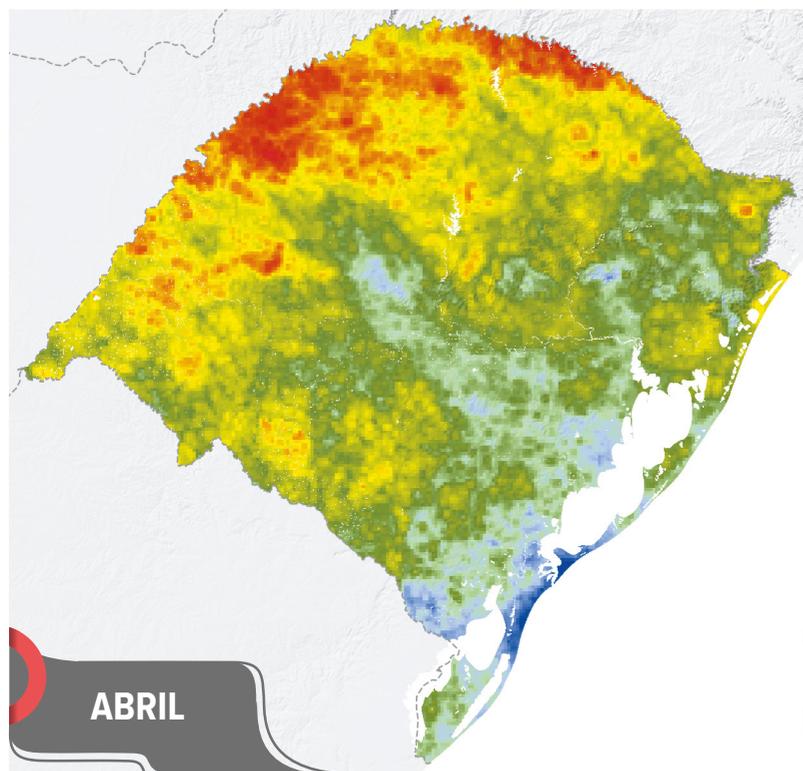
MAPA 6.9

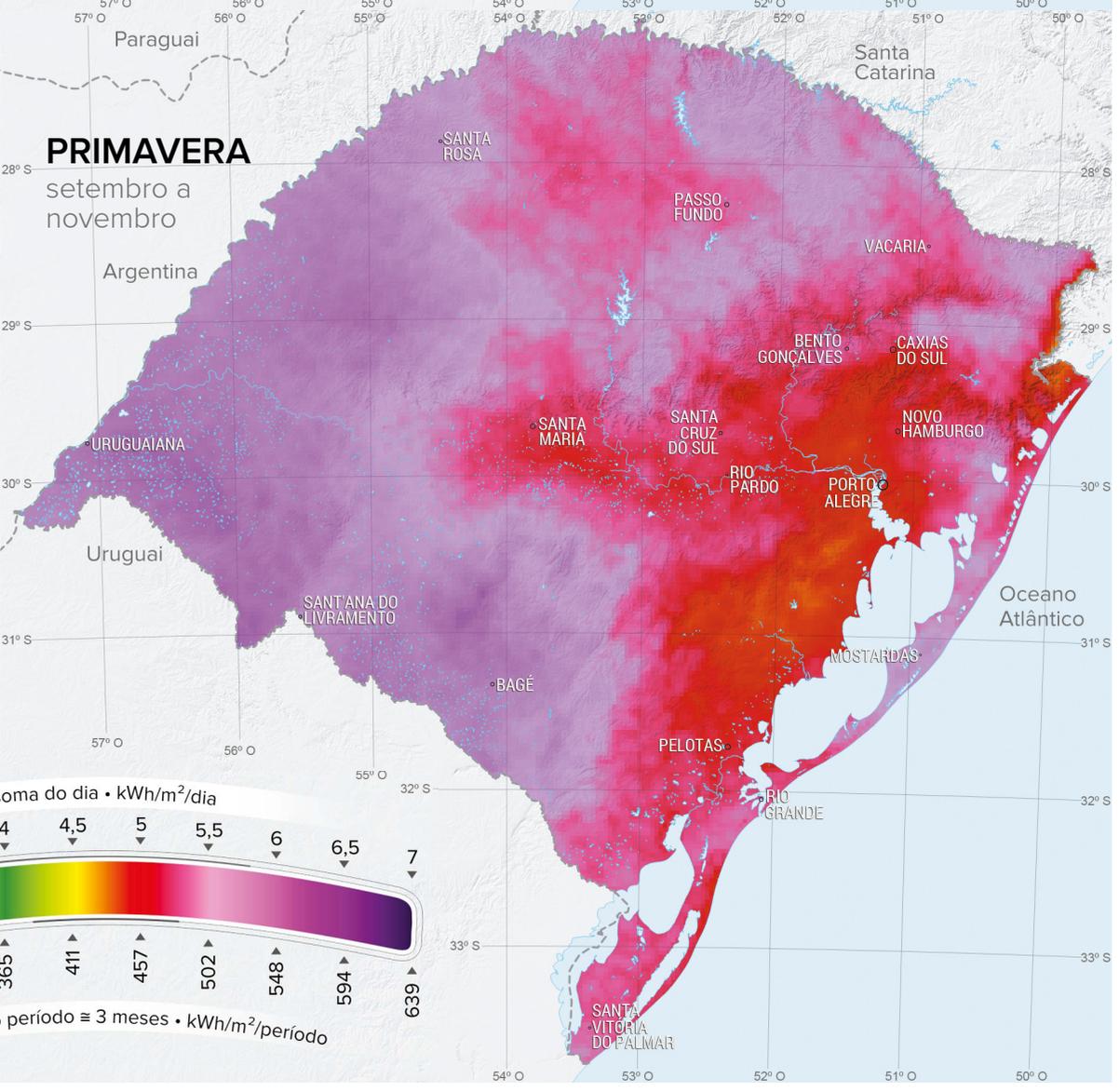
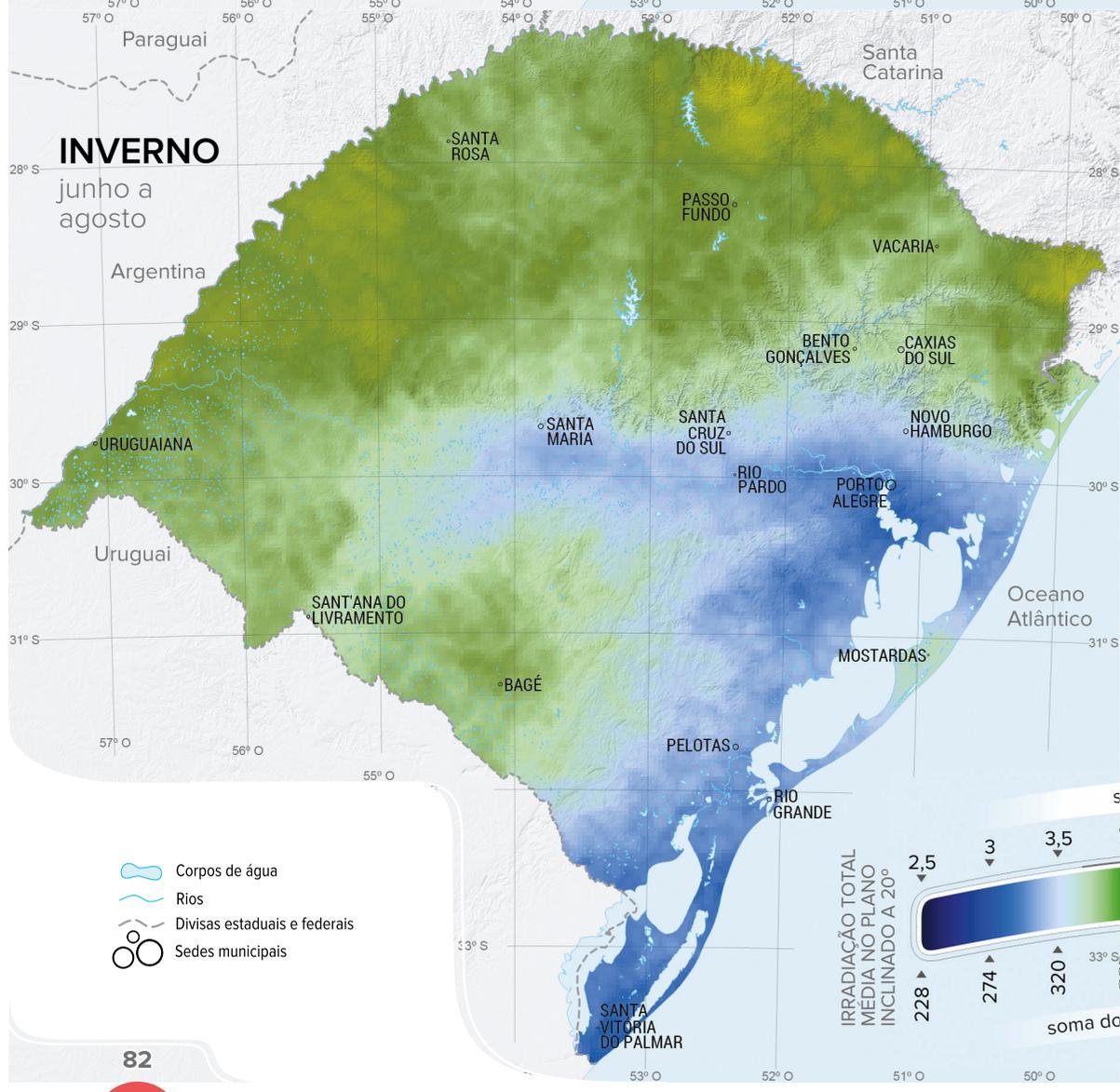
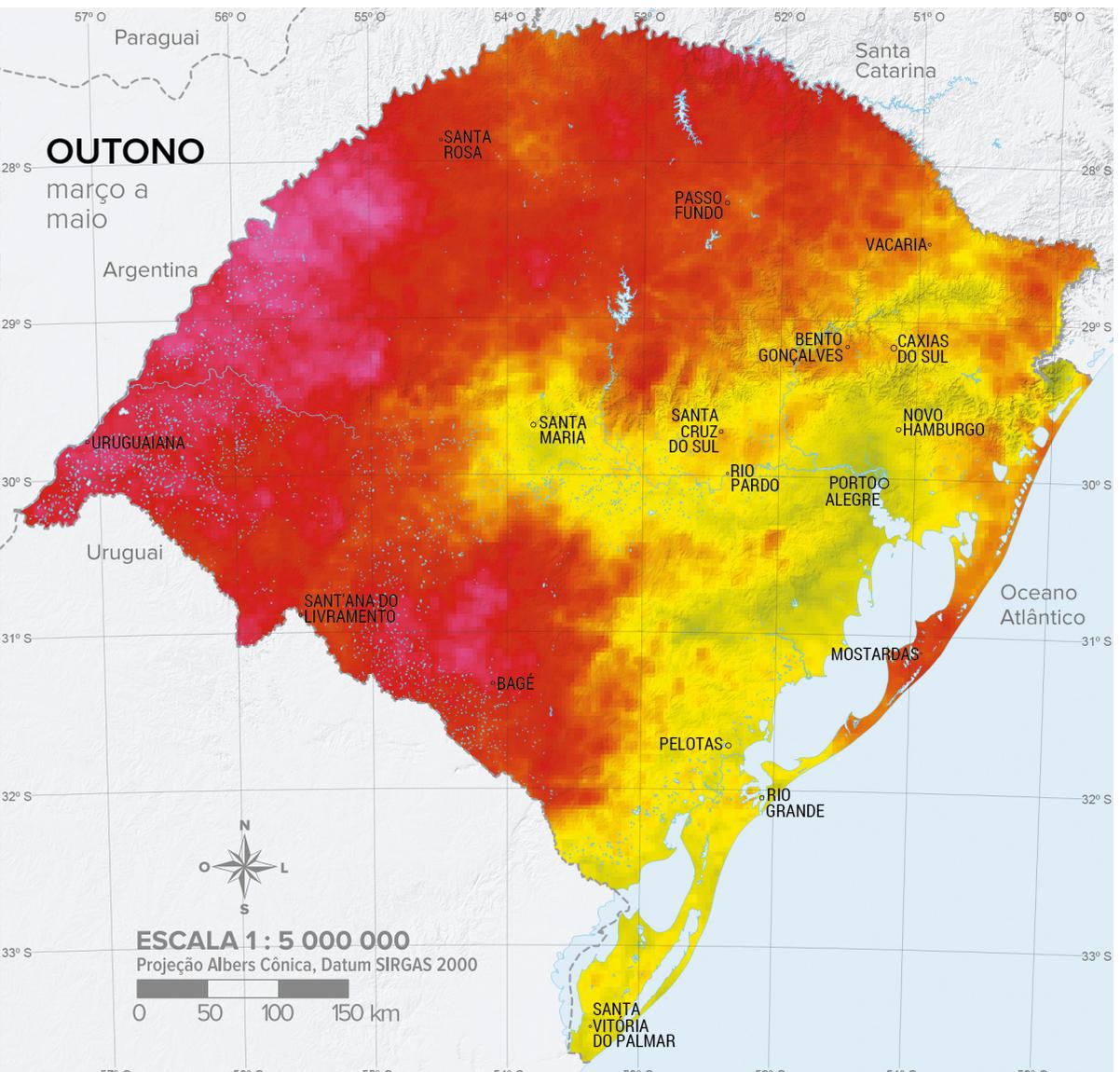
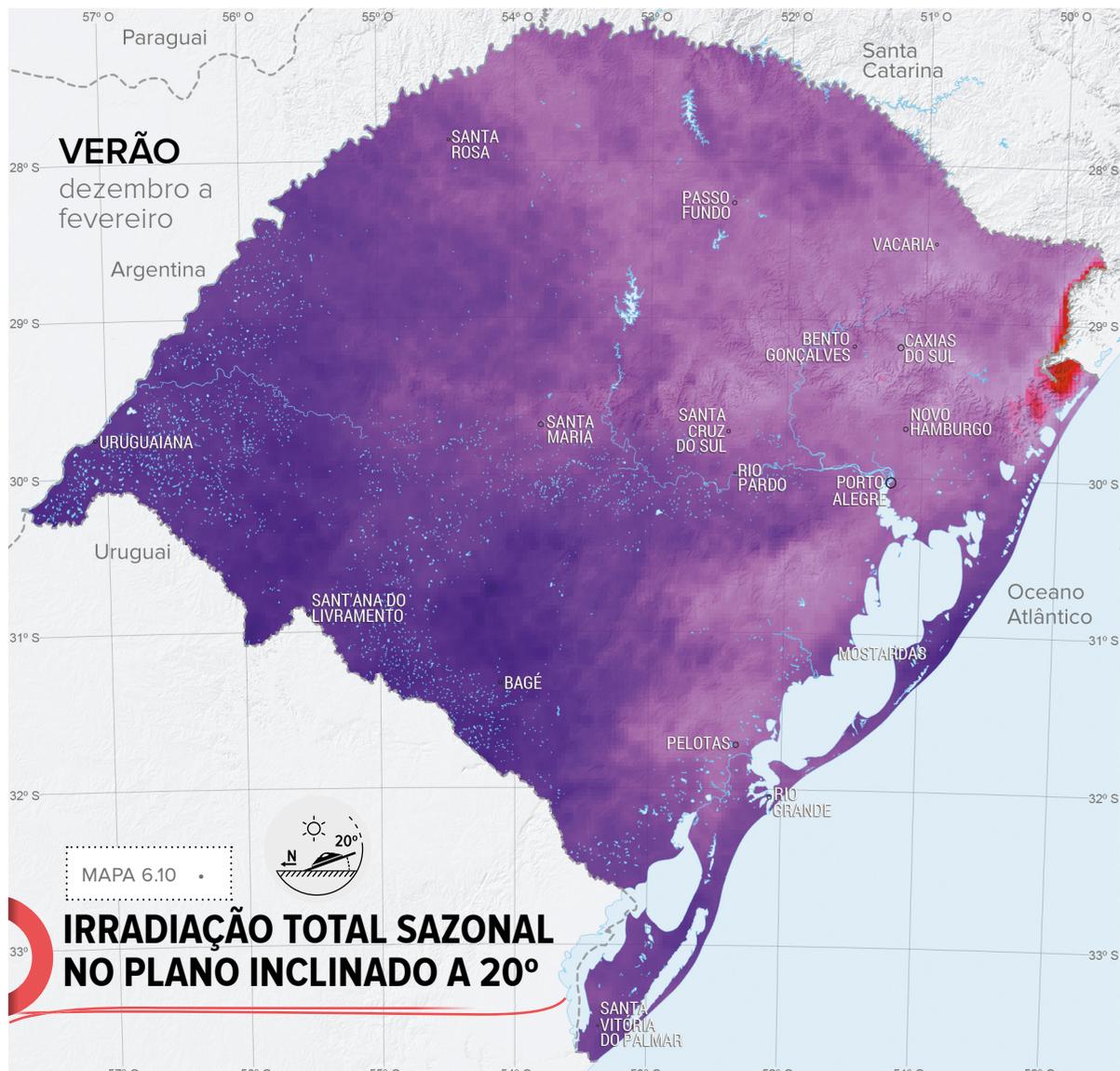




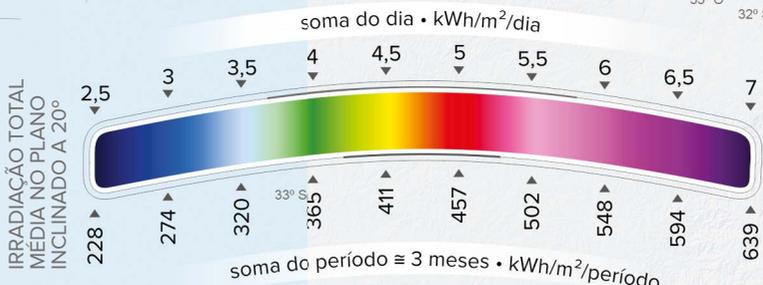
ESCALA 1 : 7 500 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000

0 50 100 150 km



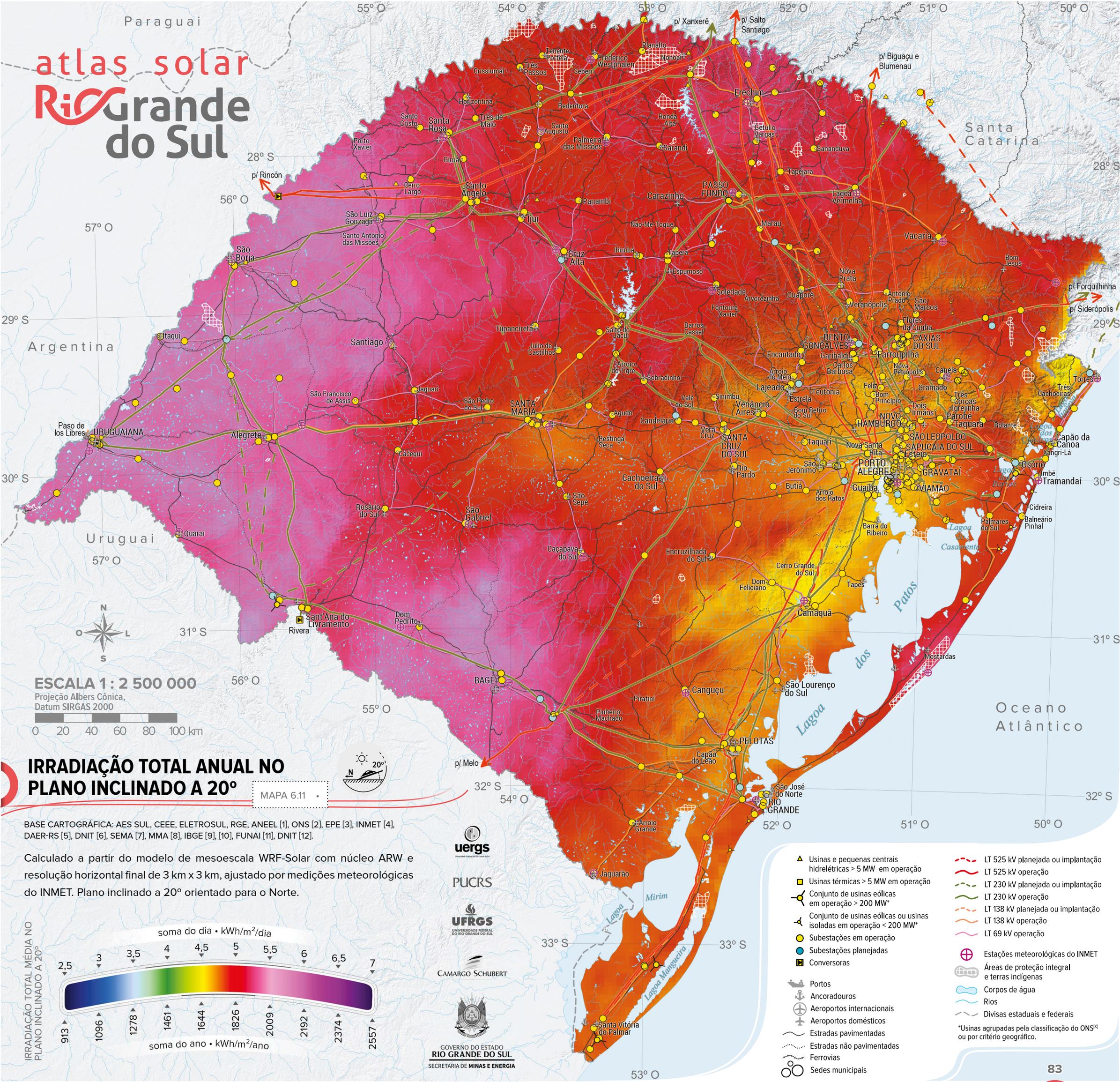


- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais
- Sedes municipais



atlas solar

Rio Grande do Sul

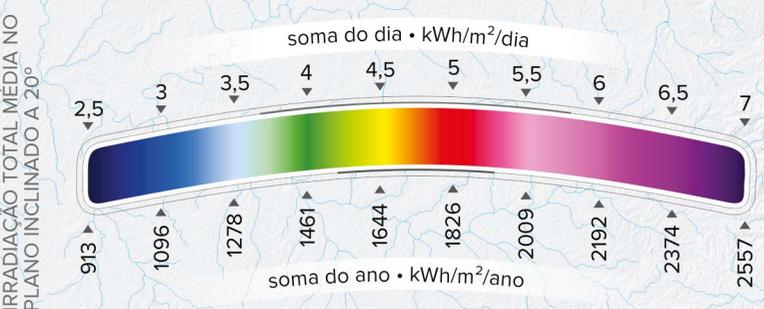


IRRADIAÇÃO TOTAL ANUAL NO PLANO INCLINADO A 20°

MAPA 6.11

BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL [1], ONS [2], EPE [3], INMET [4], DAER-RS [5], DNIT [6], SEMA [7], MMA [8], IBGE [9], [10], FUNAI [11], DNIT [12].

Calculado a partir do modelo de mesoescala WRF-Solar com núcleo ARW e resolução horizontal final de 3 km x 3 km, ajustado por medições meteorológicas do INMET. Plano inclinado a 20° orientado para o Norte.











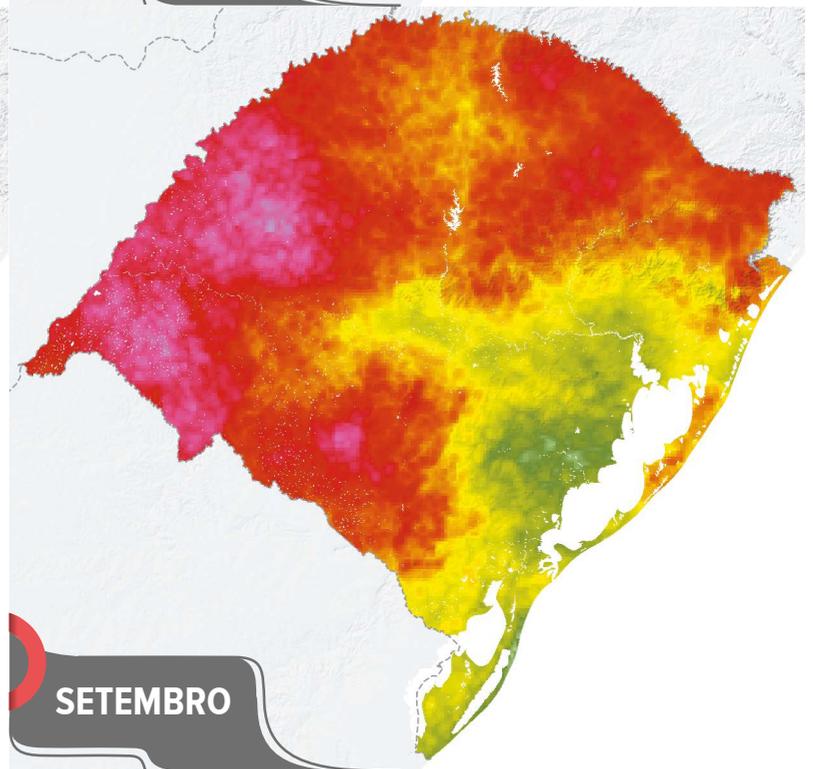
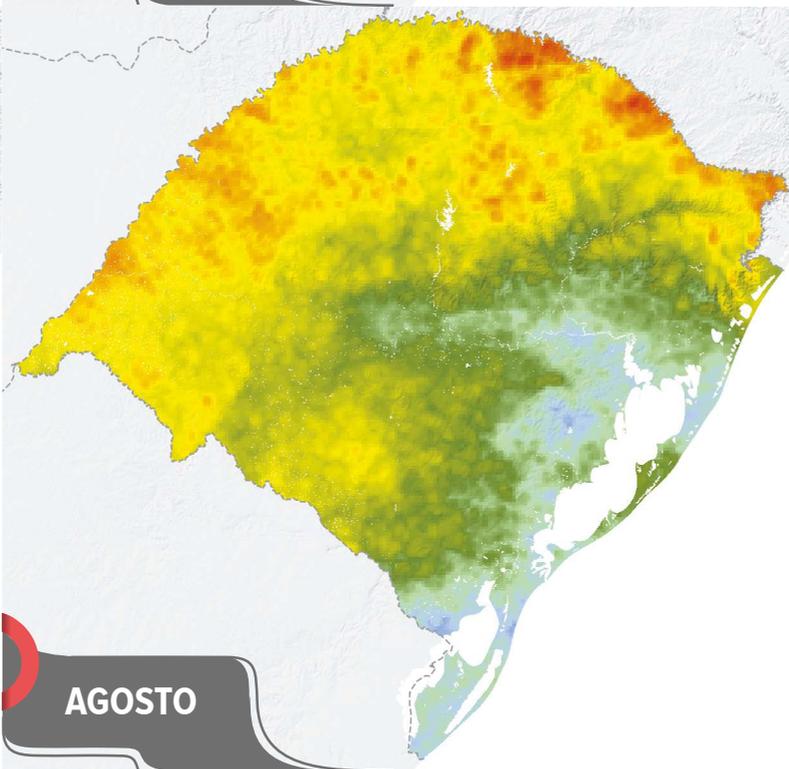
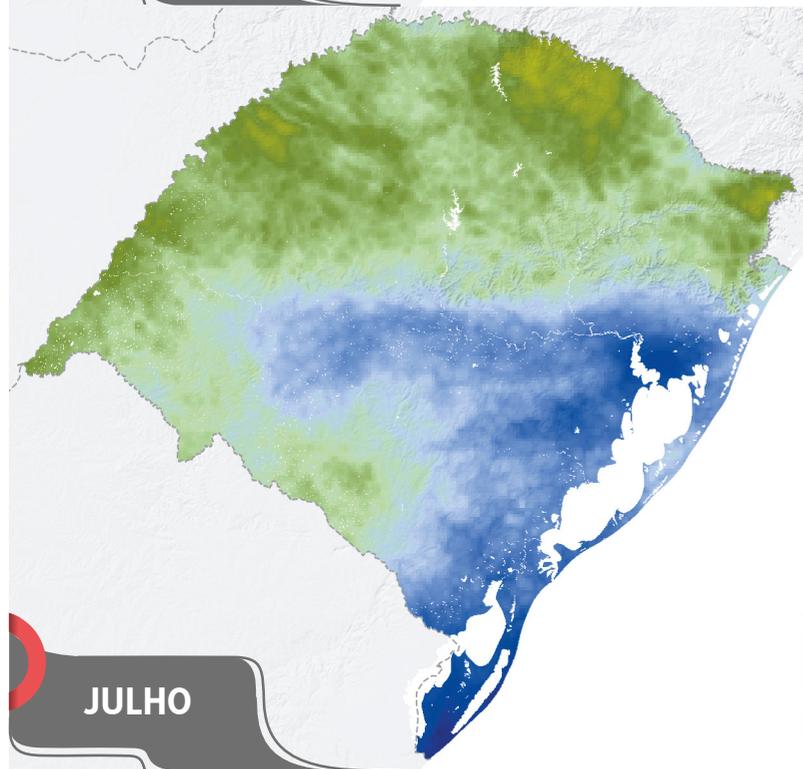
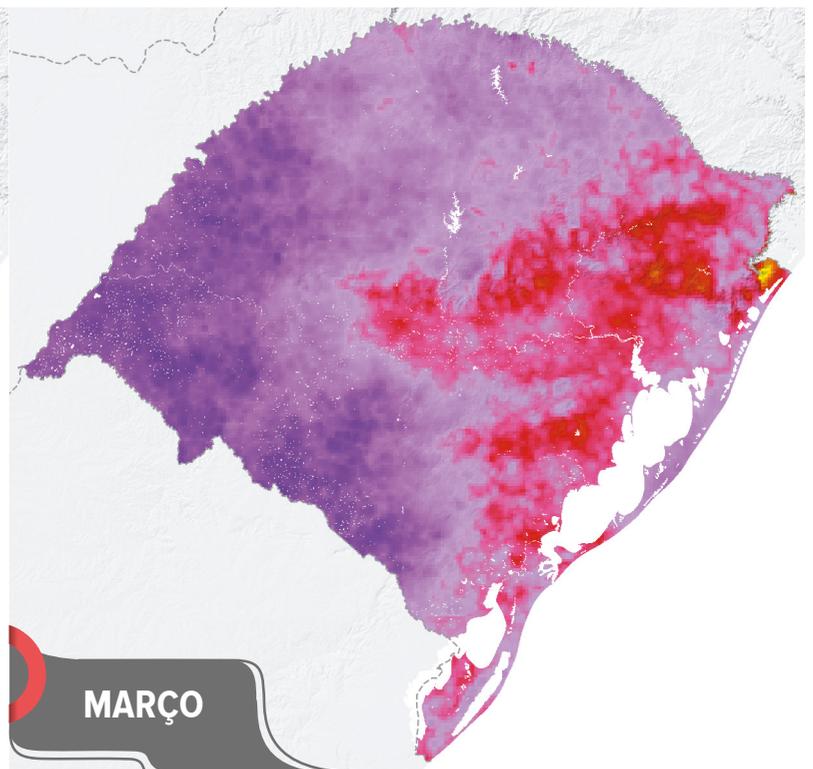
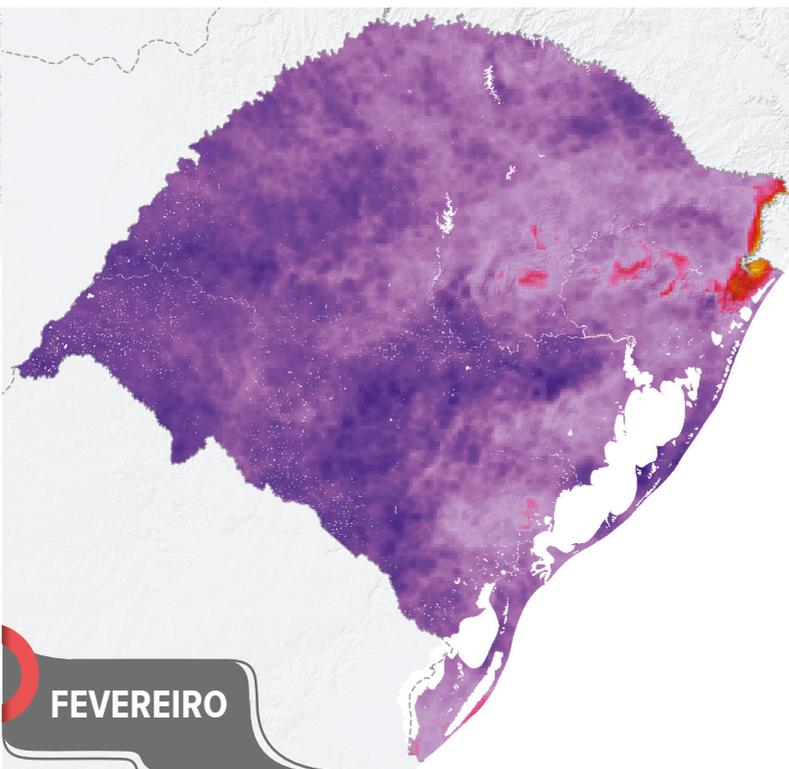
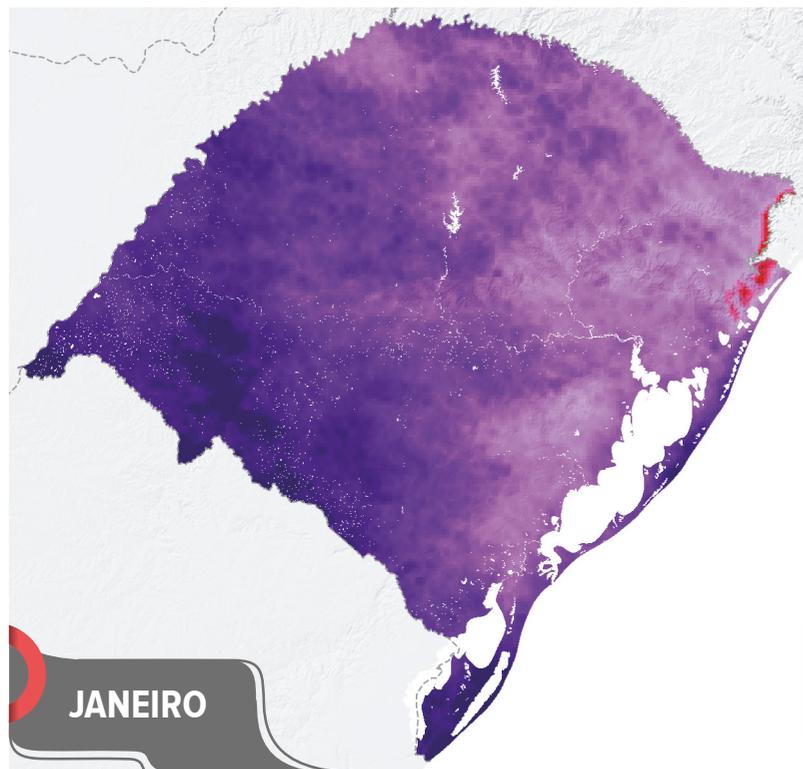
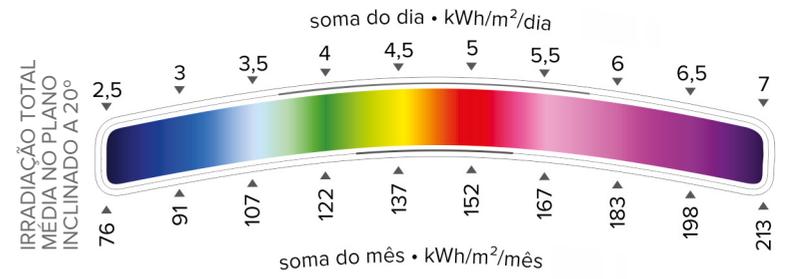
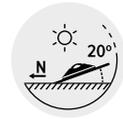


 SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

-  Usinas e pequenas centrais hidrelétricas > 5 MW em operação
 -  Usinas térmicas > 5 MW em operação
 -  Conjunto de usinas eólicas em operação > 200 MW*
 -  Conjunto de usinas eólicas ou usinas isoladas em operação < 200 MW*
 -  Subestações em operação
 -  Subestações planejadas
 -  Conversoras
 -  Portos
 -  Ancoradouros
 -  Aeroportos internacionais
 -  Aeroportos domésticos
 -  Estradas pavimentadas
 -  Estradas não pavimentadas
 -  Ferrovias
 -  Sedes municipais
 -  LT 525 kV planejada ou implantação
 -  LT 525 kV operação
 -  LT 230 kV planejada ou implantação
 -  LT 230 kV operação
 -  LT 138 kV planejada ou implantação
 -  LT 138 kV operação
 -  LT 69 kV operação
 -  Estações meteorológicas do INMET
 -  Áreas de proteção integral e terras indígenas
 -  Corpos de água
 -  Rios
 -  Divisas estaduais e federais
- *Usinas agrupadas pela classificação do ONS^{xi} ou por critério geográfico.

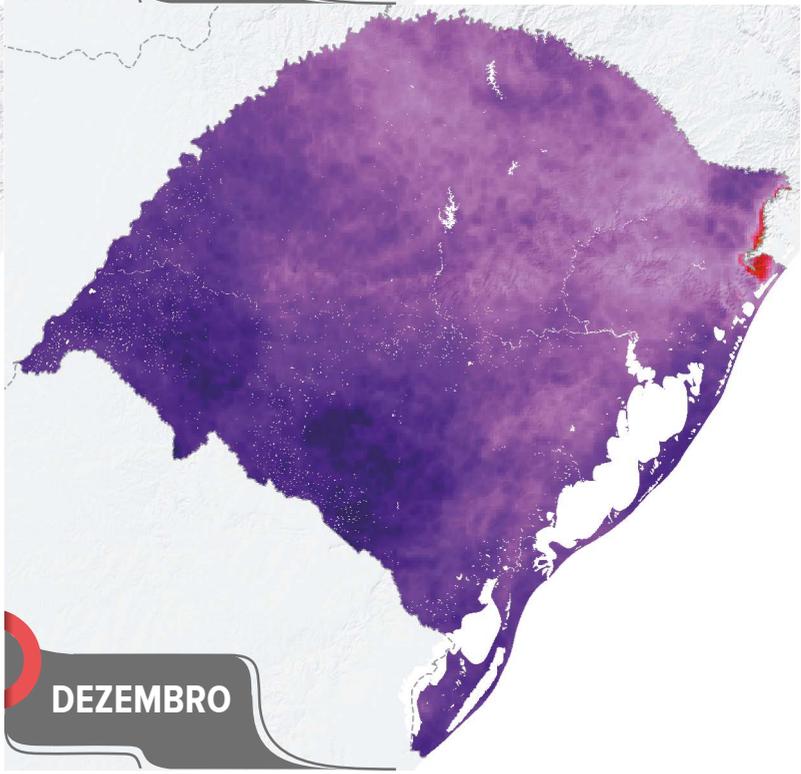
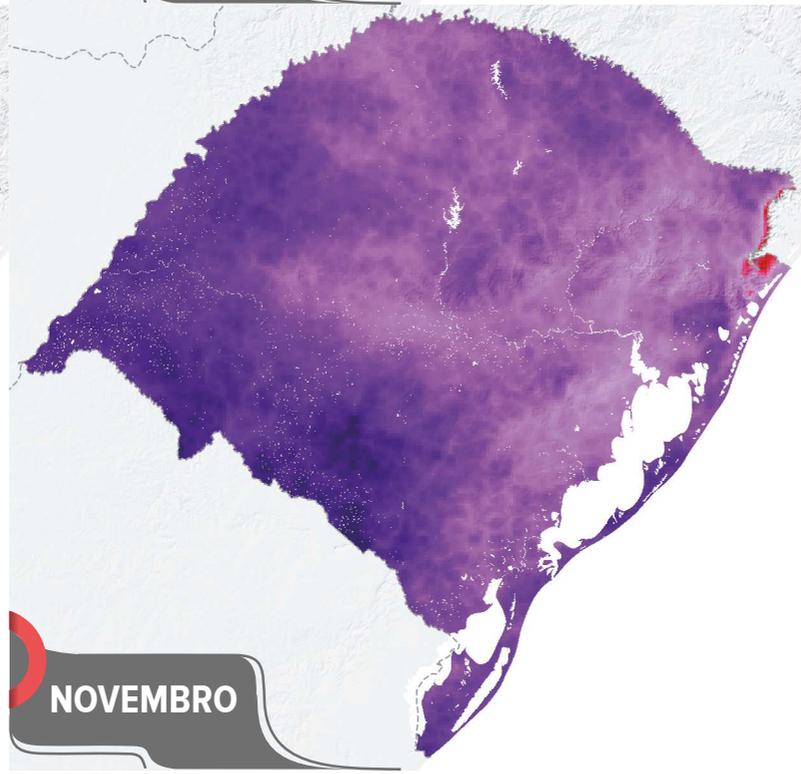
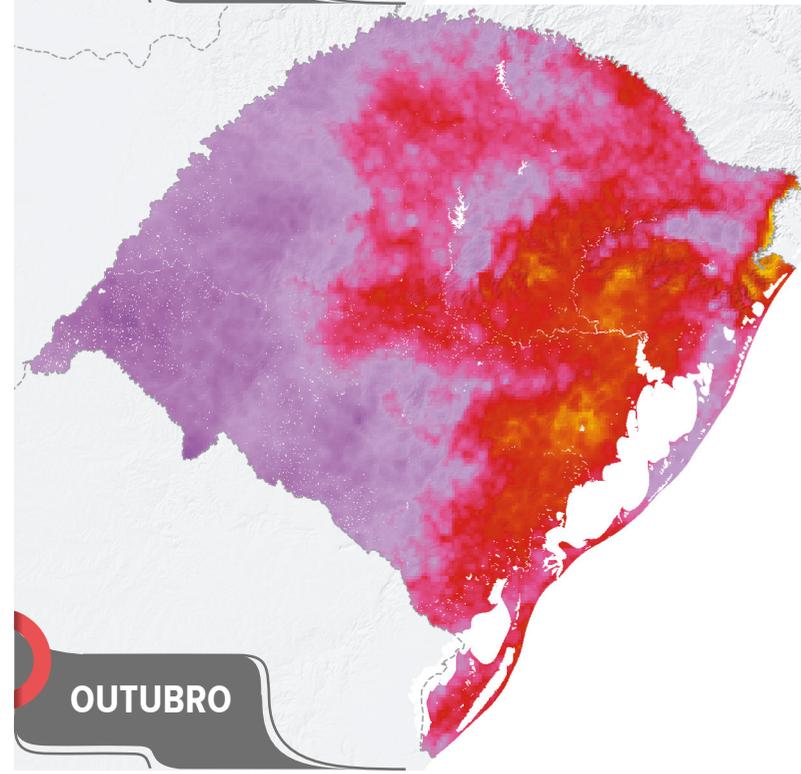
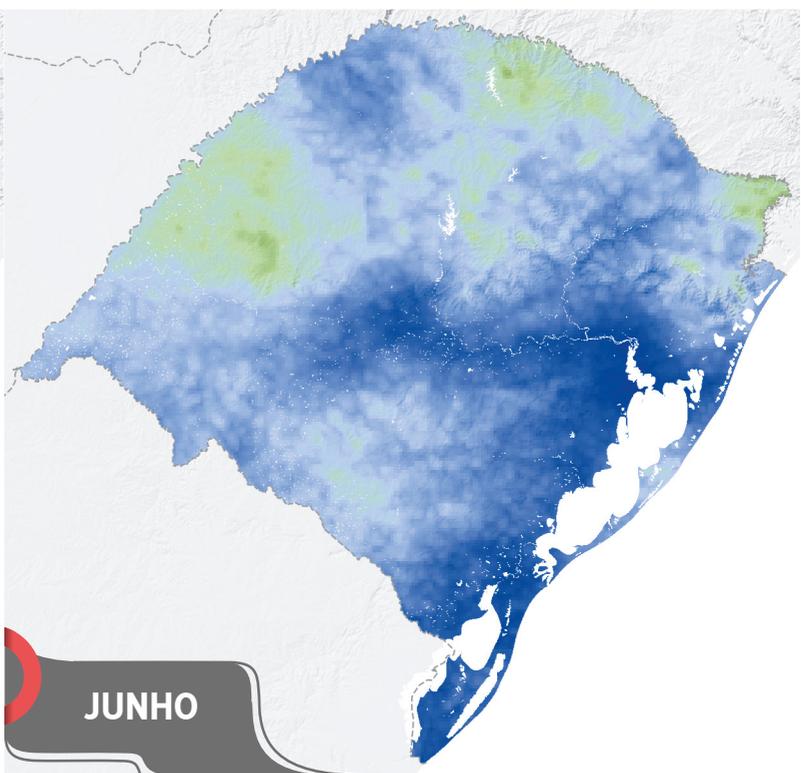
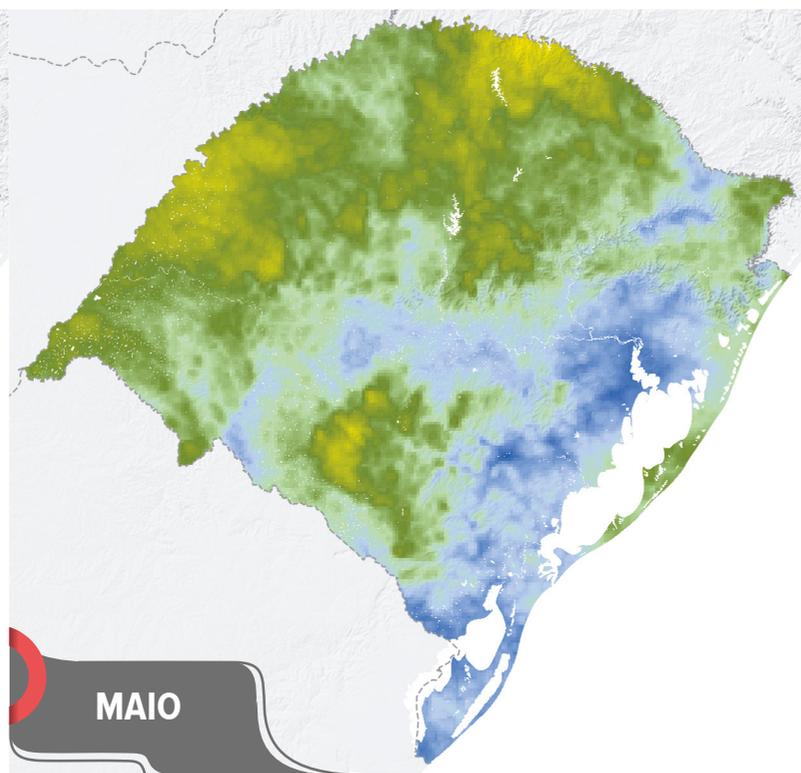
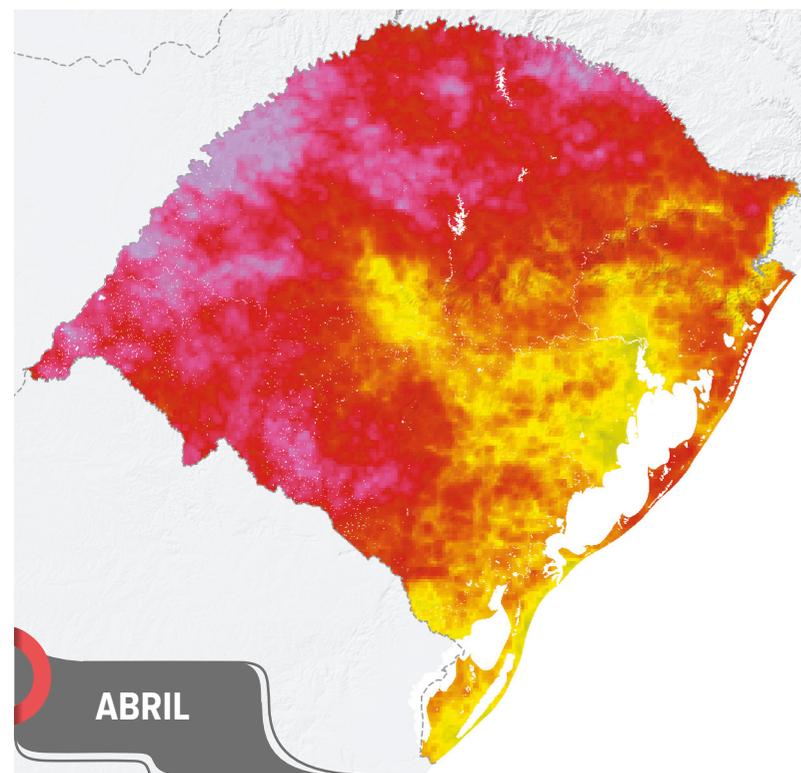
IRRADIAÇÃO TOTAL MENSAL NO PLANO INCLINADO A 20°

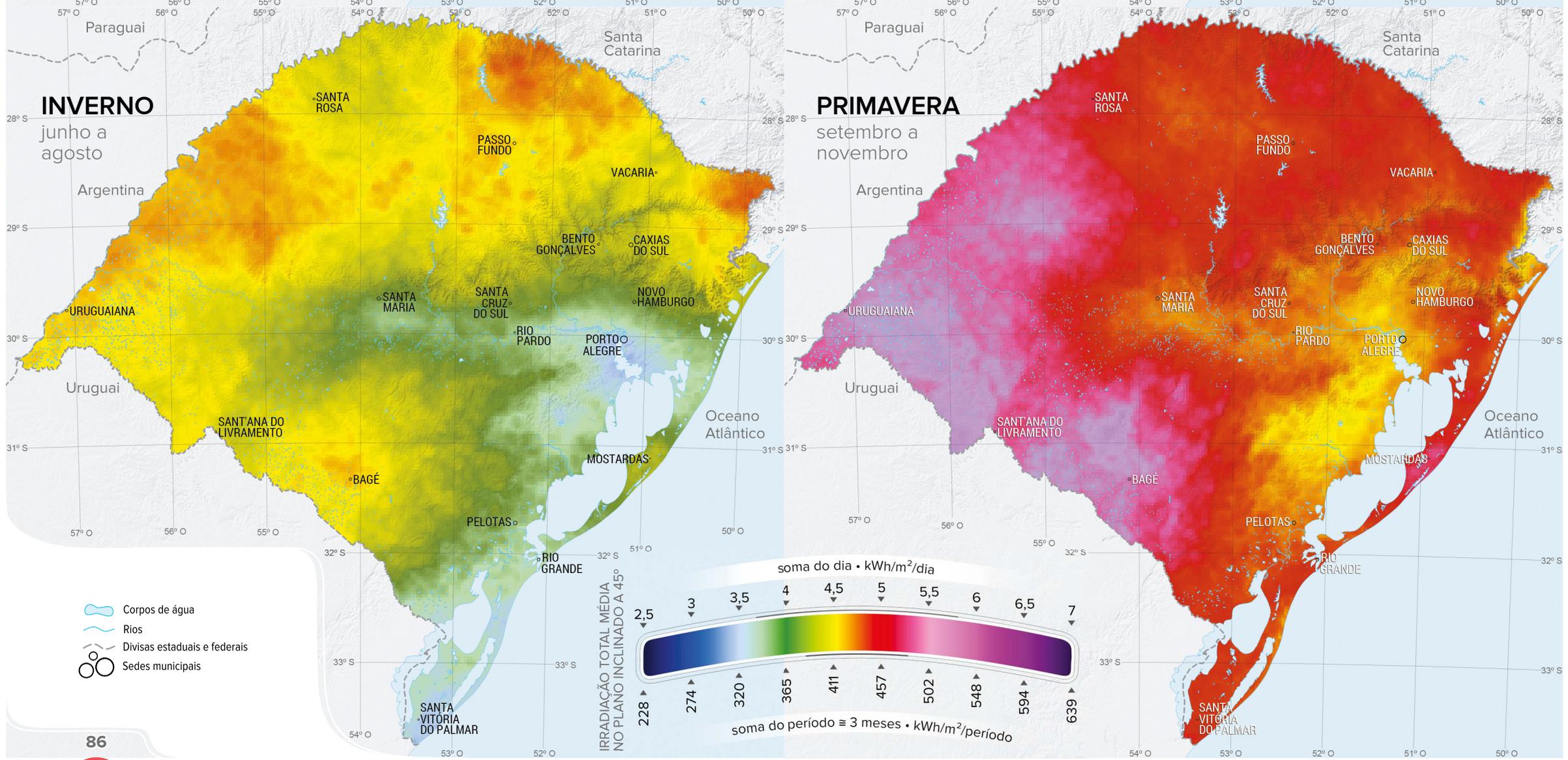
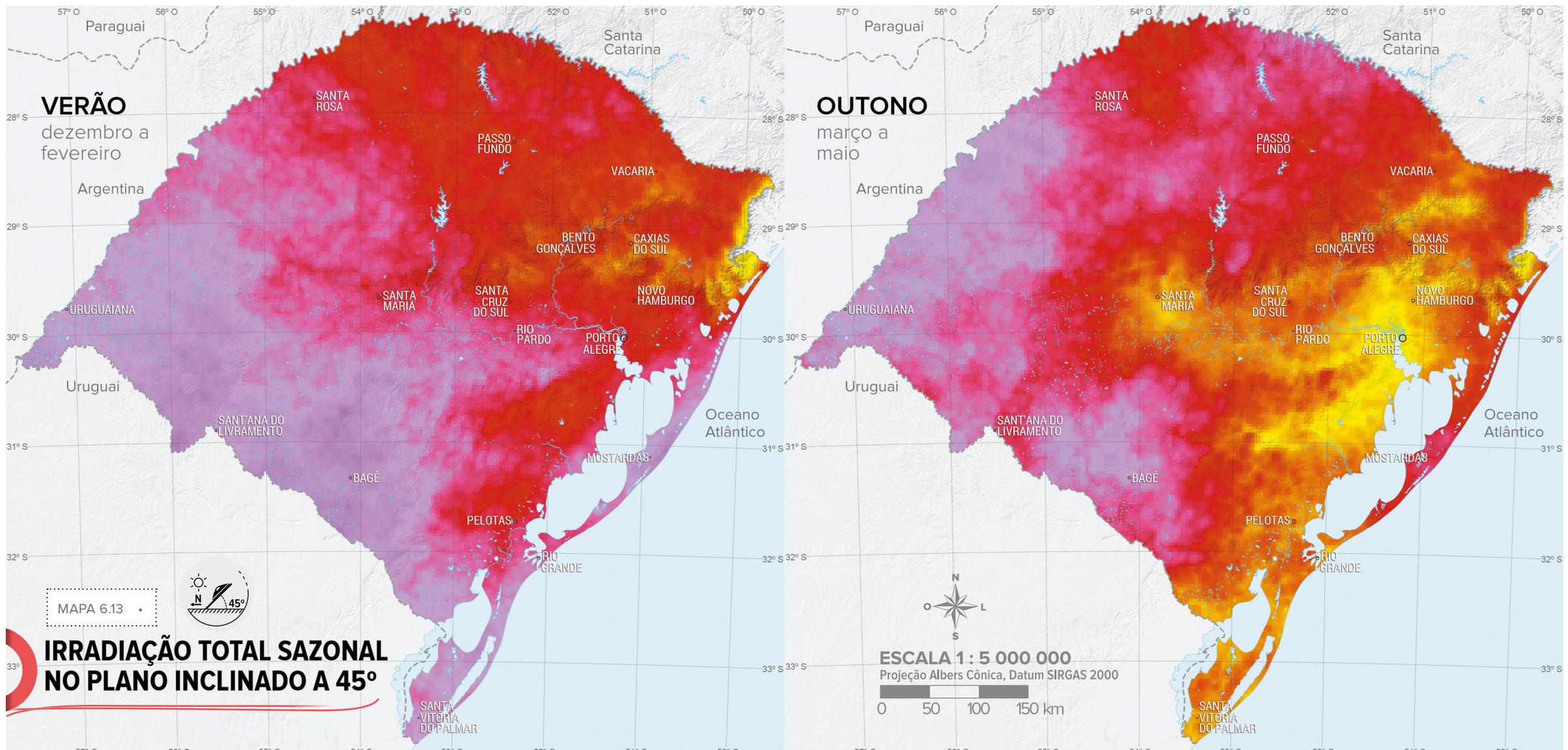
MAPA 6.12





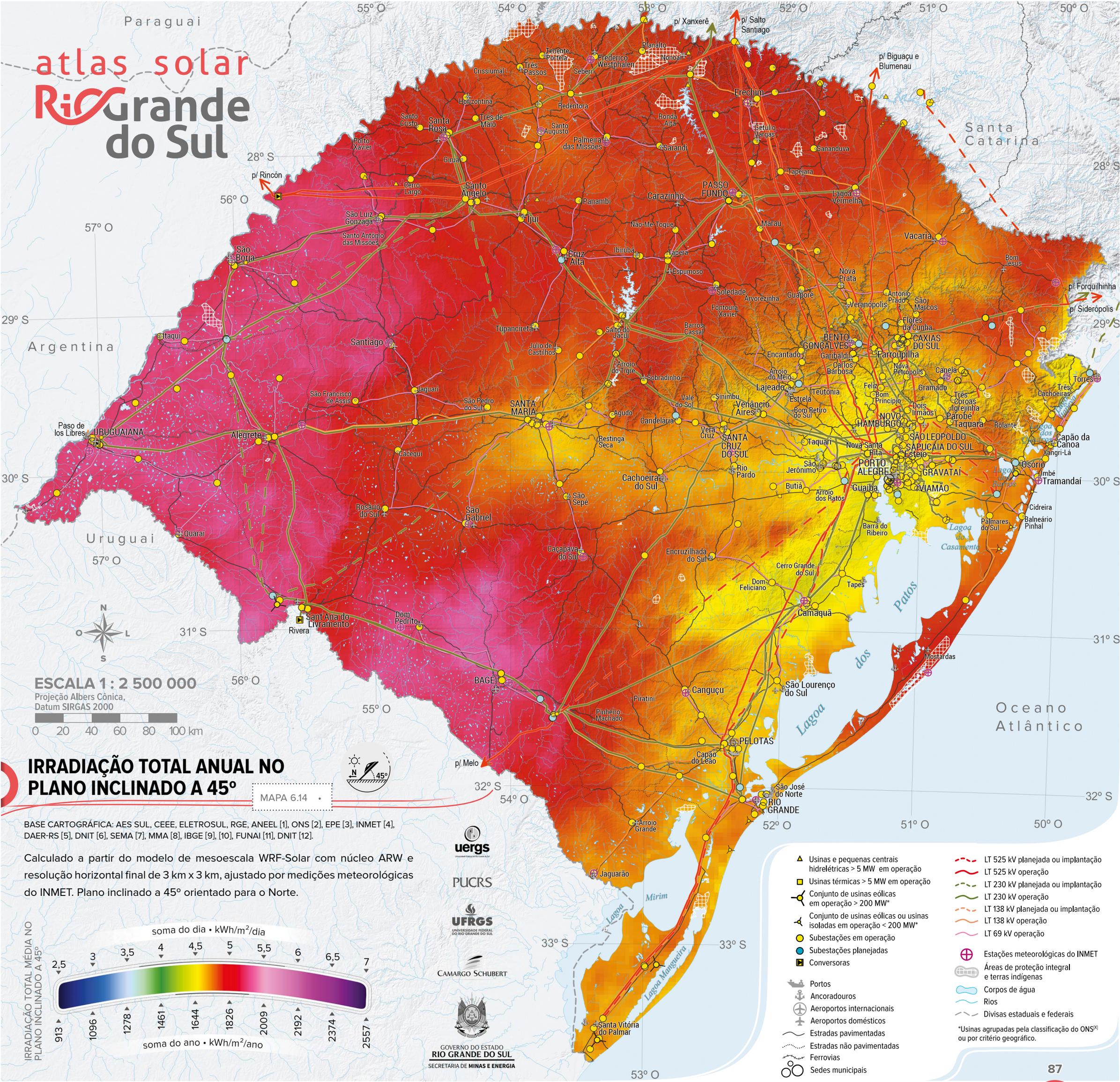
ESCALA 1 : 7 500 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000





atlas solar

Rio Grande do Sul



ESCALA 1 : 2 500 000

Projeção Albers Cônica,
Datum SIRGAS 2000



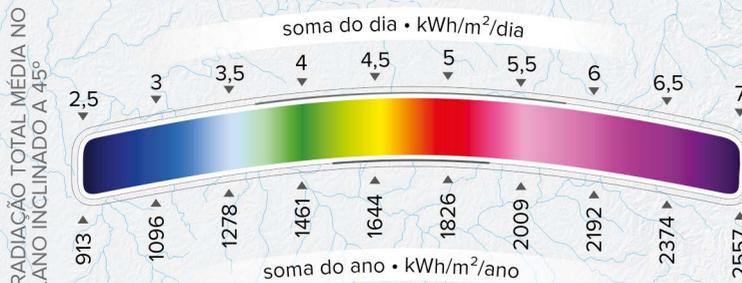
IRRADIAÇÃO TOTAL ANUAL NO PLANO INCLINADO A 45°

MAPA 6.14



BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL [1], ONS [2], EPE [3], INMET [4], DAER-RS [5], DNIT [6], SEMA [7], MMA [8], IBGE [9], [10], FUNAI [11], DNIT [12].

Calculado a partir do modelo de mesoescala WRF-Solar com núcleo ARW e resolução horizontal final de 3 km x 3 km, ajustado por medições meteorológicas do INMET. Plano inclinado a 45° orientado para o Norte.



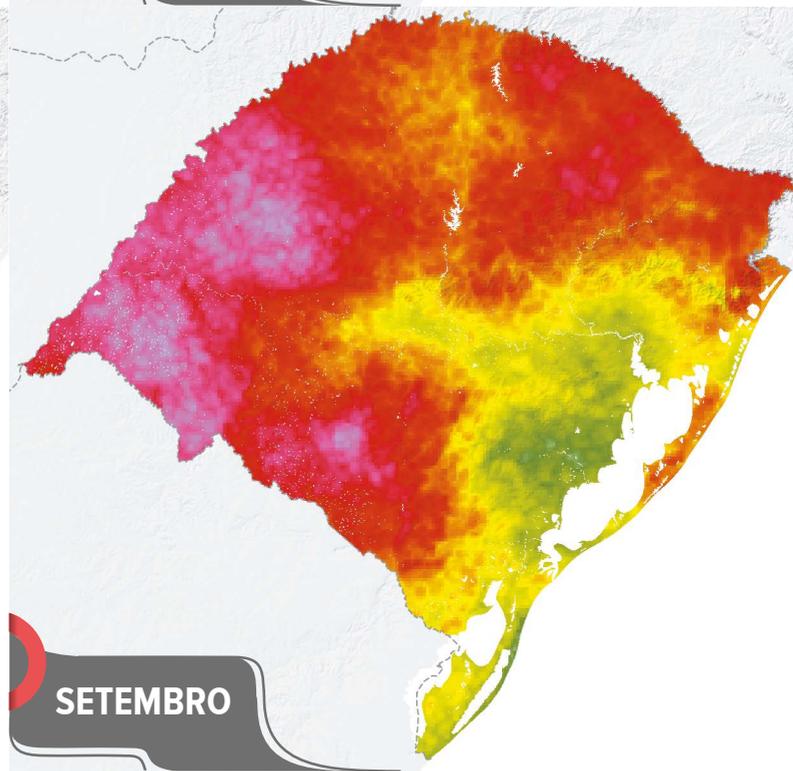
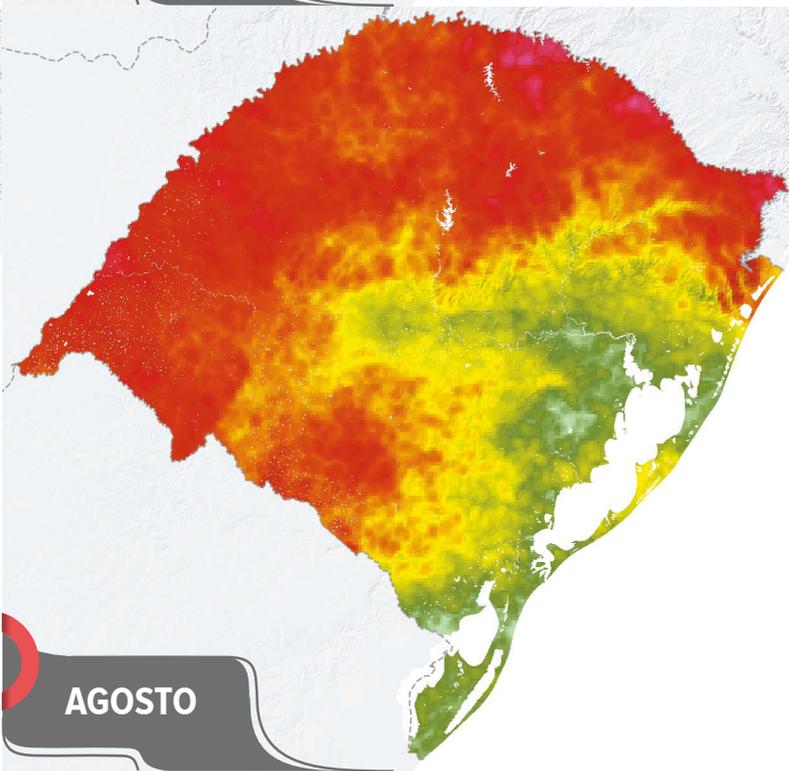
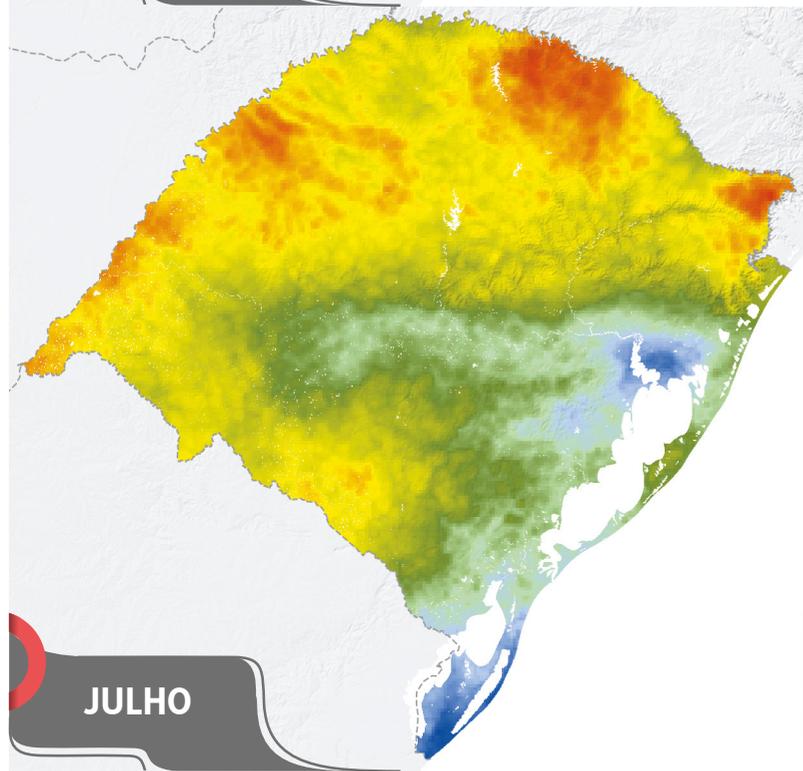
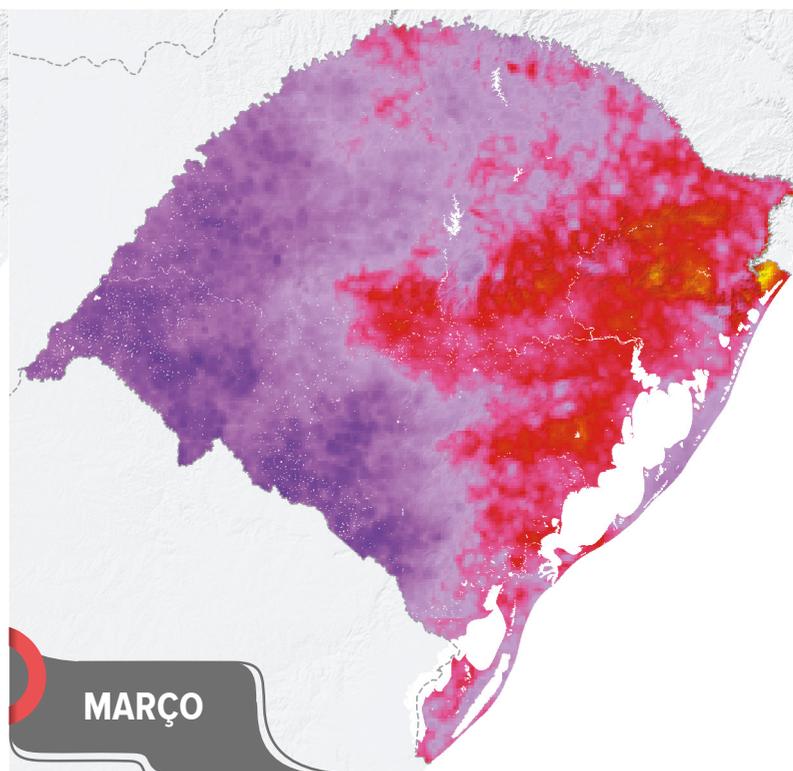
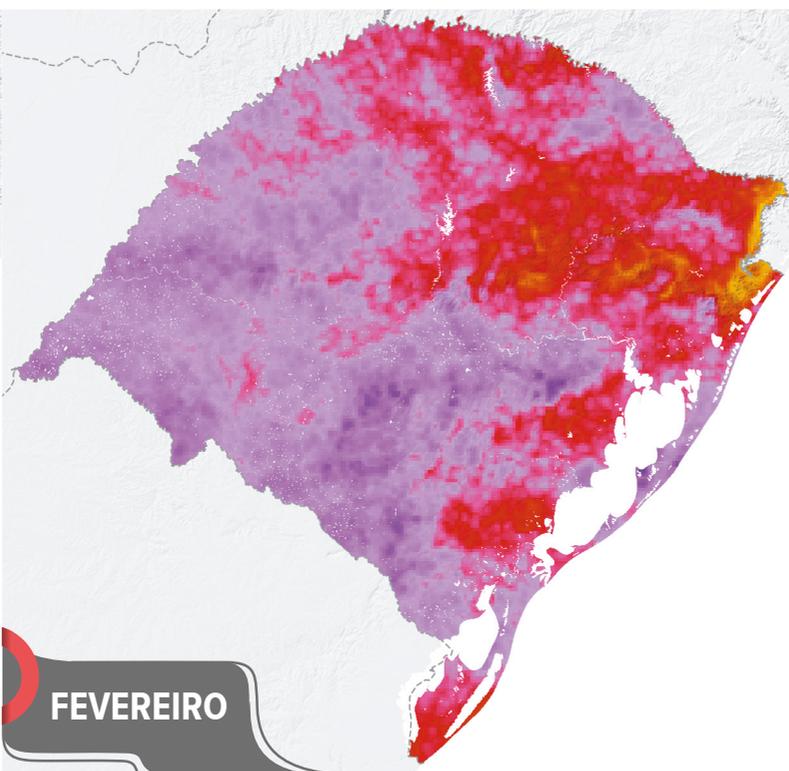
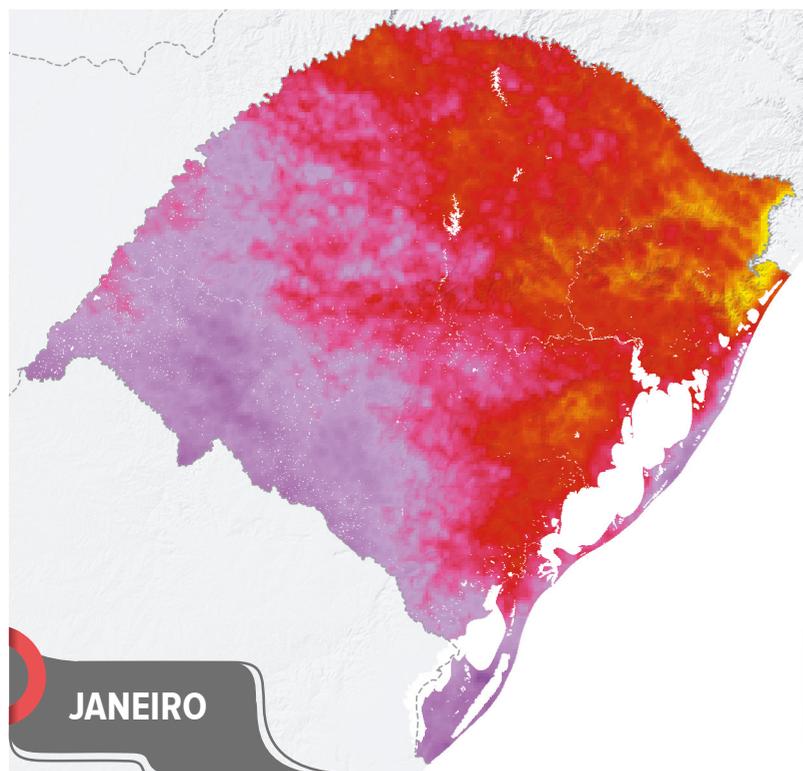
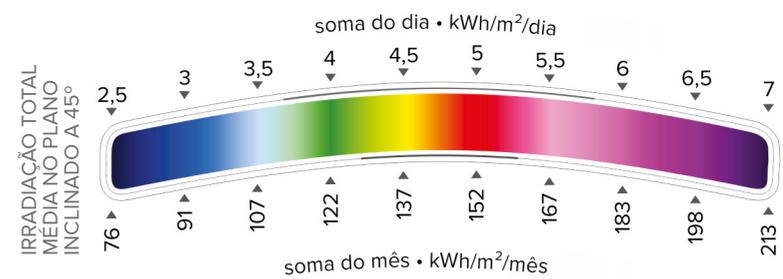
- Usinas e pequenas centrais hidrelétricas > 5 MW em operação
- Usinas térmicas > 5 MW em operação
- Conjunto de usinas eólicas em operação > 200 MW*
- Conjunto de usinas eólicas ou usinas isoladas em operação < 200 MW*
- Subestações em operação
- Subestações planejadas
- Conversoras
- Portos
- Ancoradouros
- Aeroportos internacionais
- Aeroportos domésticos
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Sedes municipais
- LT 525 kV planejada ou implantação
- LT 525 kV operação
- LT 230 kV planejada ou implantação
- LT 230 kV operação
- LT 138 kV planejada ou implantação
- LT 138 kV operação
- LT 69 kV operação
- Estações meteorológicas do INMET
- Áreas de proteção integral e terras indígenas
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais

*Usinas agrupadas pela classificação do ONS^{xi} ou por critério geográfico.



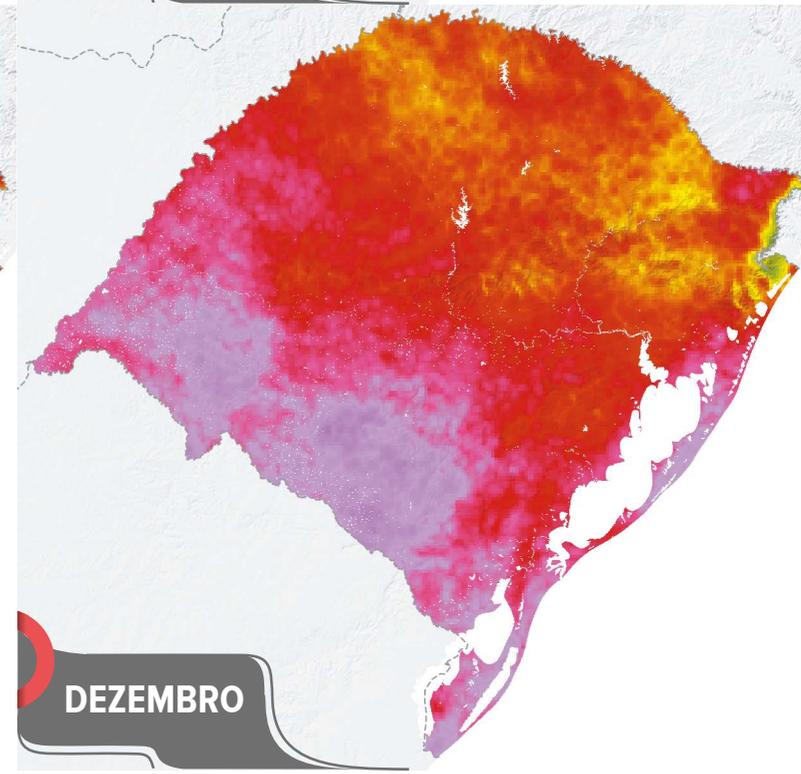
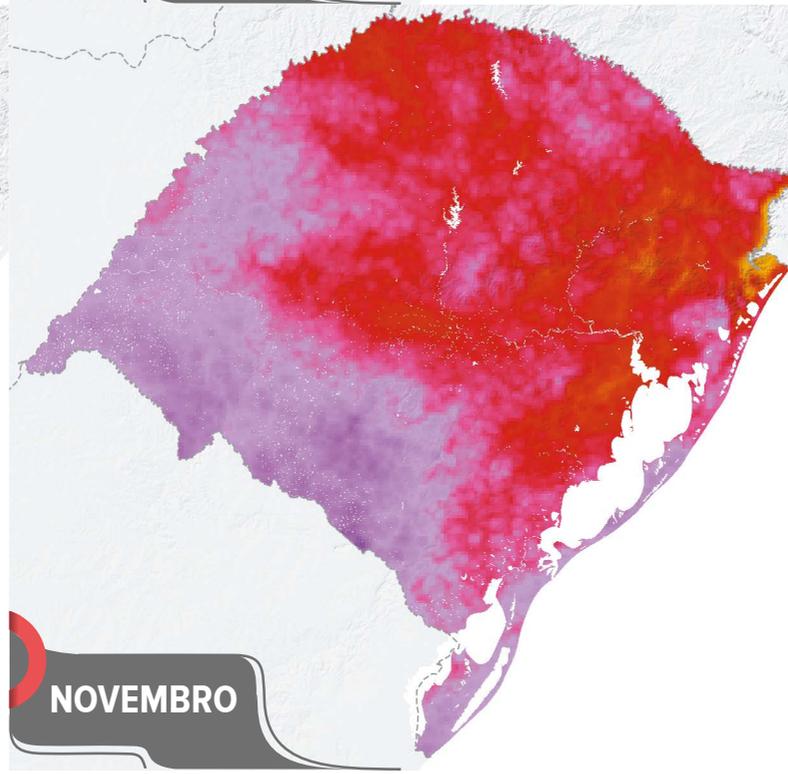
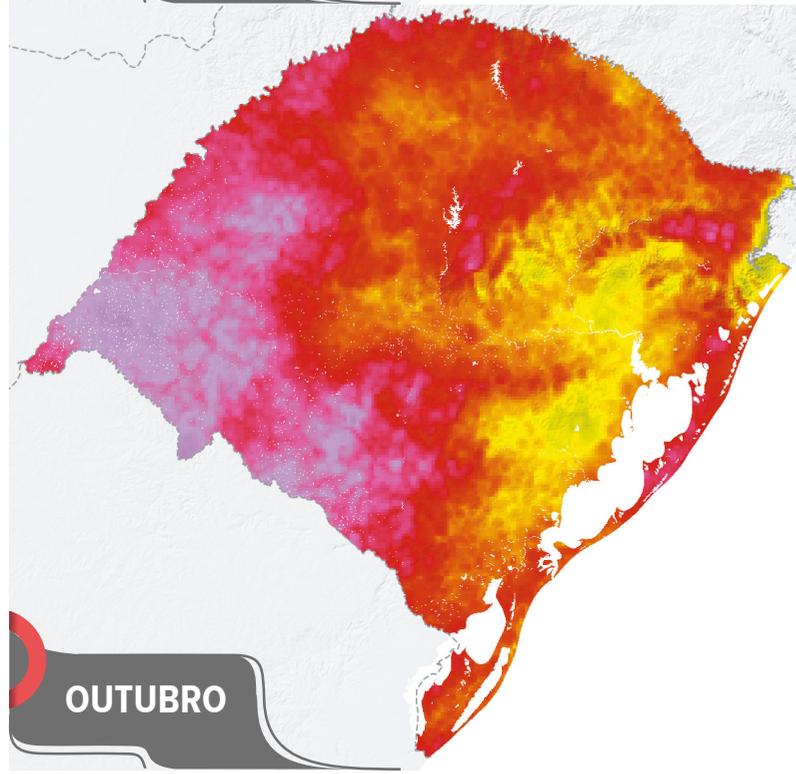
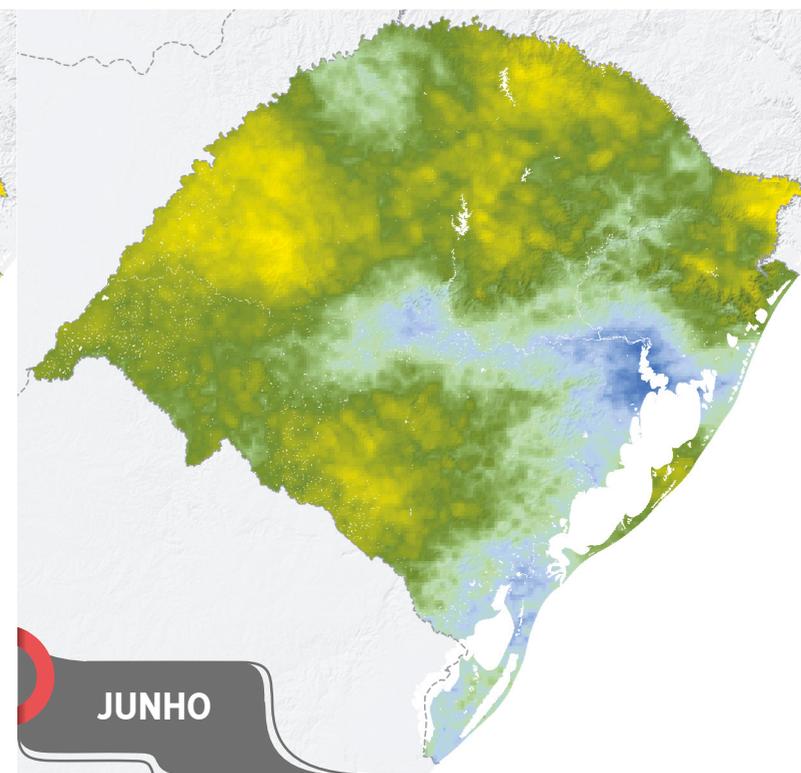
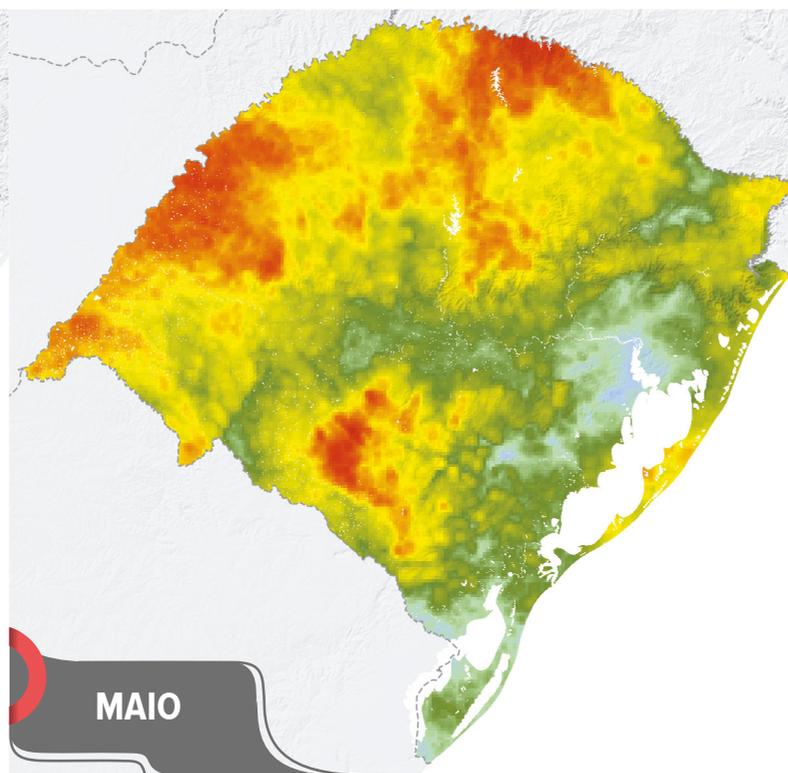
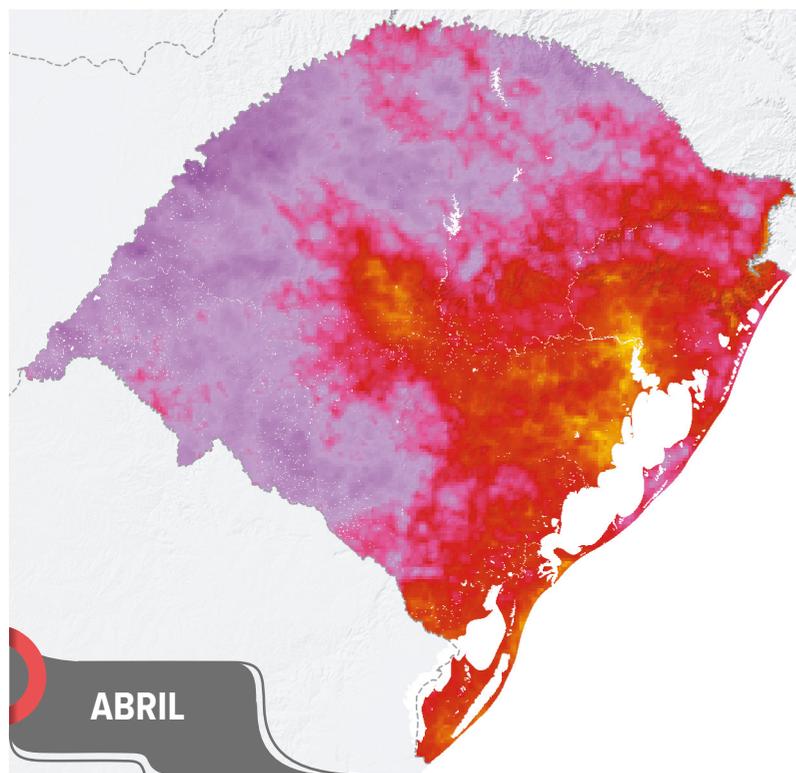
IRRADIAÇÃO TOTAL MENSAL NO PLANO INCLINADO A 45°

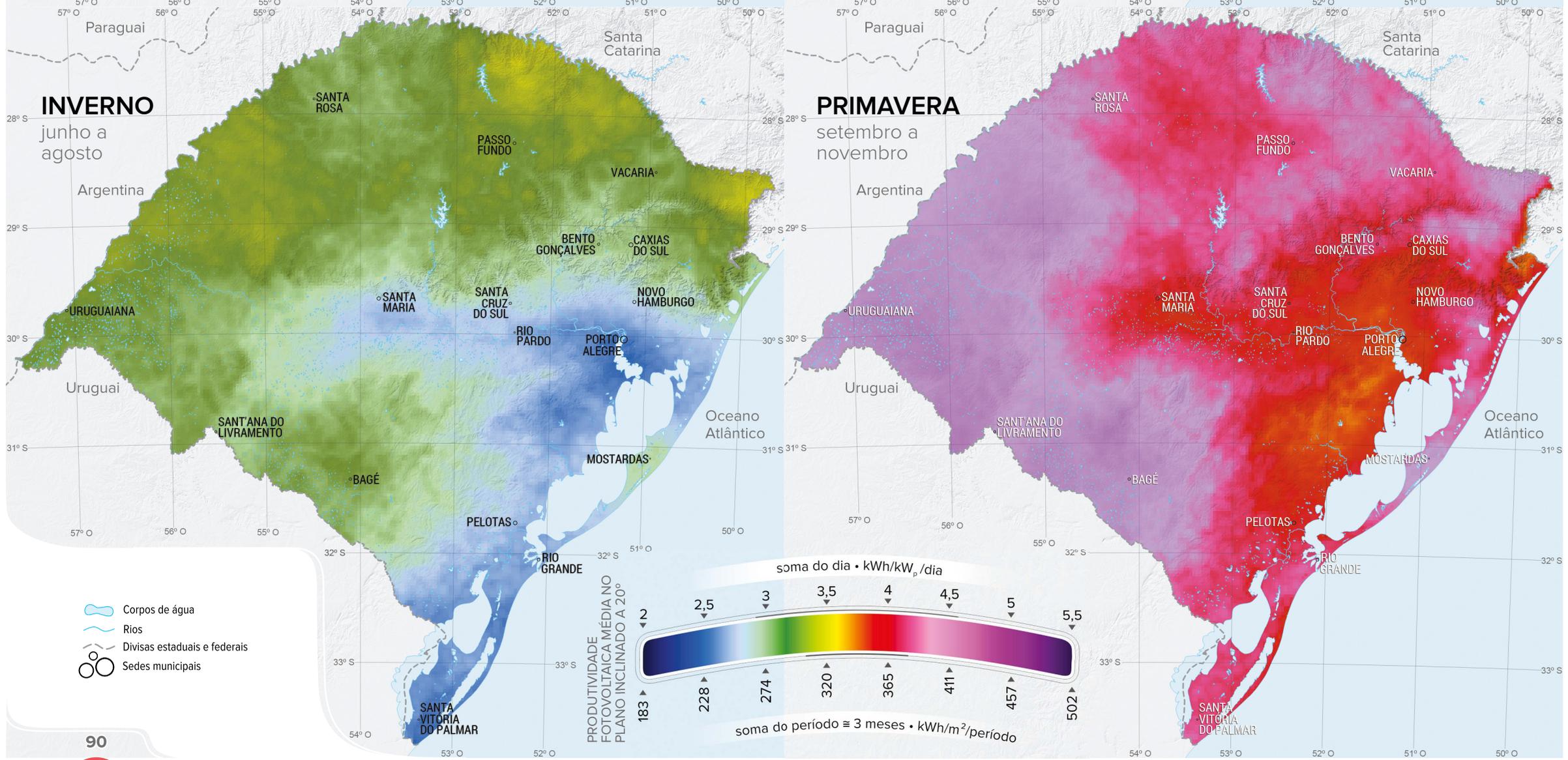
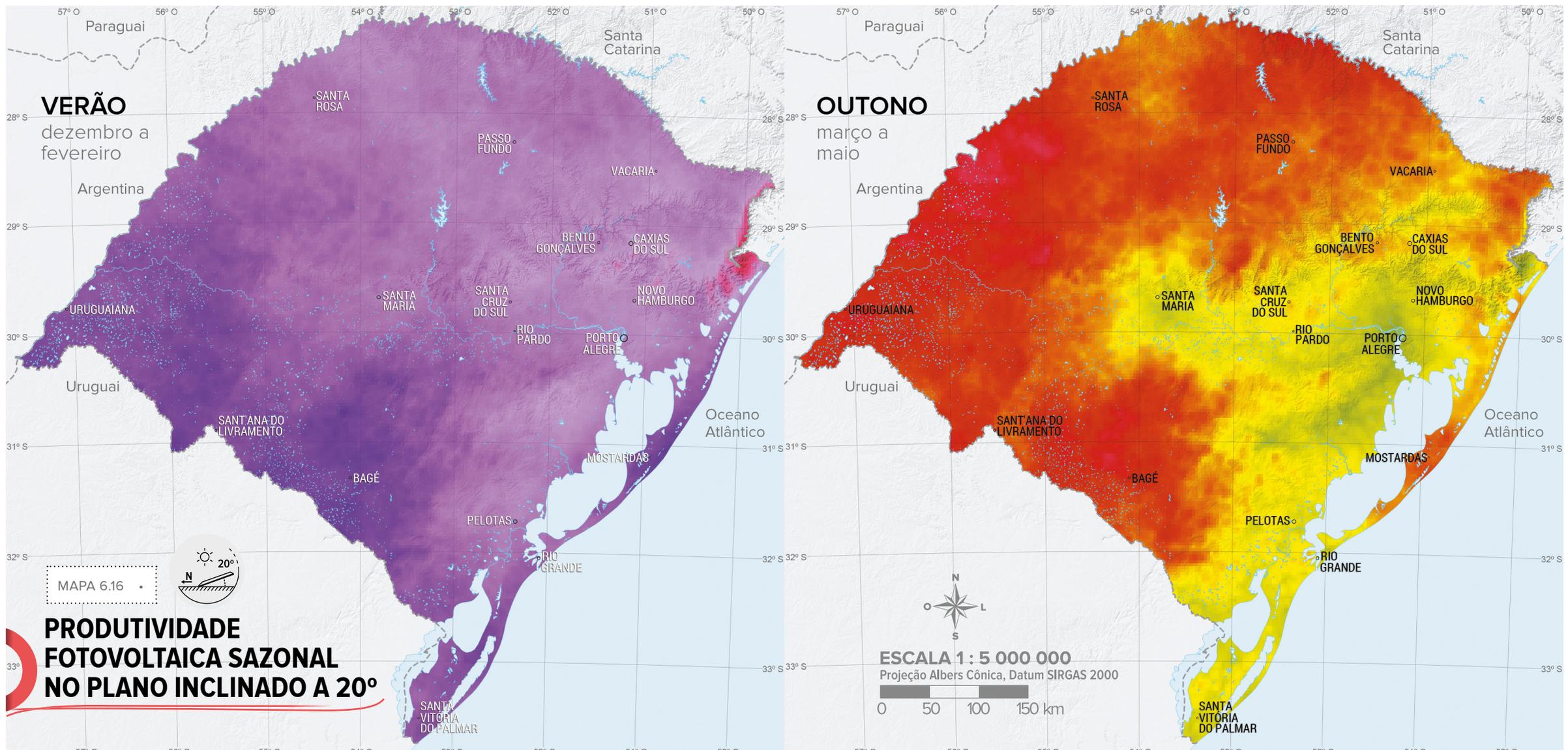
MAPA 6.15





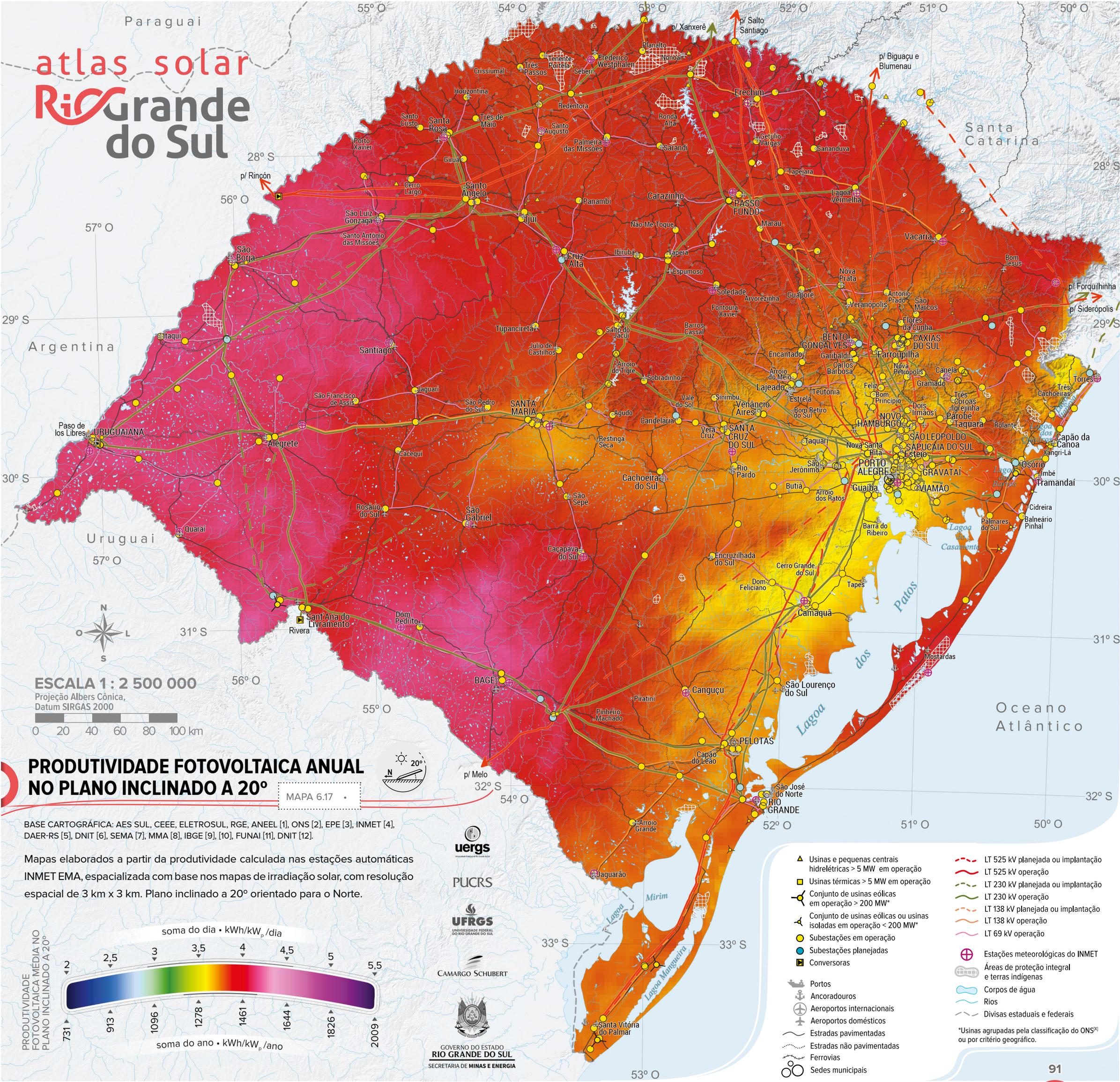
ESCALA 1 : 7 500 000
Projeção Albers Cônica, Datum SIRGAS 2000
0 50 100 150 km





atlas solar

Rio Grande do Sul



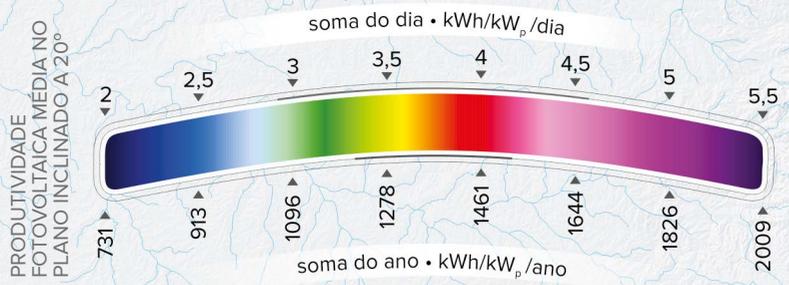
PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA ANUAL NO PLANO INCLINADO A 20°

MAPA 6.17



BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL [1], ONS [2], EPE [3], INMET [4], DAER-RS [5], DNIT [6], SEMA [7], MMA [8], IBGE [9], [10], FUNAI [11], DNIT [12].

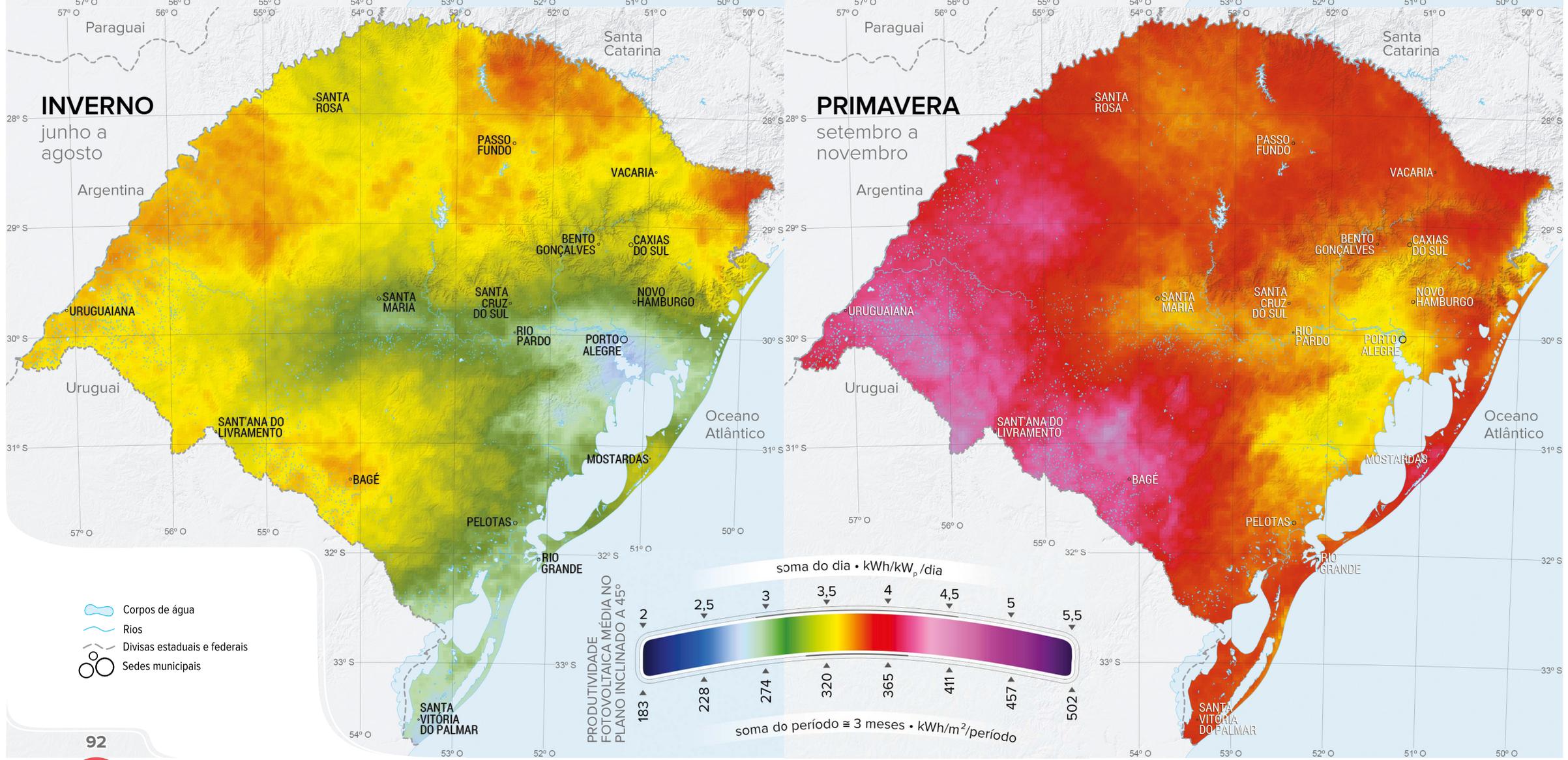
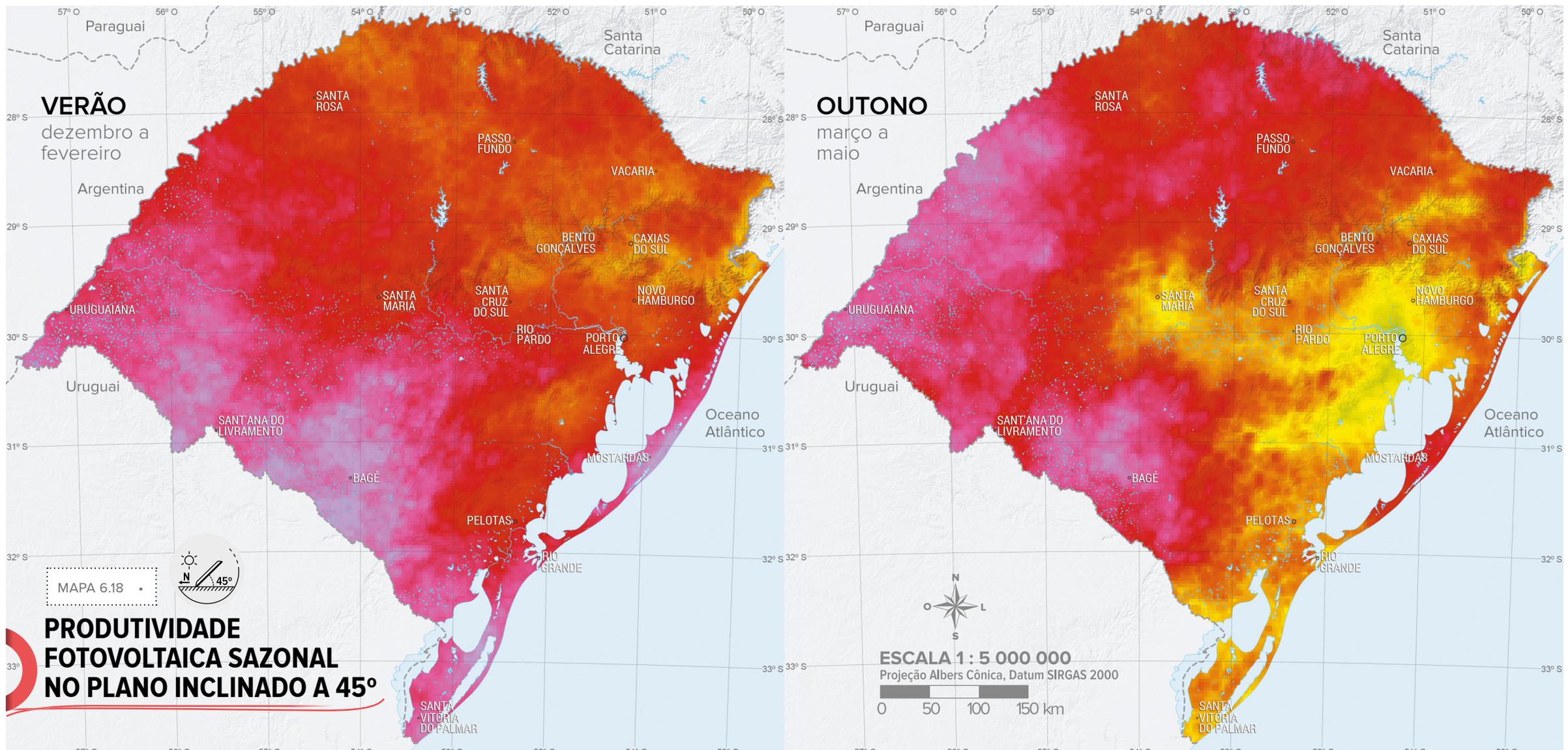
Mapas elaborados a partir da produtividade calculada nas estações automáticas INMET EMA, espacializada com base nos mapas de irradiação solar, com resolução espacial de 3 km x 3 km. Plano inclinado a 20° orientado para o Norte.



- UERGS
- PUCRS
- UFRGS
- CAMARGO SCHUBERT
- GOVERNO DO ESTADO RIO GRANDE DO SUL
- SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

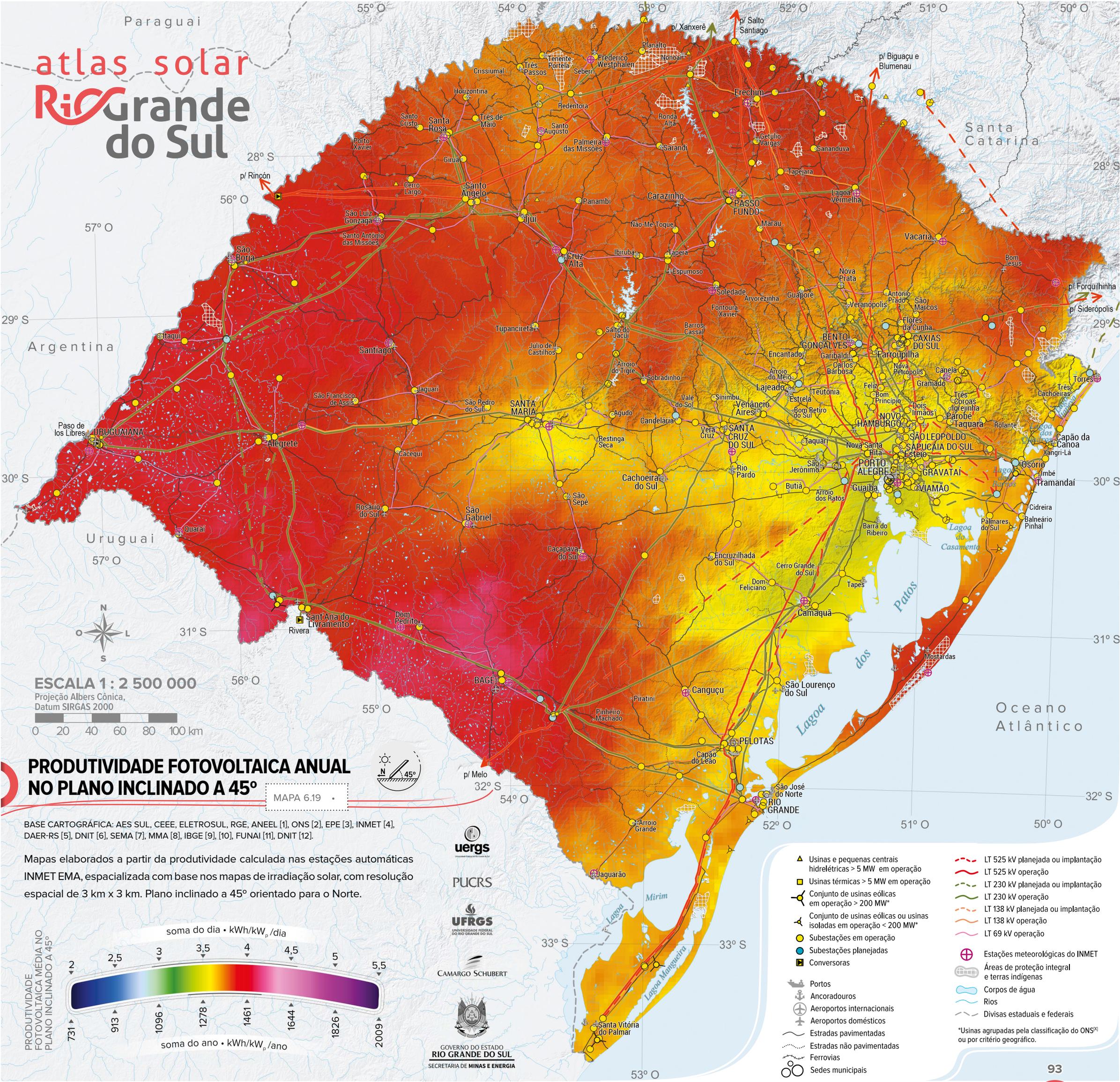
- Usinas e pequenas centrais hidrelétricas > 5 MW em operação
- Usinas térmicas > 5 MW em operação
- Conjunto de usinas eólicas em operação > 200 MW*
- Conjunto de usinas eólicas ou usinas isoladas em operação < 200 MW*
- Subestações em operação
- Subestações planejadas
- Conversoras
- Portos
- Ancoradouros
- Aeroportos internacionais
- Aeroportos domésticos
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Sedes municipais
- LT 525 kV planejada ou implantação
- LT 525 kV operação
- LT 230 kV planejada ou implantação
- LT 230 kV operação
- LT 138 kV planejada ou implantação
- LT 138 kV operação
- LT 69 kV operação
- Estações meteorológicas do INMET
- Áreas de proteção integral e terras indígenas
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais

*Usinas agrupadas pela classificação do ONS^{pl} ou por critério geográfico.



atlas solar

Rio Grande do Sul



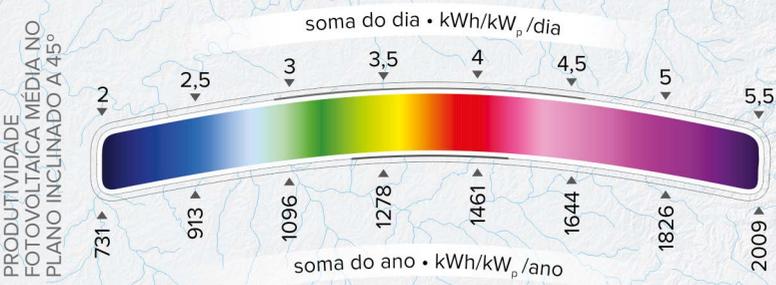
PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA ANUAL NO PLANO INCLINADO A 45°

MAPA 6.19



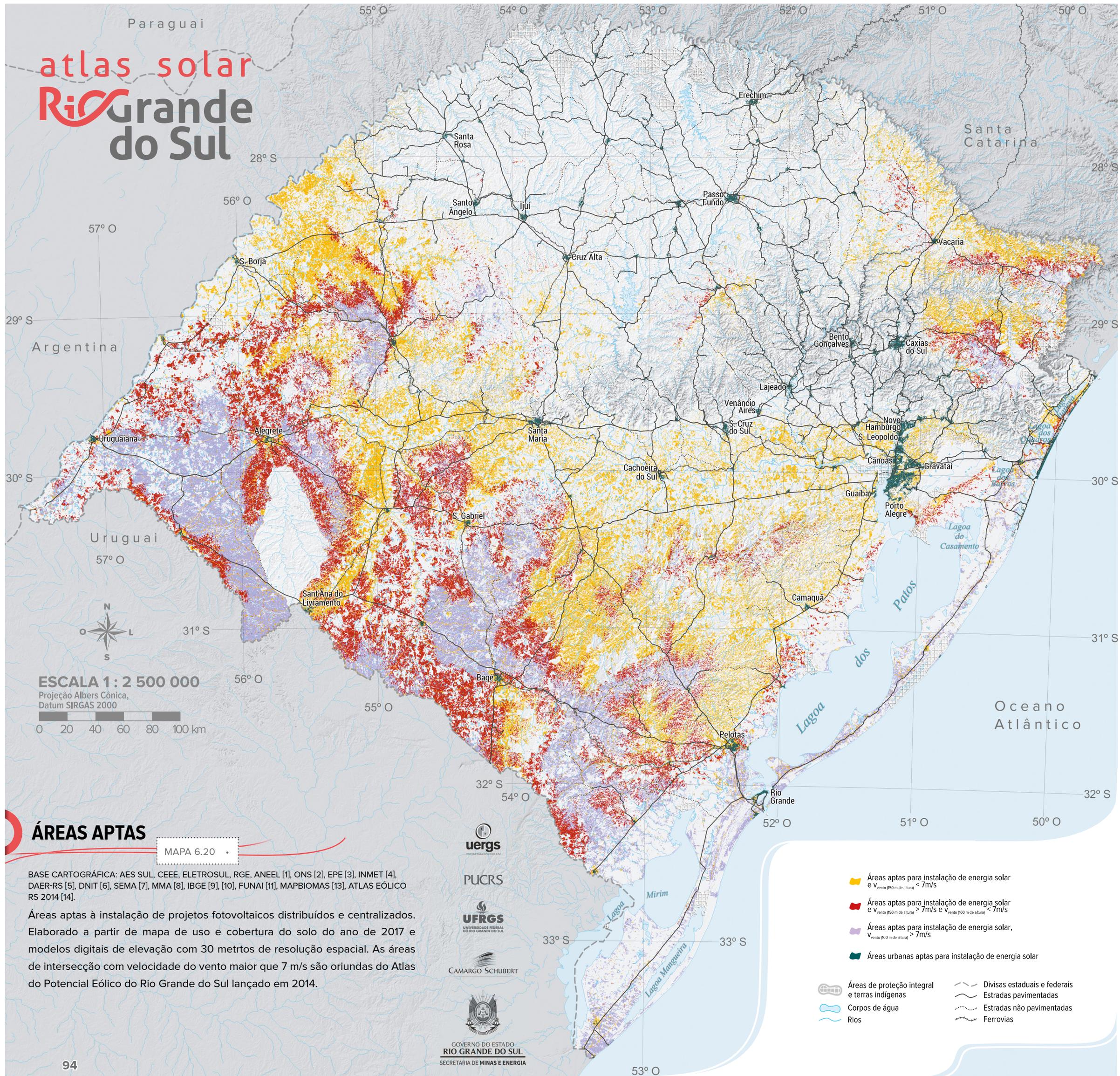
BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL [1], ONS [2], EPE [3], INMET [4], DAER-RS [5], DNIT [6], SEMA [7], MMA [8], IBGE [9], [10], FUNAI [11], DNIT [12].

Mapas elaborados a partir da produtividade calculada nas estações automáticas INMET EMA, especializada com base nos mapas de irradiação solar, com resolução espacial de 3 km x 3 km. Plano inclinado a 45° orientado para o Norte.



- ▲ Usinas e pequenas centrais hidrelétricas > 5 MW em operação
 - Usinas térmicas > 5 MW em operação
 - ⚡ Conjunto de usinas eólicas em operação > 200 MW*
 - ⚡ Conjunto de usinas eólicas ou usinas isoladas em operação < 200 MW*
 - Subestações em operação
 - Subestações planejadas
 - Conversoras
 - ⚓ Portos
 - ⚓ Ancoradouros
 - ✈ Aeroportos internacionais
 - ✈ Aeroportos domésticos
 - 🛣 Estradas pavimentadas
 - 🛣 Estradas não pavimentadas
 - 🚂 Ferrovias
 - 📍 Sedes municipais
 - LT 525 kV planejada ou implantação
 - LT 525 kV operação
 - LT 230 kV planejada ou implantação
 - LT 230 kV operação
 - LT 138 kV planejada ou implantação
 - LT 138 kV operação
 - LT 69 kV operação
 - ⊕ Estações meteorológicas do INMET
 - ⊕ Áreas de proteção integral e terras indígenas
 - 🌊 Corpos de água
 - 🌊 Rios
 - Divisas estaduais e federais
- *Usinas agrupadas pela classificação do ONS^{xi} ou por critério geográfico.

atlas solar Rio Grande do Sul



ÁREAS APTAS

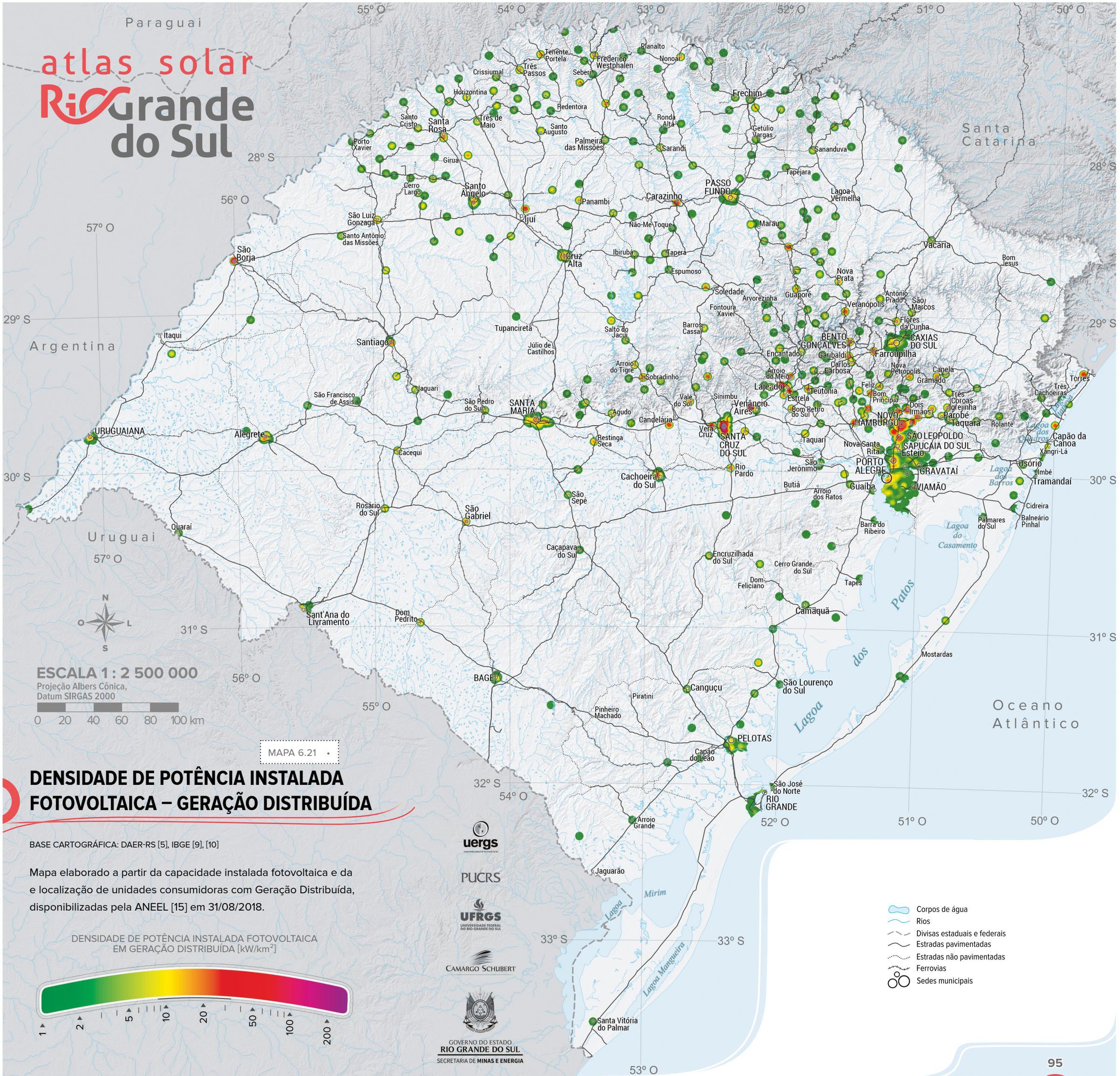
MAPA 6.20

BASE CARTOGRÁFICA: AES SUL, CEEE, ELETROSUL, RGE, ANEEL [1], ONS [2], EPE [3], INMET [4], DAER-RS [5], DNIT [6], SEMA [7], MMA [8], IBGE [9], [10], FUNAI [11], MAPBIOMAS [13], ATLAS EÓLICO RS 2014 [14].

Áreas aptas à instalação de projetos fotovoltaicos distribuídos e centralizados. Elaborado a partir de mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2017 e modelos digitais de elevação com 30 metros de resolução espacial. As áreas de intersecção com velocidade do vento maior que 7 m/s são oriundas do Atlas do Potencial Eólico do Rio Grande do Sul lançado em 2014.

- Áreas aptas para instalação de energia solar e $V_{\text{vento}}(150 \text{ m de altura}) < 7 \text{ m/s}$
- Áreas aptas para instalação de energia solar e $V_{\text{vento}}(150 \text{ m de altura}) > 7 \text{ m/s}$ e $V_{\text{vento}}(100 \text{ m de altura}) < 7 \text{ m/s}$
- Áreas aptas para instalação de energia solar, $V_{\text{vento}}(100 \text{ m de altura}) > 7 \text{ m/s}$
- Áreas urbanas aptas para instalação de energia solar

- Áreas de proteção integral e terras indígenas
- Estradas pavimentadas
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias



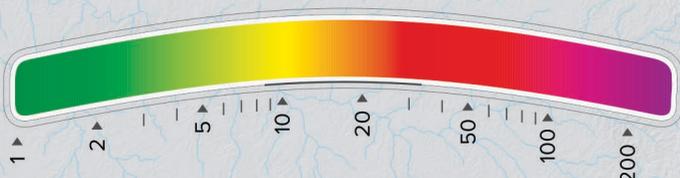
MAPA 6.21

DENSIDADE DE POTÊNCIA INSTALADA FOTOVOLTAICA – GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

BASE CARTOGRÁFICA: DAER-RS [5], IBGE [9], [10]

Mapa elaborado a partir da capacidade instalada fotovoltaica e da localização de unidades consumidoras com Geração Distribuída, disponibilizadas pela ANEEL [15] em 31/08/2018.

DENSIDADE DE POTÊNCIA INSTALADA FOTOVOLTAICA EM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA [kW/km²]

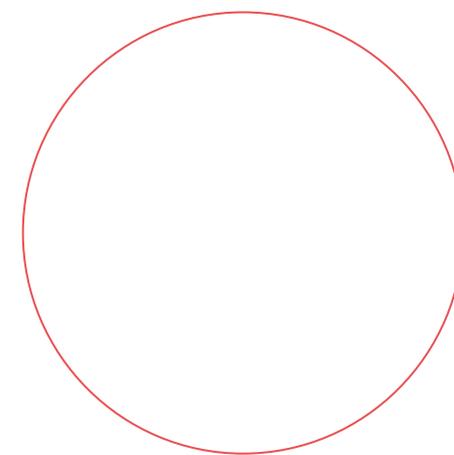


- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Sedes municipais

UERGS
 PUCRS
 UFRGS
 CAMARGO SCHUBERT
 GOVERNO DO ESTADO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA



atlas solar
RiGrande
do Sul



7

Análises e Diagnósticos



7.1 POTENCIAL ENERGÉTICO FOTOVOLTAICO

7.1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O cálculo do potencial fotovoltaico do estado do Rio Grande do Sul foi baseado no conceito de taxa de ocupação (ver Capítulo 5) aplicado a técnicas de geoprocessamento para análise espacial dos mapas apresentados no Capítulo 6. A produtividade fotovoltaica apresentada nas próximas páginas tem o objetivo de caracterizar qualitativamente o recurso solar nas principais regiões do Estado, bem como de mostrar uma análise quantitativa deste potencial. De modo simplificado, o potencial fotovoltaico do Rio Grande do Sul, considerando unicamente as áreas aptas do estado (Mapa 6.20), é da ordem de 1700 TWh/ano, equivalente a 2,7 vezes a produção de energia elétrica no Brasil, no ano de 2017 [1]. Entretanto, esse valor é teórico, pois não considera outros usos da terra, a logística de transmissão dessa energia ou mesmo o gerenciamento da demanda instantânea.

A demanda total de energia elétrica registrada no Rio Grande do Sul em 2016 foi de 34,6 TWh (Gráfico 1.2) [2] [3]. Considerando que a produtividade média calculada neste trabalho para o Estado foi de 3,959 kWh/kW_p/dia, para um módulo fotovoltaico com 2 m², 330 Watts, inclinado a 20° e orientado para o Norte, esta demanda solicitaria o emprego de, no mínimo, 72 milhões de módulos, correspondente à capacidade fotovoltaica instalada de 23,88 GW_p. Neste cenário, os módulos ocupariam continuamente uma área aproximada de 144 km², desconsiderando-se acessos, a existência de edificações ou outras estruturas, comparável à área da mancha urbana de Porto Alegre (aproximadamente 140 km²) ou à do lago da usina hidrelétrica de Passo Real (190 km²), maior obra artificial do estado.

No entanto, o cenário contemplando o atendimento à demanda total do Estado apenas por energia fotovoltaica despreza a infraestrutura de geração elétrica já existente, que majoritariamente é renovável, consistindo nos aproveitamentos hidráulicos

e eólicos relacionados no Capítulo 1. Assim, pode-se definir como meta mais realista o alcance da independência energética do Estado, isto é, a redução a zero da importação líquida de energia elétrica (Gráfico 1.2). Tomando por referência os 5,6 GWh importados pelos gaúchos no ano de 2016, seria necessária a instalação de 4 GW_p de capacidade fotovoltaica. Esse valor é aproximadamente o potencial somente das áreas aptas urbanas, considerando a taxa de ocupação média urbana supracitada de 2 MW_p/km². Ressalte-se que o potencial das áreas aptas não urbanas é múltiplas vezes maior, devido à maior disponibilidade de áreas aptas e à maior taxa de ocupação.

Os números referidos podem ser melhor compreendidos quando analisados em conjunto com uma possível distribuição geográfica das instalações fotovoltaicas. Levando-se em conta que há 3.902.348 unidades consumidoras residenciais no Estado (Tabela 1.7) [4] [2], seria necessária a instalação de pelo menos 4 módulos fotovoltaicos por residência para alcançar o objetivo proposto. Alternativamente, seria necessário que mais de 22% das unidades consumidoras residenciais possuíssem sistemas fotovoltaicos, considerando a distribuição verificada das capacidades individuais instaladas até agosto de 2018 (Gráfico 1.1.b) [5]. Ressalta-se que essa estimativa não contempla as classes de consumo Comercial, Industrial, Rural ou Público. Avalia-se apenas a modalidade “Geração na Própria Unidade Consumidora”, desconsiderando-se a possibilidade de futuras contribuições de sistemas elétricos dos tipos “Autoconsumo Remoto”, “Geração Compartilhada” e “Múltiplas Unidades Consumidoras”, previstas pela regulamentação vigente [6].

No que diz respeito a cenários futuros, considerando-se o prazo de 10 anos para que se alcance a produção energética de 5,6 TWh, seria necessária a instalação de aproximadamente 4.375 módulos fotovoltaicos por dia útil em todo o Estado. Ou então, menos de nove módulos fotovoltaicos por dia útil deveriam ser instalados em cada um dos 497 municípios gaúchos, durante 10 anos. Adicione-se a tais análises o potencial econômico que a aplicação desta tecnologia oferece em geração de empregos e de riquezas de forma sustentável.

7.1.2 RESULTADOS

A integração espacial da produtividade fotovoltaica é detalhada do ponto de vista dos seus agentes de distribuição de energia na Tabela 7.1 e de suas micro e mesorregiões na Tabela 7.2. Os valores integrados para cada município podem ser encontrados no Apêndice E. Este Atlas é disponibilizado adicionalmente em versão digital, na qual estão acessíveis as tabelas e arquivos de dados geoespaciais com valores mensais, sazonais e anuais de todos os mapas apresentados no Capítulo 6, bem como os dados climatológicos do INMET de temperatura média, máxima e mínima. Os arquivos com dados geoespaciais podem ser visualizados e manipulados por qualquer Sistema de Informação Geográfica.

Na Tabela 7.1, para cada área, são apresentados os valores médios de irradiação global horizontal e de produtividade fotovoltaica, bem como a área efetivamente integrada, a capacidade instalável teórica (considerando a taxa de ocupação), tanto em MW_p quanto em número de módulos, e número de unidades consumidoras residenciais e comerciais. O número de módulos equivalente à capacidade instalável em MW_p foi estimado considerando um módulo fotovoltaico típico de 330 W_p. Este valor foi obtido considerando a potência fotovoltaica média instalada até agosto de 2018, para geração distribuída no estado [7]. Os valores servem para ilustrar a quantidade média de módulos fotovoltaicos, por unidade consumidora (residencial ou comercial), necessária para garantir a independência energética Estadual. Nessa Tabela, também são apresentados o potencial fotovoltaico não urbano, considerando projetos instalados em 1% das áreas aptas mapeadas para o Rio Grande do Sul. Esses projetos poderiam gerar aproximadamente 17 TWh/ano de energia, número este diretamente proporcional à fração da área de atuação correspondente a cada agente de distribuição de energia elétrica. Os valores apresentados na Tabela 7.1 podem servir aos agentes de distribuição para o planejamento do potencial fotovoltaico de suas regiões de atuação, correlacionando-os com dados de consumo e demandas locais.

TABELA 7.1 Produtividade solar por agente de distribuição de energia elétrica, conforme Mapa 1.3.

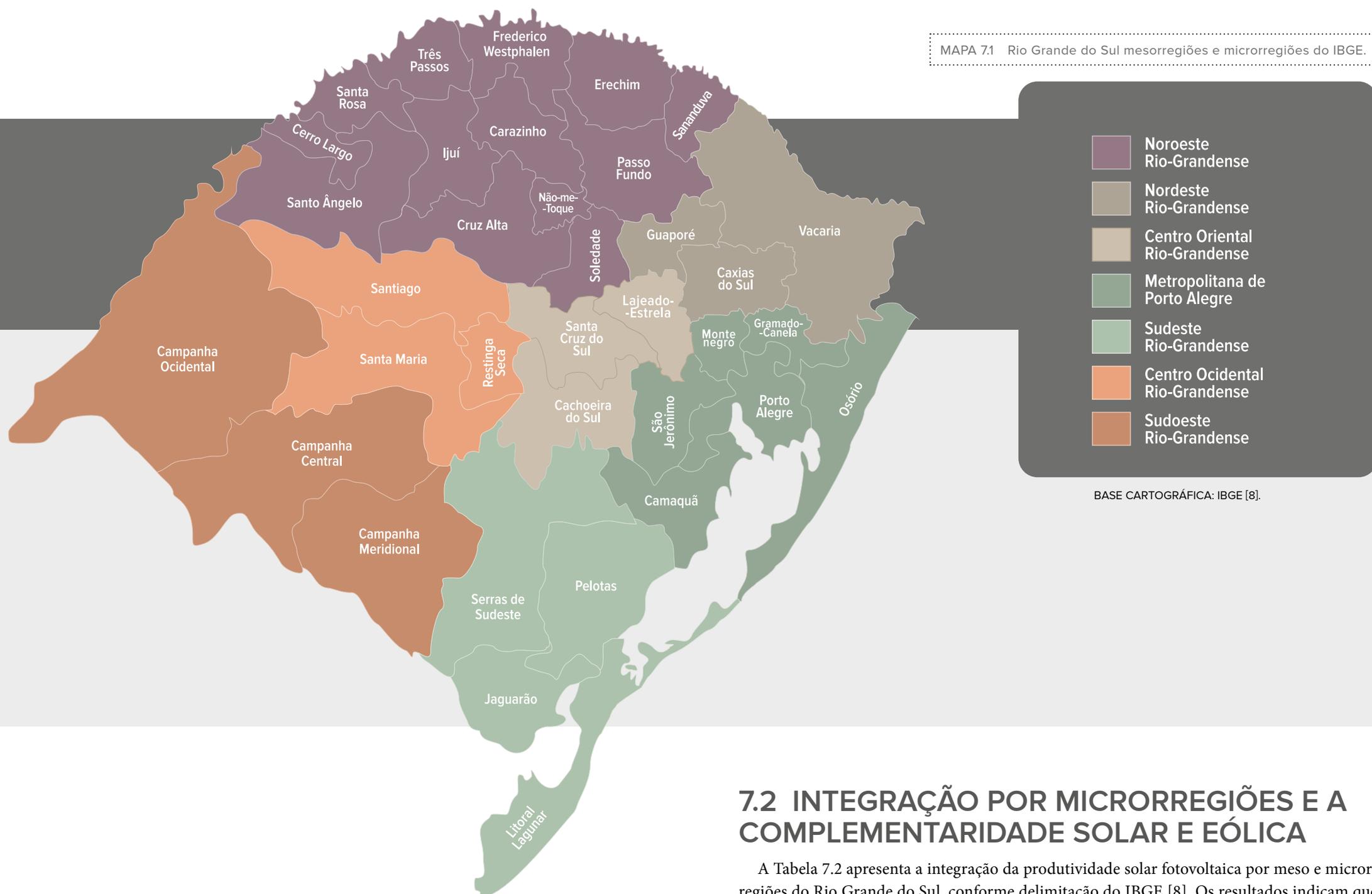
Agentes de Distribuição de Energia Elétrica	ÁREA APTA URBANA								ÁREA APTA NÃO URBANA						
	Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Integração para a área apta urbana do estado com taxa de ocupação de 2 MW _p /km ² *						Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Área Total Disponível para Integração [km ²]	Integração para 1% da área apta não urbana do estado com taxa de ocupação de 20 MW _p /km ² *			
			Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável Equivalente						Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável em Número Equivalente de Módulos de 330 W _p
					Número de Módulos de 330 W _p	Número de Unidades Residenciais de 5,68 kW _p **	Número de Unidades Comerciais de 29,56 kW _p **								
CEEE-D	4,381	3,692	590,2	1.180,3	1.591,7	3.576.802	207.807	39.930	4,574	3,884	20.570,73	205,71	4.114,1	5.835,5	12.467.109
CELETRO	4,572	3,847	4,9	9,9	13,9	29.945	1.740	334	4,594	3,866	1.048,02	10,48	209,6	296,0	635.161
CERFOX	4,547	3,860	2,3	4,6	6,5	13.996	813	156	4,585	3,886	59,27	0,59	11,9	16,8	35.923
CERILUZ	4,703	3,929	3,4	6,8	9,7	20.520	1.192	229	4,687	3,912	15,82	0,16	3,2	4,5	9.590
CERMISSÕES	4,858	4,038	6,0	12,0	17,7	36.371	2.113	406	4,896	4,071	1.289,75	12,90	258,0	383,5	781.667
CERTAJA	4,331	3,636	2,3	4,7	6,2	14.155	822	158	4,345	3,646	469,32	4,69	93,9	125,0	284.439
CERTEL	4,384	3,714	27,0	54,1	73,4	163.860	9.520	1.829	4,431	3,760	24,11	0,24	4,8	6,6	14.614
CERTHIL	4,742	3,930	0,6	1,3	1,8	3.900	227	44	4,756	3,936	7,08	0,07	1,4	2,0	4.293
COOPERLUZ	4,771	3,947	1,1	2,3	3,3	7.015	408	78	4,811	3,980	37,53	0,38	7,5	10,9	22.744
COOPERNORTE	4,271	3,566	4,9	9,8	12,8	29.787	1.731	333	4,422	3,722	4,25	0,04	0,9	1,2	2.578
COOPERSUL	4,824	4,099	1,9	3,8	5,7	11.449	665	128	4,802	4,076	1.016,12	10,16	203,2	302,0	615.831
COPREL	4,656	3,927	15,7	31,5	45,2	95.400	5.543	1.065	4,710	3,949	687,40	6,87	137,5	198,3	416.605
COSEL ***	-	-	-	-	-	-	-	-	4,301	3,658	277,28	2,77	55,5	74,1	168.048
CRELUZ	4,696	3,922	6,6	13,1	18,8	39.840	2.315	445	4,656	3,904	2,40	0,02	0,5	0,7	1.454
CRERAL	4,730	3,987	1,6	3,3	4,7	9.856	573	110	4,749	4,006	12,09	0,12	2,4	3,5	7.327
DEMEI	4,712	3,937	15,7	31,4	45,1	95.062	5.523	1.061	4,711	3,936	0,37	0,00	0,1	0,1	226
ELETROCAR	4,653	3,922	24,1	48,3	69,1	146.220	8.495	1.632	4,635	3,909	13,59	0,14	2,7	3,9	8.239
HIDROPAN	4,665	3,914	12,6	25,2	36,0	76.271	4.431	851	4,648	3,902	0,89	0,01	0,2	0,3	542
MUXFELDT	4,716	3,976	5,8	11,6	16,8	35.035	2.035	391	4,715	3,976	-	-	-	-	-
RGE	4,545	3,839	690,7	1.381,4	1.936,8	4.185.998	243.201	46.731	4,566	3,893	5.014,50	50,14	1.002,9	1.425,1	3.039.090
RGE SUL	4,460	3,745	570,9	1.141,8	1.562,0	3.459.976	201.020	38.626	4,807	4,030	28.129,93	281,30	5.626,0	8.279,5	17.048.445
UHENPAL	4,456	3,739	6,9	13,9	19,0	42.202	2.452	471	4,434	3,719	150,55	1,51	30,1	40,9	91.245
TOTAL	4,476	3,771	1.995,5	3.990,9	5.496,2	12.093.660	702.626	135.010	4,695	3,959	58.831,20	588,31	11.766,2	17.010,4	35.655.170

* CONSIDERA A PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA NA INCLINAÇÃO DE 20° E ORIENTAÇÃO PARA O NORTE. ** VALOR MÉDIO CARACTERÍSTICO DA CAPACIDADE INSTALADA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL ATÉ AGOSTO/2018. *** COSEL NÃO ATENDE ÁREAS URBANAS.

TABELA 7.2 Produtividade solar por microrregião e mesoregião.

MESORREGIÃO	MICRORREGIÃO	ÁREA APTA URBANA								ÁREA APTA NÃO URBANA						Fração das áreas com potencial solar que possuem potencial eólico		
		Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Integração para a área apta urbana do Estado com taxa de ocupação de 2 MW _p /km ² *			Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Área Total Disponível para Integração [km ²]	Integração para 1% da área apta não urbana do Estado com taxa de ocupação de 20MW _p /km ² *								
				Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]				Capacidade Instalável Equivalente	Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável em Número Equivalente de Módulos de 330 W _p				
				Número de Módulos de 330 W _p	Número Equivalente de Unidades Residenciais de 5,68 kW _p **	Número Equivalente de Unidades Comerciais de 29,56 kW _p **										Percentual da área apta solar com velocidade média anual na altura 100 metros maior que 7 m/s	Percentual da área apta solar com velocidade média anual na altura 150 metros maior que 7 m/s	
CENTRO OCIDENTAL RIO-GRANDENSE	RESTINGA SECA	4,472	3,755	10,49	21,0	28,8	63.600	3.695	710	4,446	3,733	238,77	2,39	47,8	65,1	144.709	0,00 %	0,17 %
	SANTA MARIA	4,473	3,748	61,79	123,6	169,2	374.498	21.758	4.181	4,626	3,879	3313,58	33,14	662,7	939,0	2.008.229	6,19 %	23,02 %
	SANTIAGO	4,759	3,993	23,01	46,0	67,1	139.440	8.101	1.557	4,829	4,040	2792,20	27,92	558,4	824,1	1.692.242	17,72 %	45,09 %
	TOTAL	4,542	3,808	95,29	190,6	265,1	577.538	33.554	6.447	4,709	3,945	6344,55	63,4	1268,9	1828,2	3.845.180	11,03 %	31,87 %
CENTRO ORIENTAL RIO-GRANDENSE	CACHOEIRA DO SUL	4,477	3,760	24,42	48,8	67,1	148.015	8.599	1.652	4,477	3,767	1263,23	12,63	252,6	347,6	765.597	0,06 %	1,77 %
	LAJEADO-ESTRELA	4,400	3,722	67,23	134,5	182,8	407.482	23.674	4.549	4,382	3,693	82,68	0,83	16,5	22,3	50.107	0,00 %	0,00 %
	SANTA CRUZ DO SUL	4,453	3,754	59,26	118,5	162,5	359.138	20.865	4.009	4,441	3,740	137,18	1,37	27,4	37,5	83.138	0,00 %	0,06 %
	TOTAL	4,433	3,741	150,91	301,8	412,4	914.635	53.139	10.211	4,468	3,760	1483,09	14,8	296,6	407,4	898.842	0,06 %	1,52 %
METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE	CAMAQUÃ	4,231	3,569	20,88	41,8	54,5	126.573	7.354	1.413	4,264	3,597	1007,33	10,07	201,5	264,7	610.500	9,52 %	25,39 %
	GRAMADO-CANELA	4,362	3,708	62,37	124,7	169,0	378.005	21.962	4.220	4,422	3,742	85,96	0,86	17,2	23,5	52.096	0,00 %	2,19 %
	MONTENEGRO	4,297	3,630	39,95	79,9	106,0	242.144	14.068	2.703	4,302	3,613	150,79	1,51	30,2	39,8	91.385	0,00 %	0,00 %
	OSÓRIO	4,474	3,795	145,73	291,5	404,0	883.195	51.312	9.860	4,533	3,840	1140,63	11,41	228,1	319,9	691.293	57,30 %	65,71 %
	PORTO ALEGRE	4,309	3,603	545,43	1090,9	1435,4	3.305.624	192.052	36.903	4,315	3,611	744,27	7,44	148,9	196,3	451.075	2,26 %	15,12 %
	SÃO JERÔNIMO	4,328	3,614	27,74	55,5	73,2	168.109	9.767	1.877	4,363	3,655	1021,32	10,21	204,3	272,7	618.983	2,00 %	8,82 %
TOTAL	4,340	3,644	842,10	1684,2	2242,0	5.103.649	296.515	56.976	4,376	3,684	4150,30	41,5	830,1	1116,9	2.515.331	18,96 %	29,15 %	
NORDESTE RIO-GRANDENSE	CAXIAS DO SUL	4,409	3,764	160,28	320,6	440,7	971.416	56.438	10.845	4,496	3,828	253,57	2,54	50,7	70,9	153.677	0,29 %	15,14 %
	GUAPORÉ	4,535	3,852	32,30	64,6	90,9	195.742	11.372	2.185	4,558	3,869	85,58	0,86	17,1	24,2	51.868	0,00 %	0,08 %
	VACARIA	4,539	3,872	38,97	77,9	110,2	236.165	13.721	2.636	4,529	3,884	3569,78	35,70	714,0	1012,0	2.163.501	8,74 %	34,21 %
	TOTAL	4,449	3,794	231,55	463,1	641,8	1.403.324	81.531	15.666	4,527	3,880	3908,93	39,1	781,8	1107,1	2.369.046	8,00 %	32,22 %
NOROESTE RIO-GRANDENSE	CARAZINHO	4,667	3,927	41,02	82,0	117,7	248.596	14.443	2.775	4,637	3,907	21,44	0,21	4,3	6,1	12.997	0,03 %	26,31 %
	CERRO LARGO	4,839	4,011	9,81	19,6	28,7	59.427	3.453	663	4,876	4,038	112,22	1,12	22,4	33,1	68.014	0,00 %	1,52 %
	CRUZ ALTA	4,692	3,943	36,09	72,2	103,9	218.700	12.706	2.442	4,732	3,964	261,99	2,62	52,4	75,9	158.785	29,66 %	46,40 %
	ERECHIM	4,766	4,020	50,79	101,6	149,1	307.833	17.885	3.437	4,763	4,018	50,38	0,50	10,1	14,8	30.533	0,00 %	5,21 %
	FREDERICO WESTPHALEN	4,678	3,911	30,27	60,5	86,5	183.447	10.658	2.048	4,683	3,916	3,00	0,03	0,6	0,9	1.818	0,00 %	2,70 %
	IJUÍ	4,681	3,916	41,23	82,5	117,9	249.900	14.519	2.790	4,721	3,949	41,27	0,41	8,3	11,9	25.015	0,08 %	34,42 %
	NÃO-ME-TOQUE	4,655	3,929	12,61	25,2	36,2	76.418	4.440	853	4,652	3,926	2,88	0,03	0,6	0,8	1.747	0,00 %	0,84 %
	PASSO FUNDO	4,636	3,914	81,17	162,3	232,1	491.951	28.582	5.492	4,651	3,928	59,19	0,59	11,8	17,0	35.875	0,03 %	16,54 %
	SANANDUVA	4,719	3,991	13,57	27,1	39,6	82.265	4.780	918	4,720	3,993	60,94	0,61	12,2	17,8	36.933	0,08 %	2,46 %
	SANTA ROSA	4,772	3,946	23,23	46,5	67,0	140.793	8.180	1.572	4,799	3,968	63,44	0,63	12,7	18,4	38.449	0,00 %	0,68 %
	SANTO ÂNGELO	4,758	3,961	35,63	71,3	103,1	215.918	12.545	2.410	4,914	4,084	2128,49	21,28	425,7	635,0	1.289.997	0,10 %	11,75 %
	SOLEDADE	4,626	3,918	12,41	24,8	35,5	75.213	4.370	840	4,619	3,910	221,27	2,21	44,3	63,2	134.104	12,28 %	36,34 %
	TRÊS PASSOS	4,649	3,872	24,83	49,7	70,2	150.480	8.743	1.680	4,673	3,885	11,35	0,11	2,3	3,2	6.881	0,17 %	1,47 %
TOTAL	4,694	3,940	412,66	825,3	1187,5	2.500.942	145.301	27.920	4,855	4,047	3037,89	30,4	607,6	898,0	1.841.148	3,53 %	16,07 %	
SUDESTE RIO-GRANDENSE	JAGUARÃO	4,457	3,790	10,15	20,3	28,1	61.538	3.575	687	4,544	3,872	2602,03	26,02	520,4	735,6	1.576.987	59,01 %	89,67 %
	LITORAL LAGUNAR	4,413	3,758	50,97	101,9	139,9	308.913	17.947	3.449	4,405	3,751	2065,34	20,65	413,1	565,6	1.251.719	85,89 %	86,12 %
	PELOTAS	4,305	3,685	66,92	133,8	180,1	405.545	23.562	4.527	4,344	3,713	3106,07	31,06	621,2	842,5	1.882.466	11,44 %	40,22 %
	SERRAS DO SUDESTE	4,612	3,924	18,30	36,6	52,5	110.918	6.444	1.238	4,585	3,905	5295,20	52,95	1059,0	1510,4	3.209.213	16,76 %	37,02 %
	TOTAL	4,391	3,748	146,34	292,7	400,6	886.915	51.528	9.901	4,491	3,828	13068,64	130,7	2613,7	3654,1	7.920.385	34,83 %	56,02 %
SUDOESTE RIO-GRANDENSE	CAMPANHA CENTRAL	4,731	3,968	30,23	60,5	87,6	183.229	10.645	2.046	4,788	4,021	7555,73	75,56	1511,1	2217,8	4.579.230	32,01 %	70,38 %
	CAMPANHA MERIDIONAL	4,864	4,128	33,88	67,8	102,2	205.342	11.930	2.292	4,848	4,107	7405,42	74,05	1481,1	2220,4	4.488.135	33,66 %	77,77 %
	CAMPANHA OCIDENTAL	4,903	4,095	52,87	105,7	158,1	320.400	18.615	3.577	4,909	4,103	11884,79	118,85	2377,0	3562,3	7.202.905	39,38 %	74,54 %
	TOTAL	4,847	4,071	116,98	234,0	347,9	708.971	41.190	7.915	4,858	4,081	26845,95	268,5	5369,2	8000,6	16.270.270	35,73 %	74,26 %

* CONSIDERA A PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA NA INCLINAÇÃO DE 20° E ORIENTAÇÃO PARA O NORTE.



7.2 INTEGRAÇÃO POR MICRORREGIÕES E A COMPLEMENTARIDADE SOLAR E EÓLICA

A Tabela 7.2 apresenta a integração da produtividade solar fotovoltaica por meso e microrregiões do Rio Grande do Sul, conforme delimitação do IBGE [8]. Os resultados indicam que as microrregiões da Campanha (ou Sudoeste Rio-Grandense) apresentam o maior potencial do Estado, por contar com amplas áreas aptas para a instalação de painéis fotovoltaicos. A mesorregião Noroeste apresenta também elevado potencial, no entanto, a intensa atividade agrícola reduz as áreas disponíveis para implantação de sistemas de aproveitamento solar nas áreas não urbanas. Na mesorregião Metropolitana de Porto Alegre, o potencial solar é menor, ainda que viável. Como referência comparativa, constata-se que a produtividade média dessa mesorregião apresenta valor superior ao observado em qualquer local do território da Alemanha, da Inglaterra ou do Norte da França.

O Estado do Rio Grande do Sul possui vasto potencial para o desenvolvimento de projetos híbridos solares e eólicos. A partir dos mapas publicados no Atlas Eólico Estadual, em

2014 [9], delimitou-se a intersecção das áreas de maior potencial eólico, com velocidade média do vento superior a 7 m/s nas alturas de 100 m e 150 m, com as áreas aptas não urbanas para projetos solares. As áreas aptas para a implantação desses projetos são apresentadas no Mapa 6.20. Considerando a velocidade do vento a 100 metros de altura, as microrregiões de Osório, Jaguarão e Litoral Lagunar possuem mais de 50% das áreas aptas à instalação de projetos híbridos. Já considerando a altura de 150 metros, adicionam-se às áreas atrativas para a exploração combinada dessas fontes as microrregiões da Campanha, detendo mais de 70% das áreas aptas, coincidindo com aquelas de maior produtividade fotovoltaica do Estado. Cabe ressaltar que já existe um considerável número de parques eólicos instalados no Rio Grande do Sul e que o aproveitamento da infraestrutura elétrica pode ser um diferencial a favorecer a instalação de empreendimentos solares nos seus entornos. Pequenas centrais fotovoltaicas no entorno dessas usinas eólicas podem, eventualmente, complementar a geração em períodos de baixa velocidade do vento. No entanto, essa complementaridade deve ser estudada localmente, considerando as características medidas do vento, lembrando-se que a variabilidade dos regimes diurno e mensal do vento no Estado é bastante complexa.

7.3 VARIABILIDADE MENSAL E HORÁRIA DA IRRADIAÇÃO E PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA

A variabilidade mensal e horária da radiação solar elaborada a partir dos dados de oito estações do INMET é apresentada nas próximas páginas, nos gráficos de superfície da parte inferior das Figuras 7.1 a 7.8, representando genericamente o comportamento da radiação em cada mesorregião do Estado. Os valores apresentados nas Figuras complementam os mapas do Capítulo 6, detalhando em cada estação INMET os valores mensais de irradiação e produtividade, calculados conforme o Apêndice A.

Os gráficos de círculos da parte superior das Figuras são diagramas para orientação do painel. Os diagramas apresentam, para a coordenada geográfica da estação, o rendimento percentual da energia em relação à que seria obtida com o posiciona-

mento nos ângulos ideais fixos de inclinação e orientação. Isto é, os círculos com valores inferiores a 100 são percentuais de energia disponível em relação à quantidade de energia na posição ideal, representada na caixa localizada à esquerda do gráfico.

Observa-se nos diagramas que, em geral, os maiores valores de radiação anual e produtividade são obtidos para inclinação de 20°, aproximadamente. Por outro lado, percebe-se pelos gráficos que, quando se deseja maior geração no inverno, recomenda-se a utilização de ângulos maiores nos projetos, que vão até 45°, maximizando a produção nessa época do ano. Percebe-se também que pequenas variações nesses ângulos não causam impactos suficientemente relevantes para inviabilizar projetos solares. De outro modo, pequenos desvios da inclinação ideal e orientação exata para o Norte não acarretam em grandes prejuízos na produtividade anual máxima. Tal relação aumenta, portanto, a área apta de telhados e outras superfícies para instalação de painéis sobre as quais, muitas vezes, a construção de suportes para garantir a inclinação e orientação ótimas e exatas é impraticável.

Complementarmente, é preciso ter em vista que o posicionamento mais adequado do sistema de aproveitamento solar varia em função da latitude e das características da radiação local. Em geral, no Rio Grande do Sul, o ângulo ótimo de inclinação fixa dos painéis fotovoltaicos varia entre 20° e 30°, orientados para o Norte. Em projetos concentrados, com uma grande quantidade de painéis, é recomendável a avaliação de rastreadores solares, com o objetivo de maximizar a radiação direta sobre o sistema durante todo ano, visto que a inclinação ideal varia com a trajetória do Sol. Cabe ressaltar que os valores da radiação direta normal no Oeste do Estado são elevados, maiores que 5 kWh/m²/dia, podendo se tornar, no futuro, uma região atrativa para projetos heliotérmicos ou mesmo para concentradores fotovoltaicos com uso de rastreadores solares.

É necessário enfatizar que os valores de radiação difusa e direta são informações úteis para estudos preliminares de empreendimentos com aproveitamento solar. Entretanto, a exatidão dos valores aqui estimados para essas variáveis pode não ser suficiente para atender às margens de incertezas admissíveis em estudos de viabilidade econômica de usinas solares, o que pode requerer validação com medições locais específicas, com uso de piranômetros sombreados e pireliômetros. Em geral, essas estimativas das frações médias a partir da irradiação global horizontal apresentam grande variabilidade de acordo

com a resolução temporal das medições e da metodologia adotada para o cálculo das frações. No caso dos Mapas 6.4 a 6.9, os resultados foram estimados diretamente do modelo WRF, considerando a modelagem da atmosfera local, ajustados para radiação global horizontal das estações INMET EMA. Esses modelos, no geral, podem apresentar erro médio quadrático da ordem de 20% a 35%, com tendência a superestimar os valores da radiação direta e subestimar os valores da radiação difusa [10].

As representações das demais estações meteorológicas utilizadas, bem como as séries temporais e as análises de ângulo ótimo de inclinação do painel para as suas respectivas posições geográficas encontram-se disponíveis no formato digital do Atlas.

O cálculo da produtividade fotovoltaica é função das características técnicas dos painéis utilizados, de todo o sistema elétrico e das perdas, além das características locais da radiação. Neste Atlas, foram utilizados os valores típicos médios, extraídos de projetos reais, que permitem uma estimativa preliminar bastante realista de pequenos projetos fotovoltaicos para geração de energia elétrica. O cálculo da produtividade considera a variabilidade da temperatura e radiação medidos pela série histórica de dados INMET. No entanto, esses sistemas ainda estão sujeitos a outras perdas inerentes às especificidades do projeto. Com o objetivo de atender a essas especificidades, todos os dados e mapas utilizados no Atlas são disponibilizados em formato digital, possibilitando ao usuário realizar simulações de projetos com painéis fotovoltaicos de diferentes características.

Outra aplicação do recurso solar que se beneficiará dos dados disponibilizados neste Atlas são os projetos híbridos fotovoltaicos voltados ao bombeamento de água e/ou irrigação, alimentados por módulos fotovoltaicos complementados pela rede elétrica ou por motores a diesel [11] [12]. Considerando o potencial agrícola e agropecuário do Estado e a área irrigada, a utilização do recurso solar nesses sistemas pode ser fomentada para diminuir os custos do produtor rural. Além disso, a característica modular dos sistemas fotovoltaicos permite que seja viável a aplicação de sistemas híbridos voltados à irrigação, tanto de grandes como de pequenas propriedades rurais.



PORTO ALEGRE

melhor ângulo, orientado para o Norte com inclinação

~ 25°

produtividade média anual calculada Y_F

1303

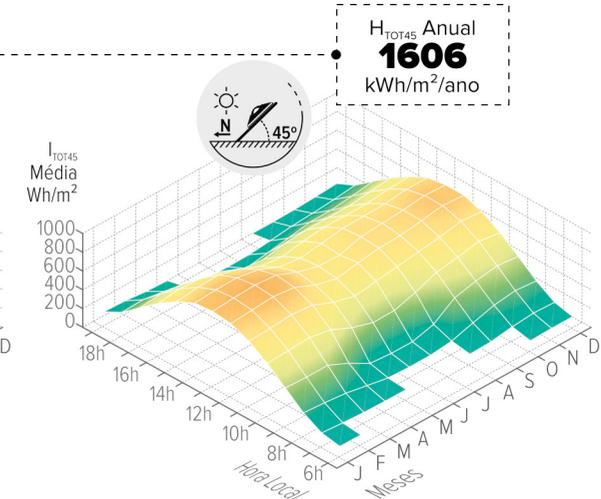
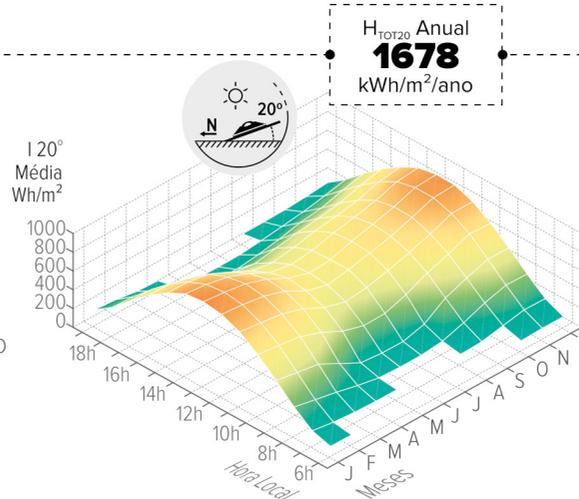
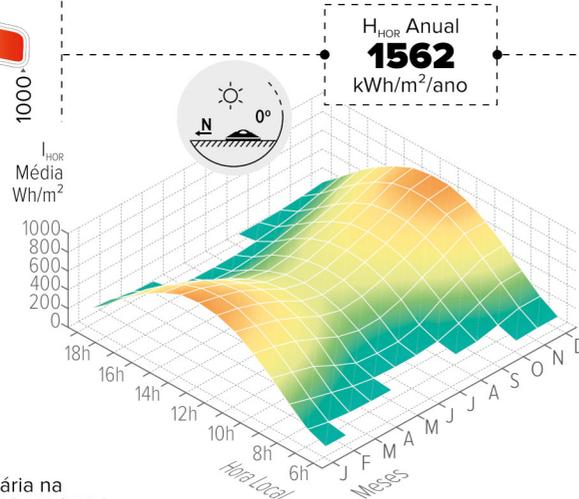
kWh/kW_p/ano

PERCENTUAL DA PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA ANUAL EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE MÁXIMA, EM FUNÇÃO DO AZIMUTE E INCLINAÇÃO [%]

INCLINAÇÃO DO PAINEL	90°	21	24	29	34	40	45	49	53	55	56	55	55	55	54	52	49	45	40	35	29	25	21	19	
	85°	23	27	32	38	44	49	54	58	60	61	61	61	61	61	59	57	53	49	44	38	33	28	23	21
	80°	25	30	35	41	47	53	58	62	65	67	67	67	67	66	64	61	57	53	47	42	36	30	26	24
	75°	28	33	39	45	51	57	62	66	69	72	72	72	72	71	69	66	62	57	51	45	39	34	29	26
	70°	32	36	42	48	55	61	66	71	74	76	77	77	77	76	73	70	65	60	55	49	43	37	32	30
	65°	36	40	46	52	58	64	70	74	78	81	82	82	82	80	78	74	70	64	58	52	46	41	36	35
	60°	40	44	49	56	62	68	73	78	82	85	86	86	86	84	81	78	73	68	62	56	50	45	41	39
	55°	45	48	53	60	65	71	77	81	85	88	90	90	89	88	85	81	76	71	65	60	54	49	45	44
	50°	49	52	57	63	69	75	80	85	88	91	93	93	92	91	88	84	80	75	69	63	58	53	50	49
	45°	54	56	61	67	73	78	83	87	91	94	95	95	95	93	90	87	83	78	72	67	62	57	54	53
	40°	58	61	65	70	76	81	85	90	93	96	97	97	97	95	93	89	85	81	76	71	66	62	59	58
	35°	63	66	70	74	79	83	88	92	95	97	98	99	98	97	94	91	87	83	79	74	70	66	64	63
	30°	69	71	74	78	82	86	90	93	96	98	99	99	99	98	96	93	90	86	82	78	74	71	69	68
25°	74	75	78	81	84	88	91	94	97	99	99	99	99	98	97	94	91	88	84	81	78	76	74	73	
20°	79	80	82	84	87	90	92	95	97	98	99	99	99	98	97	95	92	90	87	84	82	80	79	78	
15°	83	84	85	87	89	91	93	95	97	98	99	99	99	98	97	95	93	91	89	87	85	84	83	83	
10°	87	87	88	90	91	92	94	95	96	97	97	98	97	97	96	95	94	92	91	89	88	87	87	87	
5°	90	91	91	92	92	93	94	94	95	95	96	96	96	95	95	94	94	93	92	92	91	91	90	90	
0°	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	
		195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
		SUL	SUDESTE	OESTE	NOROESTE	NORTE	NORDESTE	LESTE	SUDESTE	SUL															

ORIENTAÇÃO DO PAINEL (AZIMUTE)

Irradiação Horária [Wh/m²]
em diferentes planos de inclinação



Produtividade Horária na
Inclinação de 20° e 45° [kWh/KW_p]

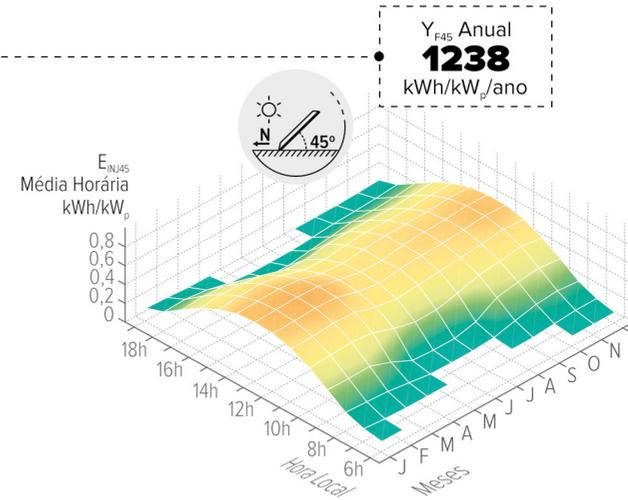
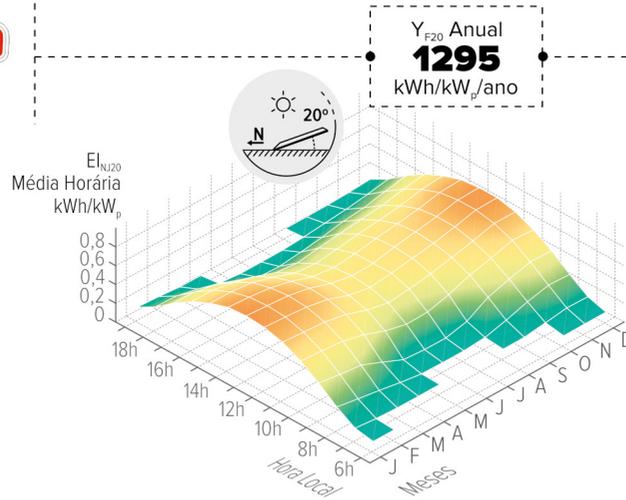
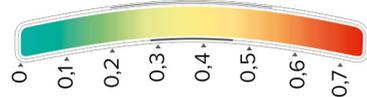


FIGURA 7.1 Variabilidade da produtividade fotovoltaica em função do azimute e ângulo de inclinação dos painéis, mês do ano e hora do dia, em Porto Alegre.



RIO GRANDE

melhor ângulo, orientado para o Norte com inclinação

~ 28°

produtividade média anual calculada Y_F

1388

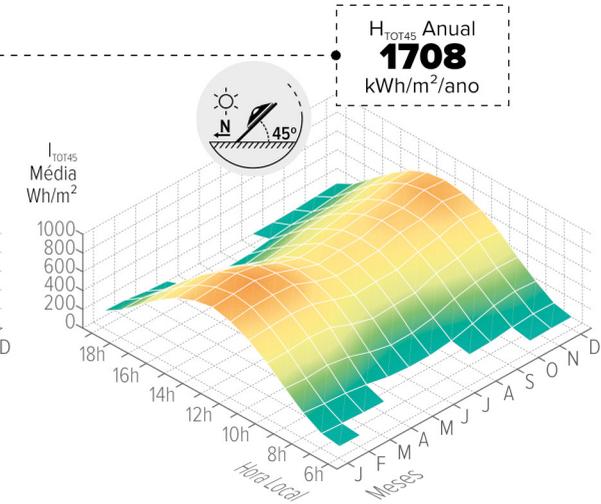
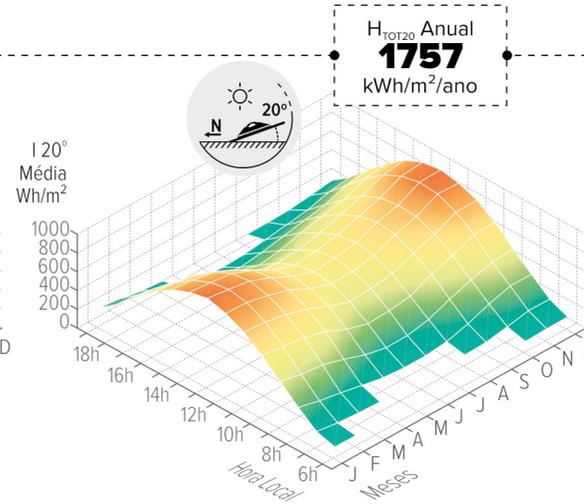
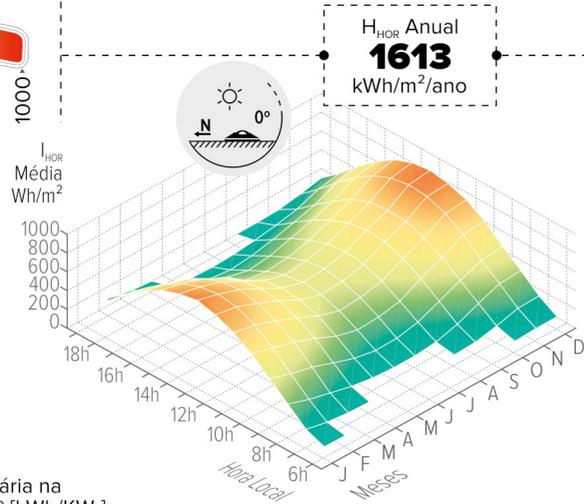
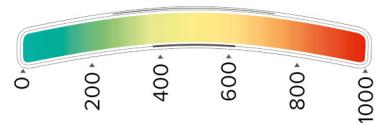
kWh/kW_p/ano

PERCENTUAL DA PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA ANUAL EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE MÁXIMA, EM FUNÇÃO DO AZIMUTE E INCLINAÇÃO [%]

INCLINAÇÃO DO PAINEL	90°	20	24	29	35	41	46	51	54	57	58	58	58	58	58	57	55	51	47	41	35	29	24	20	19
	85°	22	27	32	38	44	50	55	59	62	63	64	64	64	64	62	60	56	50	45	38	32	27	22	21
	80°	24	29	35	41	48	54	59	63	67	68	69	70	69	69	67	64	59	55	48	41	35	29	24	22
	75°	27	32	38	45	51	57	63	67	71	74	75	75	74	71	68	64	58	52	45	38	32	27	25	
	70°	30	35	41	48	55	61	67	71	75	78	80	80	80	78	76	72	67	62	55	48	42	35	30	28
	65°	34	38	45	51	58	65	70	75	79	82	84	84	84	82	80	76	71	65	59	52	45	39	34	33
	60°	38	42	48	55	62	68	74	79	83	86	88	88	88	86	83	79	74	69	62	55	48	42	38	37
	55°	43	46	52	58	65	71	77	82	86	89	91	92	91	89	86	82	78	72	65	59	52	46	43	42
	50°	47	50	56	62	68	74	80	85	89	92	94	94	94	92	89	85	80	75	69	62	56	50	47	46
	45°	52	54	59	65	71	77	82	87	91	94	96	97	96	94	91	88	83	78	72	66	60	55	52	51
	40°	56	59	63	69	74	80	85	89	93	96	98	98	98	96	93	90	85	80	75	69	64	59	56	55
	35°	61	63	67	72	77	82	87	91	94	97	99	99	99	97	95	91	87	83	78	73	68	64	61	60
30°	66	68	71	76	80	84	89	92	95	98	99	99	99	98	96	93	89	85	80	76	72	68	66	65	
25°	71	73	75	79	83	86	90	93	96	98	99	99	99	98	96	93	90	87	83	79	76	73	71	70	
20°	76	77	79	82	85	88	91	94	96	98	99	99	99	98	96	94	91	88	85	82	80	77	76	75	
15°	80	81	83	85	87	89	92	94	96	97	98	98	98	97	96	94	92	90	87	85	83	82	80	80	
10°	85	85	86	87	89	90	92	93	95	96	96	96	96	96	95	94	92	91	89	88	86	85	85	84	
5°	88	88	89	90	90	91	92	93	93	94	94	94	94	94	93	93	92	91	90	90	89	89	88	88	
0°	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	
		195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
		SUL	SUDESTE	OESTE	NOROESTE	NORTE	NORDESTE	LESTE	SUDESTE	SUL															

ORIENTAÇÃO DO PAINEL (AZIMUTE)

Irradiação Horária [Wh/m²]
em diferentes planos de inclinação



Produtividade Horária na
Inclinação de 20° e 45° [kWh/KW_p]

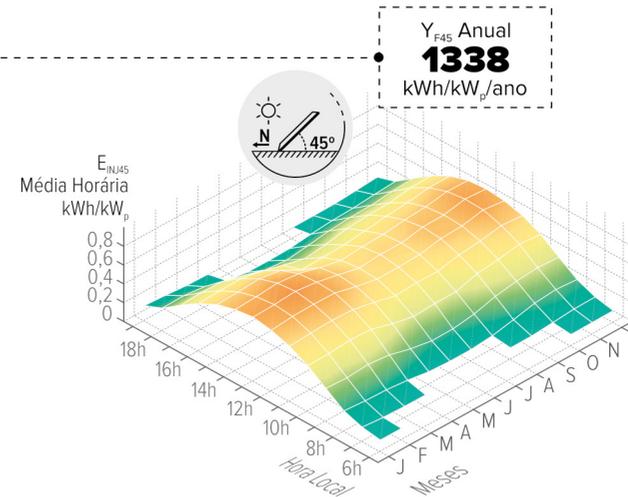
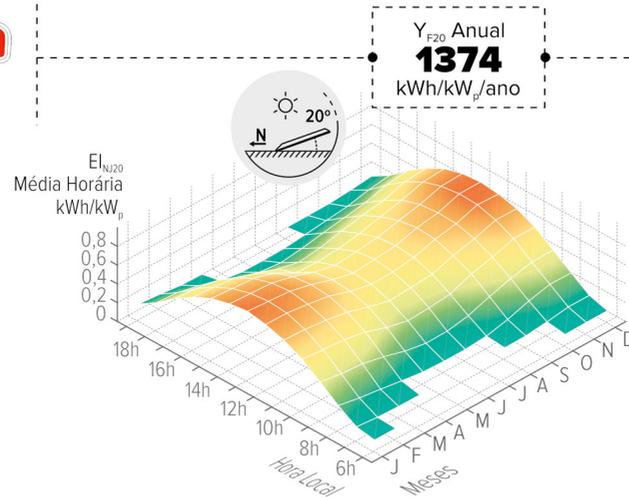
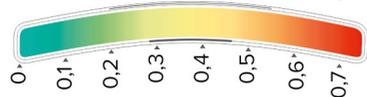


FIGURA 7.2 Variabilidade da produtividade fotovoltaica em função do azimute e ângulo de inclinação dos painéis, mês do ano e hora do dia, em Rio Grande.



SANTA MARIA

melhor ângulo, orientado para o Norte com inclinação

~ 26°

produtividade média anual calculada Y_F

1346

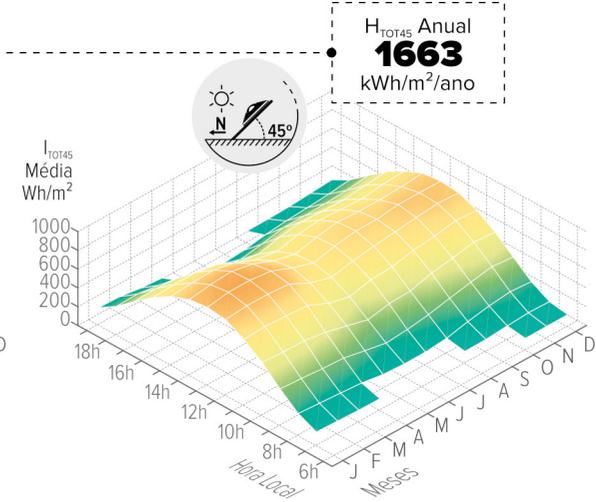
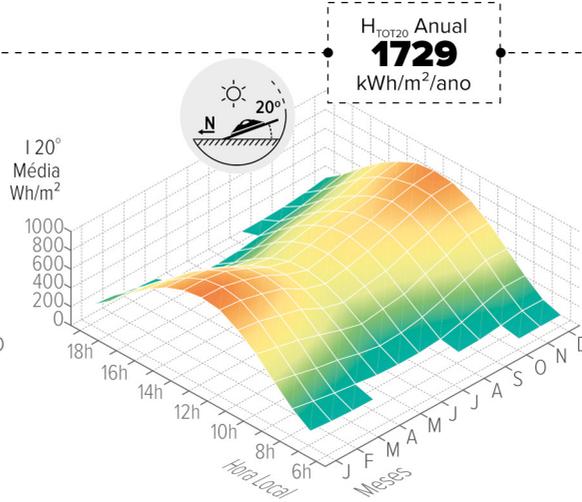
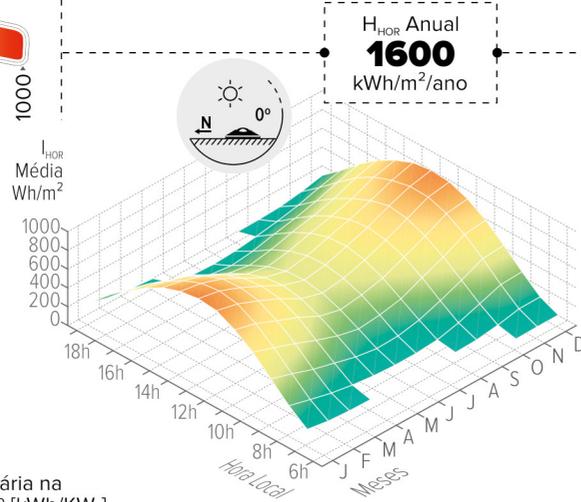
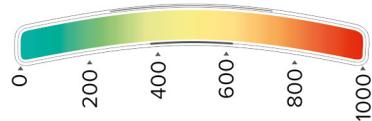
kWh/kW_p/ano

PERCENTUAL DA PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA ANUAL EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE MÁXIMA, EM FUNÇÃO DO AZIMUTE E INCLINAÇÃO [%]

INCLINAÇÃO DO PAINEL	90°	20	24	29	35	41	47	51	54	57	57	57	57	57	57	55	52	48	43	37	30	25	21	19	
	85°	22	27	32	39	45	51	55	59	62	63	63	62	63	63	62	60	57	52	46	40	34	28	23	21
	80°	25	29	35	42	49	54	59	63	66	68	68	68	68	68	67	65	61	56	50	43	37	31	25	23
	75°	27	32	38	45	52	58	64	68	71	73	74	74	74	73	72	69	65	60	54	47	40	34	28	26
	70°	31	35	42	49	56	62	67	72	75	77	79	79	79	78	76	73	69	63	58	51	44	37	32	30
	65°	35	39	45	52	59	65	71	76	79	82	83	83	83	82	80	77	72	67	61	54	47	40	36	34
	60°	39	43	49	56	62	69	74	79	83	85	87	87	87	86	84	81	76	70	64	58	51	44	40	39
	55°	44	47	52	59	66	72	77	82	86	89	90	91	91	89	87	84	79	74	68	61	55	49	45	43
	50°	48	51	56	63	69	75	80	85	89	92	93	94	93	92	90	86	82	77	71	65	58	53	49	48
	45°	53	55	60	66	72	78	83	87	91	94	96	96	96	95	92	89	85	80	74	68	62	57	54	52
	40°	57	60	64	70	75	81	85	90	93	96	97	98	98	96	94	91	87	82	77	72	66	62	58	57
	35°	62	65	69	73	78	83	88	91	95	97	99	99	99	98	96	93	89	85	80	75	70	66	63	62
	30°	67	69	73	77	81	85	89	93	96	98	99	99	99	99	97	94	91	87	83	78	74	71	68	67
25°	73	74	77	80	84	87	91	94	96	98	99	99	99	99	97	95	92	89	85	81	78	75	73	72	
20°	77	79	80	83	86	89	92	94	96	98	99	99	99	99	97	95	93	90	87	84	82	79	78	77	
15°	82	83	84	86	88	90	92	94	96	97	98	99	99	98	97	95	93	91	89	87	85	83	82	82	
10°	86	86	87	88	90	91	93	94	95	96	97	97	97	97	96	95	93	92	91	89	88	87	86	86	
5°	89	90	90	91	91	92	93	93	94	95	95	95	95	95	94	94	93	92	92	91	90	90	89	89	
0°	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	
		195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
		SUL	SUDESTE	OESTE	NOROESTE	NORTE	NORDESTE	LESTE	SUDESTE	SUL															

ORIENTAÇÃO DO PAINEL (AZIMUTE)

Irradiação Horária [Wh/m²]
em diferentes planos de inclinação



Produtividade Horária na
Inclinação de 20° e 45° [kWh/KW_p]

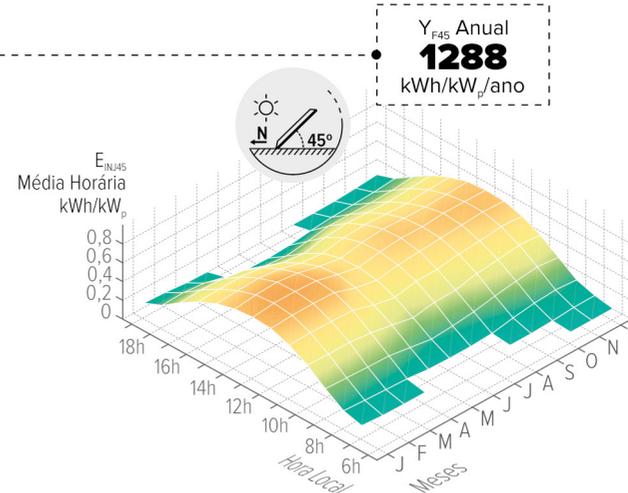
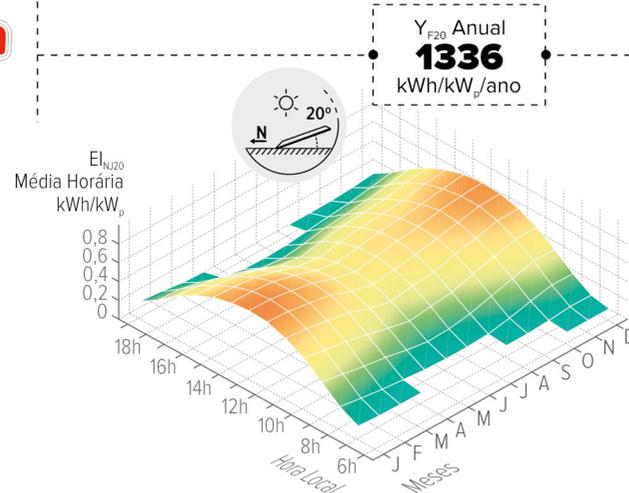
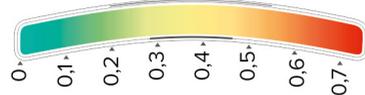


FIGURA 7.3 Variabilidade da produtividade fotovoltaica em função do azimute e ângulo de inclinação dos painéis, mês do ano e hora do dia, em Santa Maria.



URUGUAIANA

melhor ângulo, orientado para o Norte com inclinação

~ 28°

produtividade média anual calculada Y_F

1526

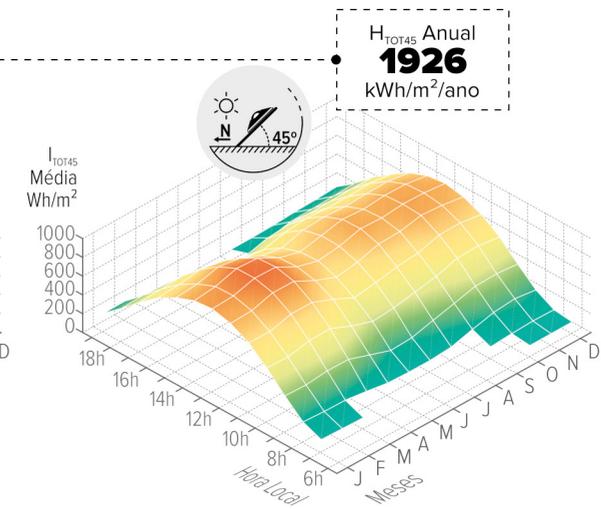
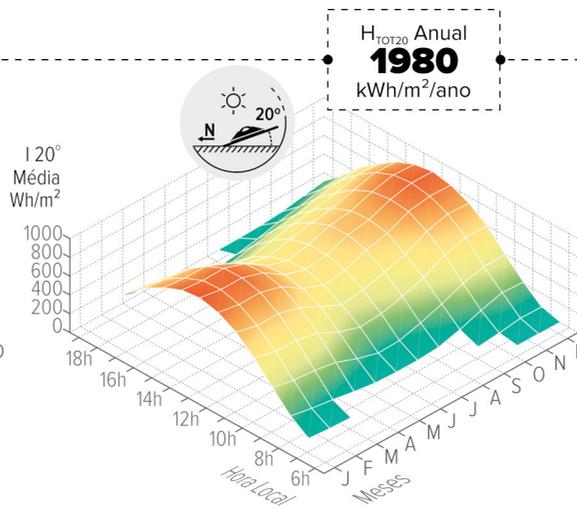
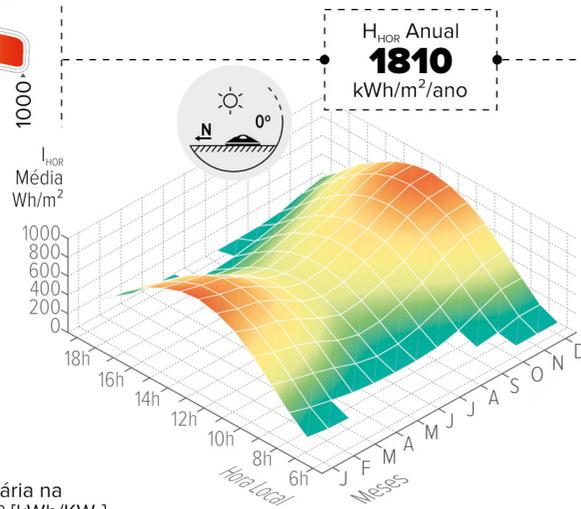
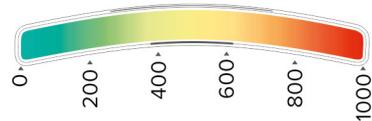
kWh/kW_p/ano

PERCENTUAL DA PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA ANUAL EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE MÁXIMA, EM FUNÇÃO DO AZIMUTE E INCLINAÇÃO [%]

INCLINAÇÃO DO PAINEL	90°	19	23	29	35	42	48	52	55	57	58	58	58	58	59	59	57	53	49	43	36	30	24	20	18
	85°	21	26	31	39	45	51	56	60	62	63	64	64	64	64	63	61	57	53	47	40	33	27	22	19
	80°	23	28	35	41	49	54	60	64	67	69	69	69	70	70	68	66	62	56	50	43	36	29	24	21
	75°	26	31	38	45	52	58	64	68	71	73	74	75	75	74	73	69	65	60	54	46	39	32	26	24
	70°	29	34	41	48	55	62	67	72	75	78	79	80	80	79	77	74	69	64	57	50	42	35	30	28
	65°	33	38	44	51	59	65	71	76	79	82	84	84	84	83	81	77	73	67	60	53	45	38	33	32
	60°	37	41	47	55	62	68	74	79	83	86	88	88	88	87	84	80	76	70	63	56	49	42	38	36
	55°	41	45	51	58	65	71	77	82	86	89	91	92	91	90	87	83	79	73	67	60	52	46	42	41
	50°	46	49	55	62	68	74	80	85	89	92	94	94	94	93	90	86	82	76	70	63	56	50	46	45
	45°	50	53	59	65	71	77	82	87	91	94	96	97	96	95	92	88	84	79	73	66	60	54	51	49
	40°	55	58	63	68	74	80	85	89	93	96	98	98	98	96	94	90	86	81	76	70	64	58	55	54
35°	60	62	67	72	77	82	87	91	94	97	99	99	99	97	95	92	88	83	78	73	68	63	60	59	
30°	65	67	71	75	80	84	88	92	95	98	99	99	99	98	96	93	89	85	81	76	72	68	65	64	
25°	70	72	75	78	82	86	90	93	96	98	99	99	99	98	96	94	90	87	83	79	75	72	70	70	
20°	75	77	79	81	85	88	91	93	96	98	99	99	99	98	96	94	91	88	85	82	79	77	75	75	
15°	80	81	82	84	87	89	91	93	95	97	98	98	98	97	96	94	92	89	87	85	83	81	80	80	
10°	84	85	86	87	88	90	92	93	94	95	96	96	96	96	95	93	92	90	89	87	86	85	84	84	
5°	88	88	89	89	90	91	92	92	93	93	94	94	94	93	93	92	92	91	90	89	89	88	88	88	
0°	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	
		195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
		SUL	SUDESTE	OESTE	NOROESTE	NORTE	NORDESTE	LESTE	SUDESTE	SUL															

ORIENTAÇÃO DO PAINEL (AZIMUTE)

Irradiação Horária [Wh/m²]
em diferentes planos de inclinação



Produtividade Horária na
Inclinação de 20° e 45° [kWh/KW_p]

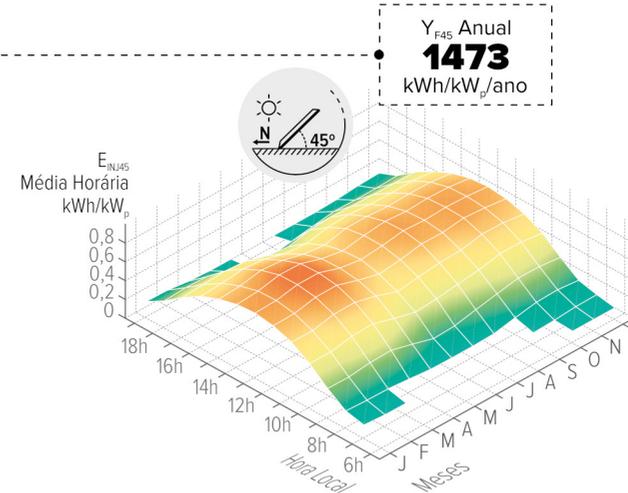
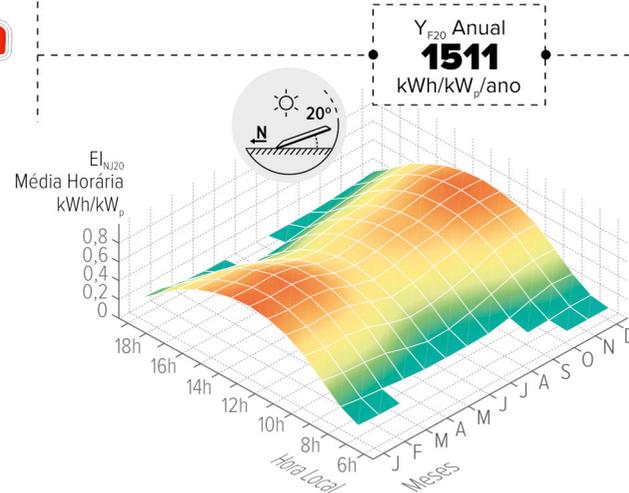
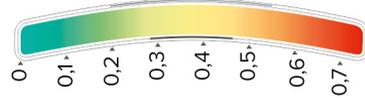


FIGURA 7.4 Variabilidade da produtividade fotovoltaica em função do azimute e ângulo de inclinação dos painéis, mês do ano e hora do dia, em Uruguaiana.



SANTA ROSA

melhor ângulo, orientado para o Norte com inclinação

~ 26°

produtividade média anual calculada Y_F

1446

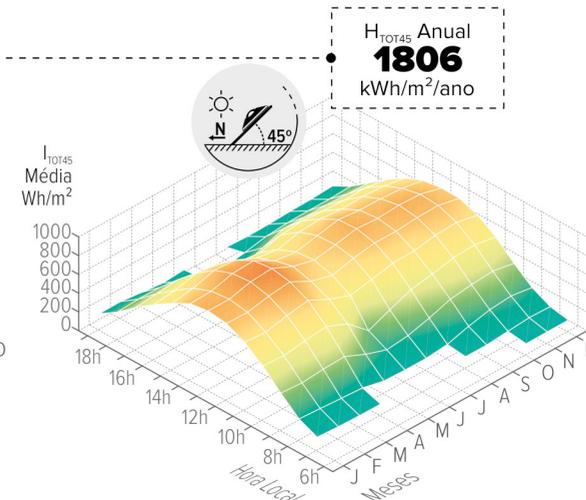
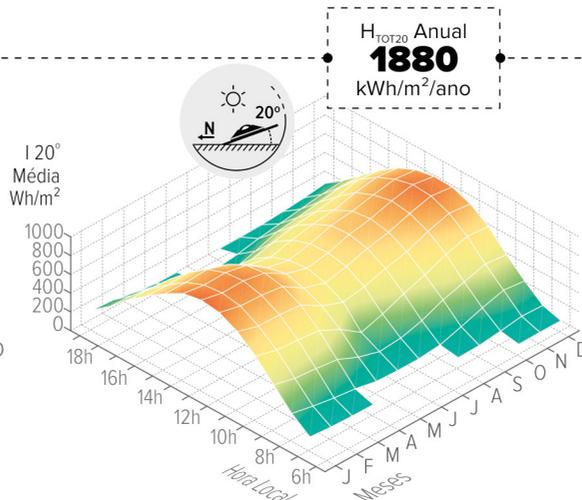
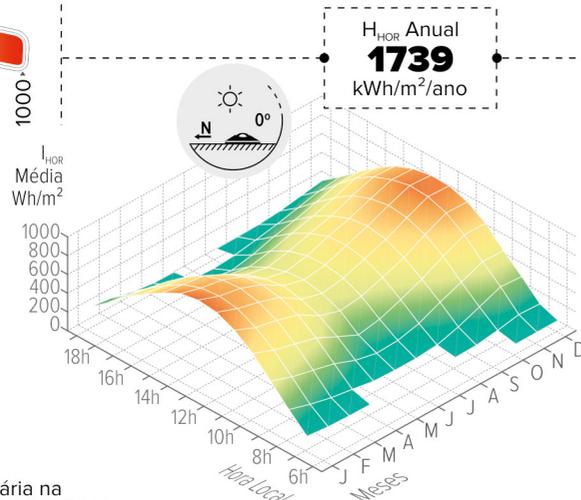
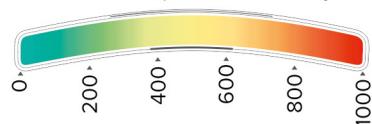
kWh/kW_p/ano

PERCENTUAL DA PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA ANUAL EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE MÁXIMA, EM FUNÇÃO DO AZIMUTE E INCLINAÇÃO [%]

INCLINAÇÃO DO PAINEL	90°	20	23	29	35	41	46	51	54	55	56	55	55	56	56	55	51	47	42	36	29	24	20	18	
	85°	22	26	32	38	44	50	54	58	60	61	61	61	61	62	61	59	56	51	46	39	33	27	22	20
	80°	24	29	35	41	48	54	58	63	65	66	67	67	67	67	66	64	60	55	49	43	36	30	25	22
	75°	27	32	38	45	51	57	63	67	69	71	72	73	73	72	71	68	64	59	53	46	39	33	28	25
	70°	31	35	41	48	55	61	66	70	74	76	77	78	78	77	75	72	68	63	57	50	43	36	31	30
	65°	35	38	45	52	58	64	70	74	78	80	82	82	82	81	79	76	72	67	60	53	46	40	35	34
	60°	39	42	48	55	62	68	73	78	81	84	86	87	86	85	83	80	75	70	64	57	50	44	40	38
	55°	43	46	52	59	65	71	76	81	85	88	89	90	90	89	86	83	79	73	67	61	54	48	44	43
	50°	48	51	56	62	69	74	80	84	88	91	92	93	93	92	89	86	81	76	70	64	58	52	48	47
	45°	52	55	60	66	72	77	82	87	90	93	95	96	95	94	92	88	84	79	74	68	62	56	53	52
	40°	57	60	64	69	75	80	85	89	92	95	97	98	97	96	94	90	86	82	77	71	66	61	58	56
	35°	62	65	69	73	78	83	87	91	94	97	98	99	99	97	95	92	88	84	79	75	70	66	63	61
	30°	67	70	73	77	81	85	89	92	95	98	99	99	99	98	96	93	90	86	82	78	74	70	68	67
25°	73	74	77	80	83	87	90	93	96	98	99	99	99	99	97	94	91	88	85	81	78	75	73	72	
20°	78	79	81	83	86	89	92	94	96	98	99	99	99	99	97	95	92	90	87	84	81	79	78	77	
15°	82	83	84	86	88	90	92	94	96	97	98	99	99	98	97	95	93	91	89	87	85	83	82	82	
10°	86	87	88	89	90	91	93	94	95	96	97	97	97	97	96	95	93	92	90	89	88	87	86	86	
5°	90	90	90	91	92	92	93	94	94	95	95	95	95	95	94	94	93	92	92	91	90	90	90	90	
0°	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	
		195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
		SUL	SUDESTE	OESTE	NOROESTE	NORTE	NORDESTE	LESTE	SUDESTE	SUL															

ORIENTAÇÃO DO PAINEL (AZIMUTE)

Irradiação Horária [Wh/m²]
em diferentes planos de inclinação



Produtividade Horária na
Inclinação de 20° e 45° [kWh/KW_p]

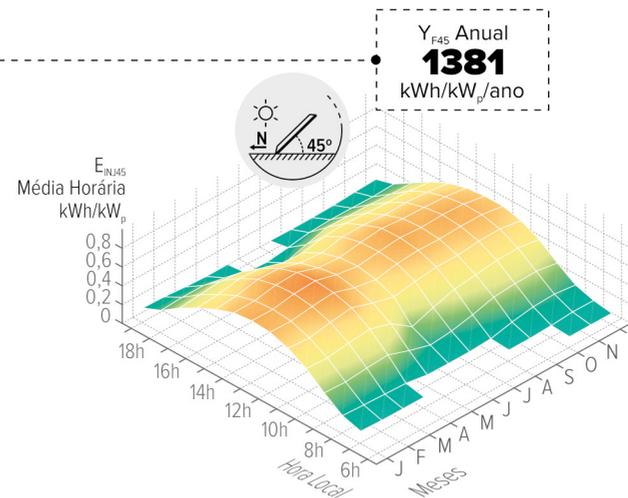
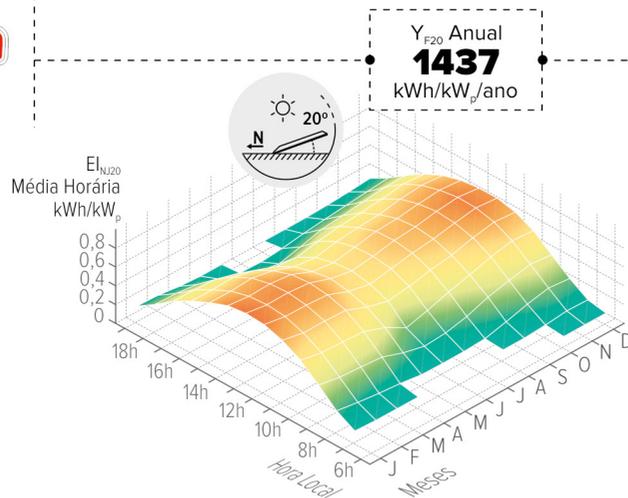
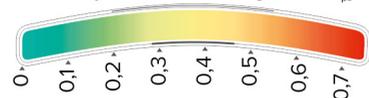


FIGURA 7.5 Variabilidade da produtividade fotovoltaica em função do azimute e ângulo de inclinação dos painéis, mês do ano e hora do dia, em Santa Rosa.



RIO PARDO

melhor ângulo, orientado para o Norte com inclinação

~ 27°

produtividade média anual calculada Y_F

1371

kWh/kW_p/ano

PERCENTUAL DA PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA ANUAL EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE MÁXIMA, EM FUNÇÃO DO AZIMUTE E INCLINAÇÃO [%]

INCLINAÇÃO DO PAINEL	90°	21	24	30	36	42	47	52	55	57	57	57	57	57	57	58	57	55	52	48	43	37	31	25	21	19
	85°	23	27	33	39	45	51	56	59	62	63	63	63	63	63	63	62	60	56	52	46	40	34	28	23	21
	80°	25	30	36	42	49	55	60	63	66	68	68	69	69	68	67	64	60	56	50	44	37	30	26	23	23
	75°	28	33	39	46	52	59	64	68	71	73	74	74	74	73	72	69	65	59	54	47	40	34	28	26	26
	70°	31	36	42	49	56	62	68	72	75	77	79	79	79	78	76	73	68	63	57	50	43	37	32	30	30
	65°	35	39	46	53	59	66	71	76	79	82	83	84	83	82	80	77	72	67	61	54	47	40	36	34	34
	60°	40	43	49	56	63	69	74	79	83	86	87	88	87	86	84	80	76	70	64	57	50	44	40	39	39
	55°	44	47	53	60	66	72	78	82	86	89	90	91	91	89	87	83	79	73	67	61	54	48	44	43	43
	50°	48	51	57	63	70	75	81	85	89	92	93	94	94	92	90	86	82	76	71	64	58	52	49	48	48
	45°	53	56	61	67	73	78	83	88	91	94	96	96	96	94	92	89	84	79	74	68	62	56	53	52	52
	40°	57	60	65	70	76	81	86	90	93	96	97	98	98	96	94	91	87	82	77	71	66	61	57	56	56
	35°	62	65	69	74	79	83	88	92	95	97	99	99	99	98	95	92	88	84	79	74	69	65	62	61	61
	30°	67	69	73	77	81	86	89	93	96	98	99	99	99	98	96	93	90	86	82	78	73	70	67	66	66
25°	72	74	77	80	84	87	91	94	96	98	99	99	99	99	97	94	91	88	84	81	77	74	72	72	72	
20°	77	78	81	83	86	89	92	94	96	98	99	99	99	98	97	95	92	89	86	83	81	79	77	77	77	
15°	81	82	84	86	88	90	92	94	96	97	98	98	98	97	96	95	93	91	88	86	84	83	81	81	81	
10°	85	86	87	88	90	91	93	94	95	96	97	97	97	96	95	94	93	91	90	88	87	86	85	85	85	
5°	89	89	90	90	91	92	93	93	94	94	95	95	95	94	94	93	93	92	91	90	90	89	89	89	89	
0°	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	
		195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	
		SUL	SUDESTE	OESTE	NOROESTE	NORTE	NORDESTE	LESTE	SUDESTE	SUL																

ORIENTAÇÃO DO PAINEL (AZIMUTE)

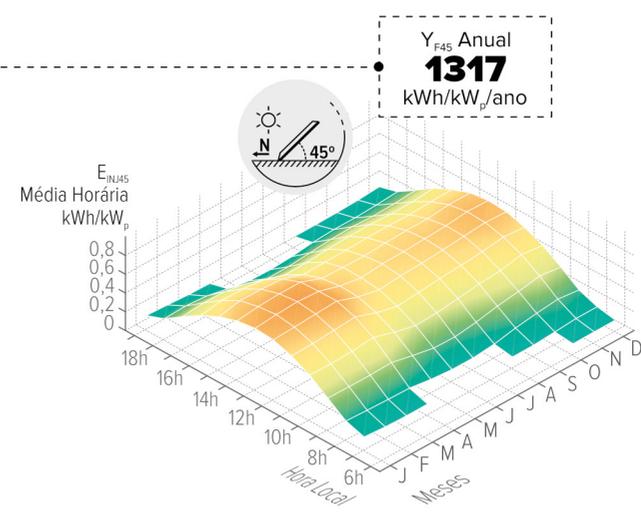
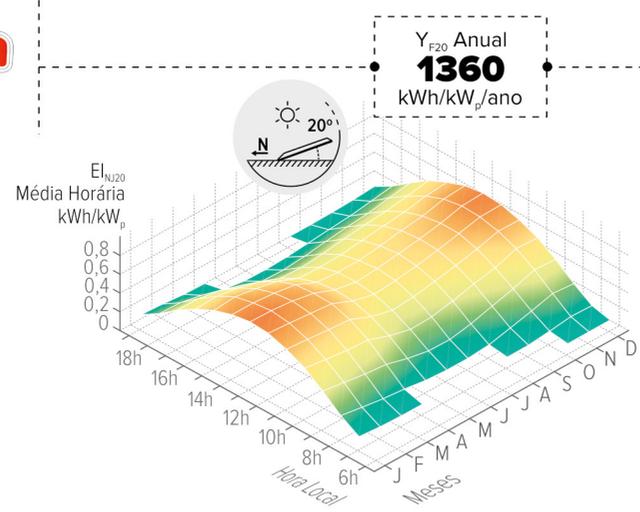
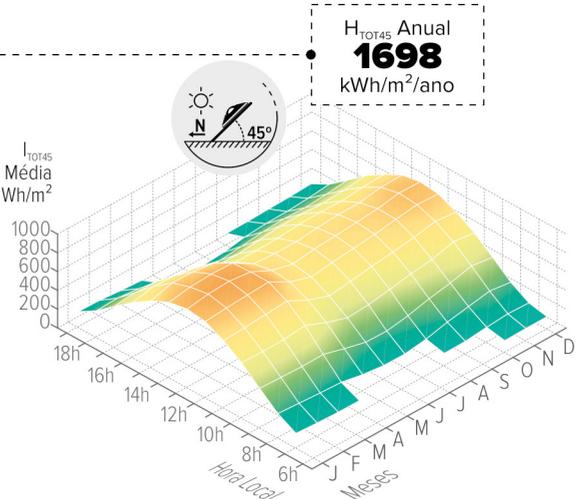
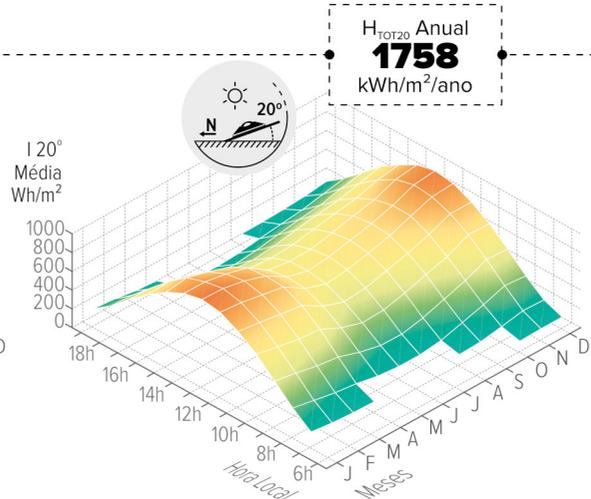


FIGURA 7.6 Variabilidade da produtividade fotovoltaica em função do azimute e ângulo de inclinação dos painéis, mês do ano e hora do dia, em Rio Pardo.

PERCENTUAL DA PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA ANUAL EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE MÁXIMA, EM FUNÇÃO DO AZIMUTE E INCLINAÇÃO [%]



BAGÉ

melhor ângulo, orientado para o Norte com inclinação

~ 30°

produtividade média anual calculada Y_F

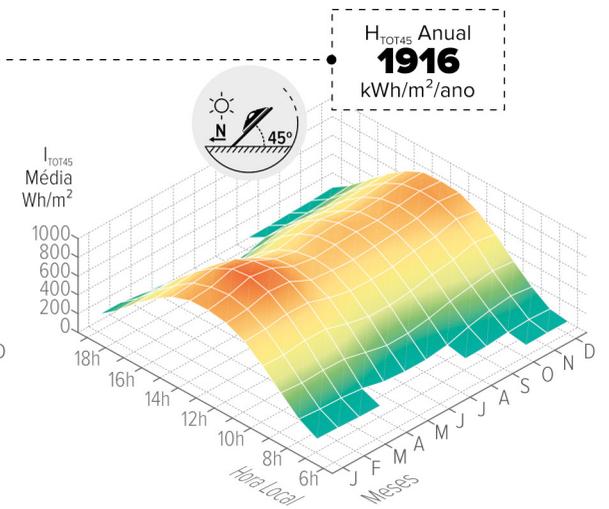
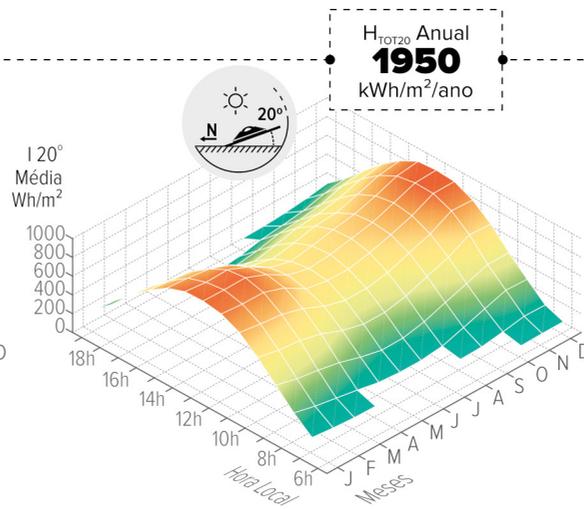
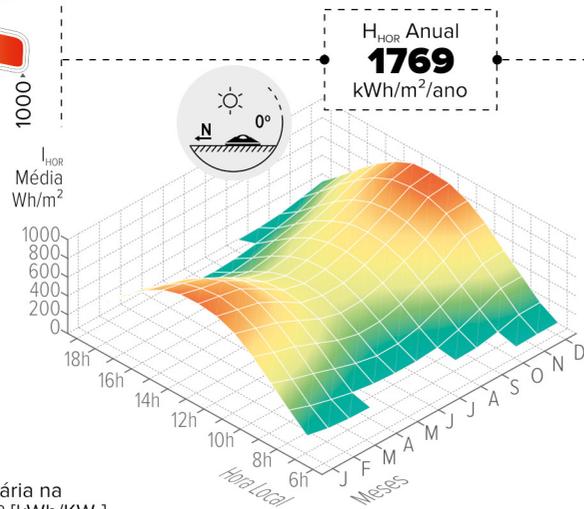
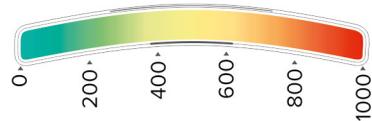
1523

kWh/kW_p/ano

INCLINAÇÃO DO PAINEL	90°	19	23	29	35	42	48	53	57	59	60	60	60	60	60	59	57	54	49	43	36	29	23	20	18
	85°	21	26	32	39	46	52	57	61	64	65	66	66	66	66	64	62	58	53	46	39	32	26	21	19
	80°	23	28	35	42	49	55	61	65	68	70	71	71	71	71	69	66	62	56	50	42	35	29	23	21
	75°	25	31	37	45	52	59	65	69	73	75	76	77	76	76	73	70	66	60	53	46	38	32	26	24
	70°	29	34	41	48	55	62	68	73	77	79	81	81	81	80	78	74	69	63	57	49	41	34	29	27
	65°	32	37	44	51	59	65	71	77	81	83	85	86	85	84	81	77	72	67	60	52	44	37	33	31
	60°	36	40	47	54	62	69	75	80	84	87	89	89	89	87	85	81	75	70	63	55	48	41	37	35
	55°	40	44	50	58	65	72	78	83	87	90	92	93	92	90	87	83	79	73	66	59	51	45	41	40
	50°	45	48	54	61	68	74	80	85	89	93	95	95	95	93	90	86	81	75	69	62	55	49	45	44
	45°	49	52	58	64	71	77	83	87	92	95	97	97	97	95	92	88	83	78	72	65	59	53	49	48
	40°	53	57	62	68	74	79	85	89	93	96	98	99	98	97	94	90	85	80	75	69	62	57	54	53
	35°	58	61	66	71	76	82	87	91	94	97	99	99	99	98	95	91	87	82	77	72	66	62	58	57
30°	63	66	70	74	79	84	88	92	95	98	99	99	99	98	96	92	89	84	80	75	70	66	63	62	
25°	68	70	74	77	81	85	89	93	96	98	99	99	99	98	96	93	90	86	82	78	74	71	69	68	
20°	74	75	77	80	84	87	90	93	95	97	99	99	99	97	96	93	91	87	84	81	78	75	74	73	
15°	78	79	81	83	86	88	91	93	95	96	97	98	97	96	95	93	91	89	86	84	81	80	78	78	
10°	83	83	84	86	87	89	91	92	94	95	95	96	95	95	94	93	91	89	88	86	85	83	83	82	
5°	87	87	87	88	89	90	91	91	92	93	93	93	93	93	92	91	91	90	89	88	87	87	87	86	
0°	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
		195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
		SUL	SUDESTE	OESTE	NOROESTE	NORTE	NORDESTE	LESTE	SUDESTE	SUL															

ORIENTAÇÃO DO PAINEL (AZIMUTE)

Irradiação Horária [Wh/m²]
em diferentes planos de inclinação



Produtividade Horária na
Inclinação de 20° e 45° [kWh/KW_p]

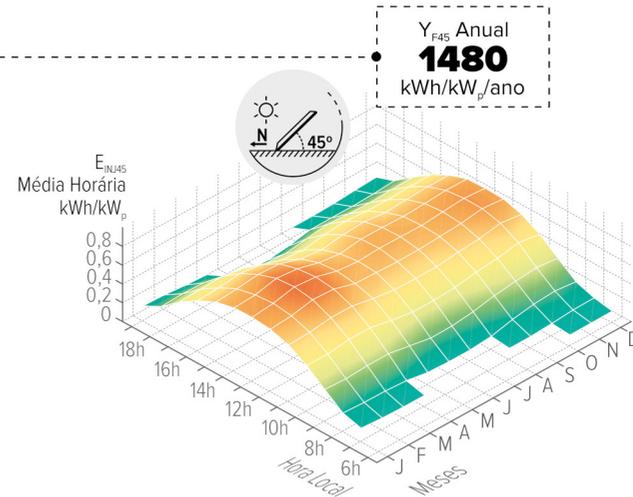
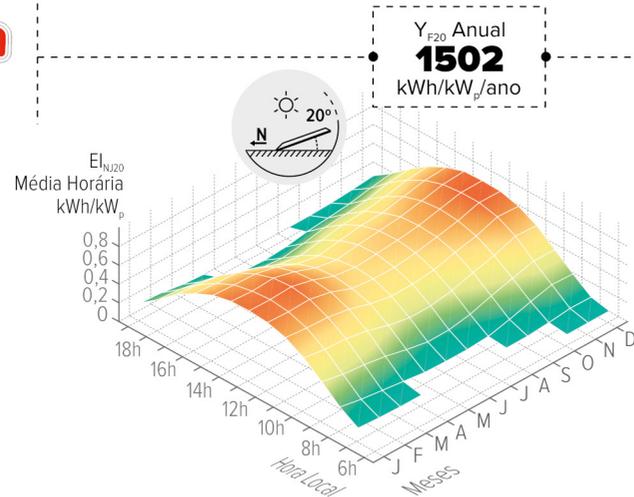
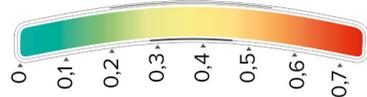


FIGURA 7.7 Variabilidade da produtividade fotovoltaica em função do azimute e ângulo de inclinação dos painéis, mês do ano e hora do dia, em Bagé.



VACARIA

melhor ângulo, orientado para o Norte com inclinação

~ 27°

produtividade média anual calculada Y_F

1420

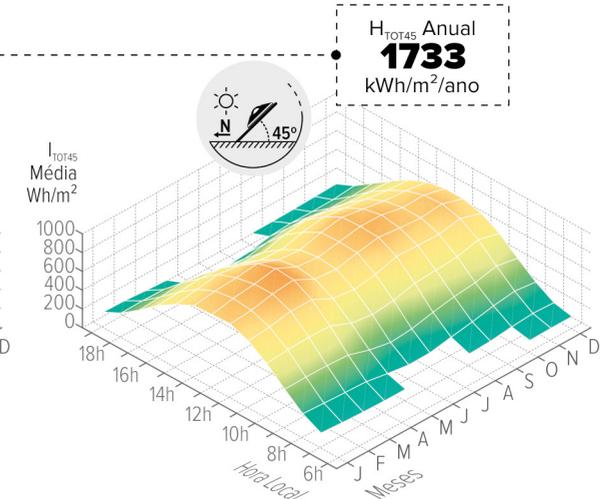
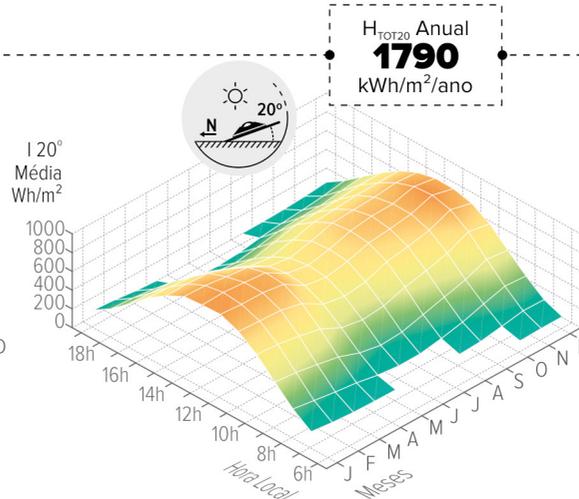
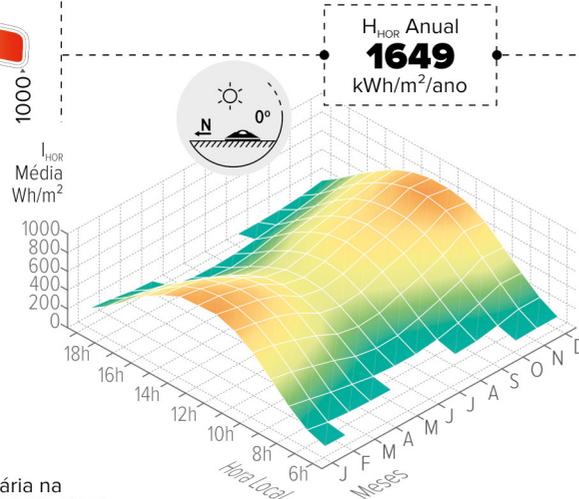
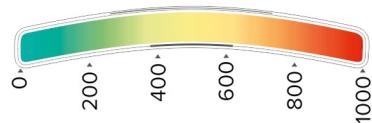
kWh/kW_p/ano

PERCENTUAL DA PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA ANUAL EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE MÁXIMA, EM FUNÇÃO DO AZIMUTE E INCLINAÇÃO [%]

INCLINAÇÃO DO PAINEL	90°	20	24	29	35	41	46	51	54	56	57	57	57	57	56	54	51	46	41	35	29	24	20	19	
	85°	22	27	32	38	44	50	55	59	61	63	63	63	63	62	61	58	55	50	45	38	32	27	22	20
	80°	25	29	35	42	48	54	59	63	66	68	68	69	68	68	66	63	59	54	48	42	35	29	25	23
	75°	27	32	38	45	52	58	63	67	71	73	74	74	74	73	70	67	63	58	52	45	39	33	28	26
	70°	31	35	41	48	55	61	67	71	75	77	79	79	79	77	75	71	67	61	55	49	42	36	31	30
	65°	35	39	45	52	58	65	70	75	79	81	83	84	83	81	79	75	71	65	59	52	45	39	35	34
	60°	39	42	49	55	62	68	74	79	82	85	87	88	87	85	82	78	74	69	62	56	49	43	39	38
	55°	43	46	52	59	65	72	77	82	86	89	90	91	90	89	86	82	77	72	66	59	53	47	44	43
	50°	48	51	56	62	69	75	80	85	88	91	93	94	93	91	89	85	80	75	69	63	57	51	48	47
	45°	52	55	60	66	72	78	83	87	91	94	96	96	96	94	91	87	83	78	72	66	61	55	52	51
	40°	56	59	64	70	75	80	85	89	93	96	97	98	97	96	93	89	85	81	75	70	65	60	57	55
	35°	61	64	68	73	78	83	87	91	95	97	99	99	99	97	94	91	87	83	78	73	69	64	61	60
	30°	67	69	72	76	81	85	89	93	96	98	99	99	99	98	96	93	89	85	81	77	73	69	67	66
25°	72	74	76	80	83	87	91	94	96	98	99	99	99	98	96	94	90	87	83	80	76	74	72	71	
20°	77	78	80	83	86	89	92	94	96	98	99	99	99	98	96	94	92	89	86	83	80	78	77	76	
15°	81	82	84	86	88	90	92	94	96	97	98	98	98	97	96	94	92	90	88	86	84	82	81	81	
10°	85	86	87	88	90	91	93	94	95	96	97	97	97	96	95	94	93	91	89	88	87	86	85	85	
5°	89	89	90	90	91	92	92	93	94	94	95	95	94	94	94	93	92	92	91	90	90	89	89	89	
0°	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	
		195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
		SUL	SUDESTE	OESTE	NOROESTE	NORTE	NORDESTE	LESTE	SUDESTE	SUL															

ORIENTAÇÃO DO PAINEL (AZIMUTE)

Irradiação Horária [Wh/m²]
em diferentes planos de inclinação



Produtividade Horária na
Inclinação de 20° e 45° [kWh/KW_p]

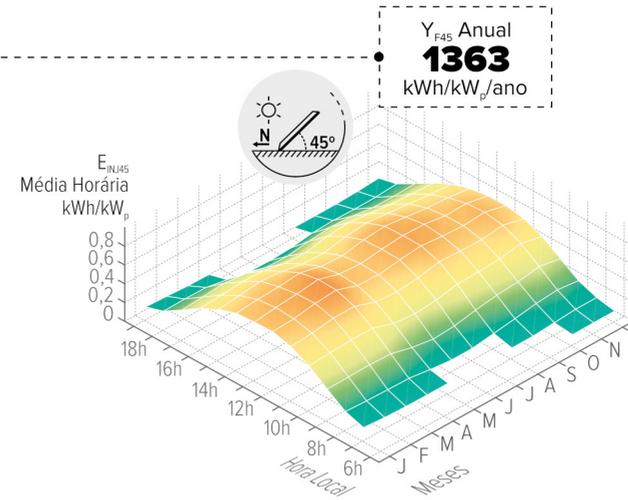
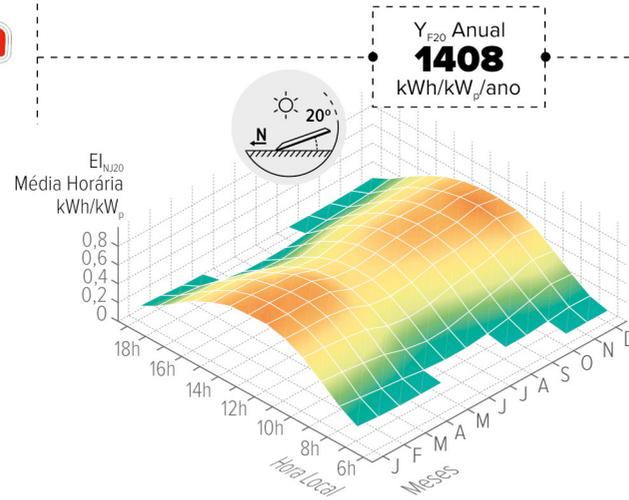
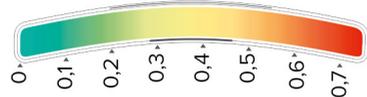


FIGURA 7.8 Variabilidade da produtividade fotovoltaica em função do azimute e ângulo de inclinação dos painéis, mês do ano e hora do dia, em Vacaria.

7.4 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE LOCAIS PARA PLANTAS FOTOVOLTAICAS

Os projetos de aproveitamento solar devem ser realizados seguindo critérios técnicos específicos que fogem ao escopo do Atlas. Em geral, os critérios para a escolha do local de plantas fotovoltaicas destinadas à inserção da energia no sistema elétrico (geração centralizada) são distintos dos critérios para instalação de um pequeno número de painéis para consumo industrial, comercial ou doméstico (geração distribuída). Esta seção busca descrever alguns deles e é complementada pelo Apêndice C, que traz um guia para aquisição de pequenos projetos de aproveitamento solar, com destaque para as principais etapas de implementação de pequenos projetos fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar.

7.4.1 GERAÇÃO CENTRALIZADA FOTOVOLTAICA

Relaciona-se a seguir alguns critérios preliminares para a escolha de locais para a geração centralizada fotovoltaica no Rio Grande do Sul.

Irradiância solar: a determinação da quantidade de energia fotovoltaica gerada em um local se deve, principalmente, ao valor da irradiação solar acumulada anual, aliado a cálculos detalhados sobre as perdas e a eficiência dos módulos e de todo o arranjo elétrico. Em termos gerais, para a implementação de projetos centralizados, são requeridas medições detalhadas da radiação solar no local de implantação do projeto, com equipamentos com baixa incerteza de medição e um período mínimo de 12 meses [13]. No Rio Grande do Sul, a variabilidade da irradiação solar é relativamente baixa em cada microrregião e estão na região Oeste do Estado as áreas com os maiores valores da irradiação solar para aproveitamento de projetos centralizados.

Área protegidas ou conflitivas: diferentemente da geração distribuída, em que um pequeno número de painéis fotovoltaicos causa impacto ambiental desprezível, a modificação da paisagem por uma planta solar de maior porte é um fator a ser considerado. Usinas centralizadas são inviáveis em áreas protegidas e, mesmo nas áreas sem proteção legal, pode haver conflito com as comunidades locais. São necessárias, portanto, análises sobre os impactos sociais e ambientais de um projeto. Para essas análises, o Capítulo 3 descreve alguns aspectos sobre a legislação ambiental vigente no Rio Grande do Sul e a localização de áreas com restrições legais (Mapa 3.1).

Inclinação do terreno: se o terreno possui topografia complexa, o aproveitamento da área poderá ser prejudicado, diminuindo a relação Potência Instalada x Área e elevando os custos de implantação. Observa-se pelos Mapas 6.20 que as áreas montanhosas do Norte do Estado foram excluídas do cálculo do potencial fotovoltaico.

Uso do solo: na pesquisa por locais para a instalação de usinas centralizadas, deve-se desconsiderar as áreas onde já existam atividades que gerem retorno financeiro igual ou superior ao da geração de energia solar, ou as áreas cujo valor supere o lucro econômico esperado. O Mapa 6.20, bem como as integrações realizadas no início deste capítulo, desconsideram as áreas agrícolas, as áreas com atividade de reflorestamento, e outros usos, por serem incompatíveis.

Locais com formação de neblina: áreas sujeitas periodicamente à formação de névoa, tais como áreas de serras e encostas, devem ser evitadas para os projetos centralizados. No Rio Grande do Sul, essas áreas estão localizadas na Serra Gaúcha e ao longo de encostas próximas às regiões serranas. Ao longo do litoral, no entorno de lagoas e em áreas alagáveis deve ser avaliada a persistência e periodicidade da formação de névoa úmida. Por fim, próximo aos grandes centros urbanos e industriais, deve ser avaliado se há histórico de formação de névoa seca e suas possíveis implicações na geração de energia.

Proximidade à linha costeira: recomenda-se, para instalações fotovoltaicas, locais secos e afastados da costa marítima, a fim de evitar a brisa marítima (maresia), que pode acelerar o processo de degradação dos módulos, reduzindo o seu rendimento.

Proximidade de conexão ao sistema de transmissão: para fazer um projeto mais competitivo e diminuir os seus custos de implantação, a distância da usina até a subestação à qual será conectada deve ser a menor possível. A localização das subestações da rede básica, bem como das principais distribuidoras, é apresentada no Apêndice D.

Escala dos terrenos disponíveis: com o auxílio de incentivos governamentais, a geração solar centralizada compete, no Brasil, com as demais fontes de energias renováveis, tais como: eólica, biomassa e hidráulica. As usinas tornam-se mais competitivas com ganhos de escala, ou seja, com a instalação de um grande número de módulos, para os quais são necessários centenas de hectares de terrenos aptos e contíguos.

7.4.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A seguir são relacionados critérios preliminares para escolha de locais para a geração fotovoltaica distribuída. Embora, a princípio, os critérios tenham sido selecionados a partir das especificidades do Rio Grande do Sul, a maioria deles aplica-se a projetos fotovoltaicos em geral.

Orientação e inclinação dos painéis: geralmente, a geração distribuída utiliza espaços pré-existentes, como áreas de telhados em residências e prédios. Por outro lado, a estrutura para suportar os painéis deve ser projetada buscando o melhor rendimento possível, segundo as coordenadas geográficas do local, o que é realizado com o ajuste da orientação e inclinação dos painéis. Quando essa orientação não coincide com a da estrutura pré-existente, pode haver aumento do custo de implantação, ou perda de eficiência. Os gráficos e análises apresentados na seção 7.3 podem auxiliar na estimativa da perda de eficiência dos módulos com a alteração dos ângulos de azimute e de inclinação, em relação às suas posições ótimas.

Baterias: no caso de sistemas isolados, são necessárias baterias para armazenar a energia gerada, visando suprir o consumo em períodos sem geração, como os noturnos e os dias nublados.

Legislação local: no sistema elétrico de alguns países, a geração distribuída pode ser conectada livremente à rede ou com algum custo marginal. Essa possibilidade proporciona duas vantagens: dispensa da necessidade de armazenamento de energia, pois nos períodos em que o sistema não está gerando (p. ex., durante a noite) é possível consumir a energia elétrica da rede; possibilidade da venda do excesso de produção à companhia de distribuição. O Brasil, durante os últimos anos, vem evoluindo nas políticas para a geração distribuída, como citado no Capítulo 4. Especificamente na Seção 4.1.2 são relacionados alguns marcos regulatórios que definem os mecanismos adotados no país.

Ventos extremos: Um importante parâmetro para o cálculo estrutural de usinas solares são as rajadas máximas do vento. Esse parâmetro é utilizado para o dimensionamento da fixação dos painéis e é calculado com base na frequência histórica de ventos extremos na região do projeto. O mapa de rajada máxima a 10 m de altura, disponível no Apêndice F, apresenta as velocidades extremas medidas sobre 3 segundos com período de recorrência de 50 anos, no Rio Grande do Sul, calculadas conforme as normas NB-599/87 e NBR 6123/88 [14] e IEC 61400-1 [15]. Este mapa foi derivado dos resultados do Atlas do Potencial Eólico do Rio Grande do Sul, publicado em 2014 [9].

7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mapas apresentados neste Atlas baseiam-se na metodologia desenvolvida ao longo dos últimos anos em Universidades do estado do Rio Grande do Sul [16], pela primeira vez aplicada em um atlas solar, no Brasil. A utilização dos dados de 33 estações automáticas do INMET permitiu a validação e ajuste do mapeamento às medições reais disponíveis. Embora não sejam medições com padrão específico para dimensionamento de projetos solares, são gratuitamente disponíveis e representam o que há de melhor em termos históricos de dados solarimétricos no Brasil. Enfatiza-se o esforço da política de distribuição dos dados do INMET, que garante, durante anos, a manutenção, operação e distribuição de dados das estações automáticas em todo o território nacional. Especificamente no Rio Grande do Sul, existem hoje 44 estações automáticas em operação, das quais mais de 6 foram instaladas recentemente.

As premissas adotadas para a integração da produção de energia solar são baseadas em critérios realistas, buscando proporcionar uma análise conservadora acerca do potencial teórico, levando em consideração o maior número possível de aspectos técnicos, socioeconômicos e ambientais. A delimitação das áreas aptas, excluindo-se da integração as áreas agrícolas, pastagens,

florestas, e demais usos incompatíveis com a produção solar, foi um importante insumo na integração espacial do potencial fotovoltaico nas várias regiões do Estado. Excluídas as áreas de restrição, estimou-se que se fossem utilizados apenas 2,1% das áreas aptas não urbanas em projetos de usinas solares centralizadas, o Estado seria capaz de suprir toda a sua demanda energética de 2016. Esse potencial solar, combinado com a recente redução de preços e avanços tecnológicos nos processos de fabricação dos painéis fotovoltaicos, pode gerar cenários positivos para a aplicação em larga escala dessa tecnologia no Estado. Destacam-se ainda os dados apresentados de radiação no plano inclinado e horizontal, os quais podem auxiliar no planejamento de projetos de sistemas de aquecimento solar, um importante segmento industrial para aplicação desta energia.

Pode-se afirmar que, em termos absolutos de radiação solar incidente, o potencial solar do Rio Grande do Sul supera em várias vezes o seu consumo atual de energia. Tecnicamente, os valores de irradiação levantados tornam qualquer região do território estadual viável à implantação de projetos de aproveitamento solar. Mesmo após impor-se um grande número de restrições, o potencial solar continua promissor e pode ser aproveitado dentro dos limites de inserção no Sistema Elétrico regional, ou em sistemas isolados. Este Atlas pode ser utilizado tanto como ins-

trumento para atração de investimentos, como para direcionar políticas públicas de Estado, tais como planejamento energético e ambiental. Ressalte-se a importância do apoio governamental às linhas de pesquisa e desenvolvimento em energia solar, que além de contribuir na formação de recursos humanos, permite a ampliação e aprofundamento da base de dados solarimétricos do estado, incentiva o desenvolvimento de processos de fabricação de células fotovoltaicas e fomenta a realização de estudos sobre energia solar térmica. Este Atlas tem um importante papel tanto na formação acadêmica das novas gerações de estudantes, como, principalmente, no esclarecimento do público em geral sobre os conhecimentos básicos de energia solar e, conseqüentemente, no despertar do interesse da população por essa importante fonte de energia renovável.

O Rio Grande do Sul reúne condições favoráveis à instalação de sistemas fotovoltaicos e é atrativo para o estabelecimento de empresas fabricantes de máquinas e equipamentos da cadeia produtiva solar, bem como para prestadores de serviços especializados (engenharia, logística, montagem e manutenção). O Estado fornece oportunidade para a geração de empregos qualificados, o que traz impacto positivo na agregação tecnológica, na geração de renda e no poder de consumo da população.

8

Referências

1. O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

- [1] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2018**. 2018.
- [2] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Características da população e dos domicílios: resultados do universo**. Disponível em: <<https://ibge.gov.br/>>. Acesso em: 30 de ago. de 2018.
- [3] Fundação de Economia e Estatística – FEE. **PIB municipal – série histórica**, FEE. Disponível em: <<https://www.fee.rs.gov.br/>>. Acesso em: 30 de ago. de 2018.
- [4] U.S. Department of the Interior – DOI. **Landsat 7**. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/>>. Acesso em: 16 de out. de 2018.
- [5] Consultative Group on International Agricultural Research – CGIAR. **SRTM 90m digital elevation data**. 2017. Disponível em: <srtm.csi.cgiar.org/>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [6] Wildner, C. **Energia que vem do céu**, Folha do mate. 2018. Disponível em: <<http://www.folhadomate.com/>>. Acesso em: 15 de out. de 2018.
- [7] Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina – Ideal. **50 Telhados**, América do Sol. 2018. Disponível em: <<http://americadosol.org/50telhados/>>. Acesso em: 10 de out. de 2018.
- [8] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Relatórios de apoio à decisão**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 30 de ago. de 2018.
- [9] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Panorama RS**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [10] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Malha municipal digital 2017**. 2018. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [11] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Contratos de concessão e permissão de distribuição**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 16 de out. de 2018.
- [12] Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul – DAER-RS. **Composição da Malha**, DAER-RS. 2018. Disponível em: <<http://www.daer.rs.gov.br/>>. Acesso em: 30 de out. de 2018.
- [13] Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul – DAER-RS. **Rodovias**. Disponível em: <www.daer.rs.gov.br/>. Acesso em: 30 de out. de 2018.
- [14] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Base cartográfica vetorial contínua 1: 250.000**. 2012. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 01 de out. de 2018.
- [15] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Malha municipal digital 2016**. 2016. Disponível em: <geoftp.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [16] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. **Mapa do Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/>>. Acesso em: 30 de out. de 2018.
- [17] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **BIG – Banco de Informações de Geração: capacidade de geração no estado**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 31 de out. de 2018.
- [18] Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2017: ano base 2016**. Rio de Janeiro, 2017.
- [19] Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. **Boletim mensal de geração eólica**. Disponível em: <<http://ons.org.br/>>. Acesso em: 15 de out. de 2018.
- [20] Camargo Schubert Engenheiros Associados; Eletrosul Centrais Elétricas S. A.; AWS Truepower. **Sistema elétrico**. Em: Atlas eólico: Rio Grande do Sul. Porto Alegre: AGDI, 2014. *Dados cartográficos do sistema de transmissão fornecidos por comunicação pessoal pela AES SUL, CEEE, ELETROSUL e RGE.
- [21] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico**. 2017. Disponível em: <sigel.aneel.gov.br/>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.

- [22] Operador Nacional do Sistema – ONS. **Sistema de Informações Geográficas Cadastrais do Sistema Interligado Nacional – SINDAT**. 2014. Disponível em: <aplicsindat.ons.org.br/sindat>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [23] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.
- [24] Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ. **Convênio ICMS 16, de 22 de abril de 2015**. Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.
- [25] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Unidades consumidoras com geração distribuída**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [26] Secretaria de Infraestrutura e Logística do Rio Grande do Sul – SEINFRA-RS. **Balanco energético do Rio Grande do Sul 2013: ano base 2012**. Porto Alegre: Grupo CEEE, 2013. Disponível em: <http://www.cee.com.br>. Acesso em: 20 de out. de 2018. *Dados atualizados via comunicação direta.

2. RADIAÇÃO SOLAR E CLIMATOLOGIA

- [1] Kalogirou, S. A. **Solar energy engineering: processes and systems**. Academic Press, 2013.
- [2] Pereira, A. R.; Angelocci, L. R.; Sentelhas, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Agropecuária, 2002.
- [3] Filho, K. de S. O.; Saraiva, M. de F. O. **Astronomia e astrofísica**. Livraria da Física, 2014.
- [4] Pereira, E. B.; Martins, F. R.; Abreu, S. L. De; Rüther, R.; Gonçalves, A. R.; Lima, F. J. L. De; Tiepolo, G. M.; Pereira, S. V.; Souza, J. G. De. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2ª ed. São José dos Campos: INPE, 2017.
- [5] International Finance Corporation – IFC. **Utility-scale solar photovoltaic power: a project developer's guide**. Washington, D. C., 2015.
- [6] Advanced Research Projects Agency – Energy – ARPA-E. **Focus technology snapshot – Arizona State University's solar-concentrating photovoltaic mirror**. Disponível em: <https://arpa-e.energy.gov>. Acesso em: 08 de out. de 2018.
- [7] Xu, Z.; Kleinstreuer, C. Computational analysis of nanofluid cooling of high concentration photovoltaic cells, **Journal of Thermal Science and Engineering Applications**, vol. 6, nº 3, p. 031009, 2014.
- [8] Duffie, J. A.; Beckman, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons, 2013.
- [9] Oke, T. R. **Boundary layer climates**. Routledge, 2002.
- [10] Sánchez-Zapero, J.; Madrid, L. De la; Camacho, F. **Copernicus Global Land Operations" Vegetation and Energy" – Surface albedo from PROBA-V**. Copernicus Global Land Operations, 12.21, 2018. Disponível em: <https://land.copernicus.eu/global/products/sa>. Acesso em: 30 de out. de 2018.
- [11] Qu, Y.; Liang, S.; Liu, Q.; He, T.; Liu, S.; Li, X. Mapping surface broadband albedo from satellite observations: a review of literatures on algorithms and products, **Remote Sensing**, vol. 7, nº 1, p. 990–1020, jan. 2015.
- [12] Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul – DAER-RS. **Rodovias**. Disponível em: <www.daer.rs.gov.br>. Acesso em: 30 de out. de 2018.
- [13] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Base cartográfica vetorial contínua 1: 250.000**. 2012. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 01 de out. de 2018.
- [14] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Malha municipal digital 2016**. 2016. Disponível em: <geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 01 de jun. de 2017.
- [15] Kleissl, J. **Solar energy forecasting and resource assessment**. 1ª ed. Amsterdam; Boston: Elsevier, Academic Press, 2013.
- [16] International Organization for Standardization – ISO. **ISO 9060: Solar energy – Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation**. 2ª ed. 2018.
- [17] National Weather Service – NWS; Federal Aviation Administration – FAA. **Aviation Weather Services – Advisory Circular, AC 00-45G, Change 1**. Oklahoma, 2010.
- [18] Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010**. Brasília, 2018.
- [19] National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA; National Aeronautics and Space Administration – NASA. **U. S. Standard Atmosphere**. Washington, D. C., 1962.
- [20] Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. **Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET**. Brasília: INMET, 2011. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [21] Reda, I.; Andreas, A. **Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications (Revised)**. NREL/TP-560-34302, 15003974, jan. 2008. Disponível em: <http://www.osti.gov>. Acesso em: 21 de nov. de 2018.
- [22] Gelaro, R.; McCarty, W.; Suárez, M. J.; Todling, R.; Molod, A.; Takacs, L.; Randles, C. A.; Darmenov, A.; Bosilovich, M. G.; Reichle, R. The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2), **Journal of Climate**, vol. 30, nº 14, p. 5419–5454, 2017.
- [23] Global Modeling and Assimilation Office – GMAO. **MERRA-2 tavg1_2d_rad_Nx: 2d,1-Hourly,Time-Averaged,Single-Level,Assimilation,Radiation Diagnostics V5.12.4**, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center – GES DISC. 2015.

3. MEIO AMBIENTE

- [1] Governo do Brasil. **Legislação ambiental no Brasil é uma das mais completas do mundo**. 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente/2010/10/legislacao>>. Acesso em: 17 de out. de 2018.
- [2] Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – Fepam. **Guia básico do licenciamento ambiental**. 2014.
- [3] Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA. **Resolução CONSEMA 372/2018**. Dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental.
- [4] Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – FEPAM. **Portaria FEPAM nº 089/2018**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte solar.
- [5] Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001**. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental.
- [6] Brasil. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.
- [7] Brasil. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.
- [8] Brasil. **Lei nº 11.520, de 03 de agosto de 2000**. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências.
- [9] Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMA. **Unidades de Conservação**. 2018. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em: 16 de ago. de 2018.
- [10] Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMA. **Unidades de Conservação Estaduais**. 2018. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [11] Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMA. **Unidades de Conservação Municipais**. 2018. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em: 20 de out. de 2018.
- [12] Ministério do Meio Ambiente – MMA. **UCs federais de proteção integral**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 15 de out. de 2018.
- [13] Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA. **Quilombolas Brasil**. Disponível em: <<http://acervofundiario.incra.gov.br>>. Acesso em: 25 de out. de 2018.
- [14] Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA. **Assentamentos Brasil**. Disponível em: <<http://acervofundiario.incra.gov.br>>. Acesso em: 20 de out. de 2018.
- [15] Fundação Nacional do Índio – FUNAI. **Terras Indígenas do Brasil (TI)**. 2015. Disponível em: <<http://www.funai.gov.br>>. Acesso em: 15 de out. de 2018.
- [16] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Base cartográfica vetorial contínua 1: 250.000**. 2012. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br>>. Acesso em: 01 de out. de 2018.
- [17] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Malha municipal digital 2016**. 2016. Disponível em: <geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [18] Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Unidades de Conservação – Categorias**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [19] Hernandez, R. R.; Easter, S. B.; Murphy-Mariscal, M. L.; Maestre, F. T.; Tavassoli, M.; Allen, E. B.; Barrows, C. W.; Belnap, J.; Ochoa-Hueso, R.; Ravi, S.; Allen, M. F. Environmental impacts of utility-scale solar energy, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 29, p. 766–779, jan. 2014.
- [20] Arvizu, D.; Balaya, P.; Cabeza, L.; Hollands, K. G. T.; Jäger-Waldau, A.; Kondo, M. **Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation – SRREN**. New York: Cambridge University Press, 2011.

4. TECNOLOGIA

- [1] Kryza, F. **The power of light: the epic story of man's quest to harness the sun.** Digital. New York: McGraw Hill, 2003.
- [2] Butti, K.; Perlin, J. **A golden thread: 2500 years of solar architecture and technology.** 1º ed. Palo Alto, EUA: Chechire Books, 1980.
- [3] NASA Science. **How do Photovoltaics Work?** 2008. Disponível em: <<https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells/>>. Acesso em: 18 de out. de 2018.
- [4] Perlin, J. **From space to earth: the story of solar electricity.** 1º ed. Ann Harbour, EUA: Aatec Publications, 1999.
- [5] National Renewable Energy Laboratory – NREL. **Photovoltaic research.** 2018. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/pv/>>. Acesso em: 08 de ago. de 2018.
- [6] National Renewable Energy Laboratory – NREL. **Efficiency chart.** 2018. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/pv/>>. Acesso em: 10 de ago. de 2018.
- [7] Tiba, C.; Fraidenraich, N.; Moszkowicz, M.; Cavalcant, E. S. C.; Lyra, F. J. M.; Nogueira, Â. M. de B.; Gallegos, H. G. **Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres.** 1º ed. Recife: Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2000.
- [8] Pereira, E. B.; Martins, F. R.; Abreu, S. L. De; Rüther, R. **Atlas brasileiro de energia solar.** 1º ed. São José dos Campos: INPE, 2006.
- [9] Pereira, E. B.; Martins, F. R.; Abreu, S. L. De; Rüther, R.; Gonçalves, A. R.; Lima, F. J. L. De; Tiepolo, G. M.; Pereira, S. V.; Souza, J. G. De. **Atlas brasileiro de energia solar.** 2º ed. São José dos Campos: INPE, 2017.
- [10] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.
- [11] Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ. **Convênio ICMS 16, de 22 de abril de 2015.** Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.
- [12] Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ. **Convênio ICMS 157, de 18 de dezembro de 2015.** Dispõe sobre a adesão dos Estados de Acre, Alagoas, Minas Gerais, Rio de Janeiro, e Rio Grande do Sul ao Convênio ICMS 16/15, que autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.
- [13] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Portaria nº 538, de 15 de dezembro de 2015.** Cria o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica – ProGD.
- [14] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015.** Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.
- [15] Ambiente Energia. **Novo Construcard inclui equipamentos de energia fotovoltaica.** 2017. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/>>. Acesso em: 26 de set. de 2018.
- [16] Banco Nacional de Desenvolvimento – BNDES. **BNDES aprova primeiro financiamento para geração de energia solar, no valor de R\$ 529,039 milhões.** 2017. Disponível em: <www.bndes.gov.br/>. Acesso em: 26 de set. de 2018.
- [17] Bando Nacional do Desenvolvimento – BNDES. **Circular SUP/ADIG nº 03/2018-BNDES, de 15.10.2018.** Dispõe sobre a reabertura, a partir de 17.10.2018, do protocolo, no BNDES, de pedidos de financiamento relativos a operações de investimento no âmbito do Programa BNDES Fundo Clima – Subprograma Máquinas e Equipamentos Eficientes.
- [18] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resultados de leilões.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 17 de out. de 2018.
- [19] Estado do Rio Grande do Sul. **Decreto nº 52.964, de 30 de março de 2016.** Modifica o Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (RICMS).
- [20] Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ. **Convênio ICMS 101/97.** Concede isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica que especifica.
- [21] CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – CONSEMA. **Resolução CONSEMA 372/2018.** Dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental.
- [22] Estado do Rio Grande do Sul. **Le nº 14.898, de 05 de julho de 2016.** Institui a política estadual de incentivo ao aproveitamento da energia solar.
- [23] Estado do Rio Grande do Sul. **Decreto Estadual nº 53160, de 03 de agosto de 2016.** Instituiu o Programa Gaúcho de Energias Renováveis, para entre outras diretrizes, dar celeridade ao andamento de projetos de geração de energia a partir de fontes renováveis.
- [24] Soares, R. S.; Tomaszewski, G. A.; Haag, R. Elaboração de mapas solarimétricos para o Estado do Rio Grande do Sul através do tratamento e interpolação de dados oriundos de estações meteorológicas, em **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**, 2018.
- [25] Tomaszewski, G. A.; Soares, R. S.; Haag, R. Obtenção do índice de claridade atmosférica para diferentes localidades do Estado do Rio Grande do Sul, em **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**, 2018.

- [26] Haag, R.; Soares, R. S.; Tomaszewski, G. A.; Brazil, C.; Gasparin, F. P.; Silva, A. B. Da. **Atlas solar do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UERGS, 2018.
- [27] Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS. **Núcleo de Tecnologia em Energia Solar (NT-Solar)**. 2018. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/ciencias/nt-solar/>>. Acesso em: 01 de out. de 2018.
- [28] Pinho, J. T.; Galdino, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. vol. 1. Rio de Janeiro: CEPTEL – CRESESB, 2014.
- [29] Frontin, S. de O.; Brasil Jr., A. C. P.; Carneiro, M. T. D.; Godoy, D. R. N. **Usina fotovoltaica Jaíba Solar: planejamento e engenharia**. 1ª Brasília: Teixeira Gráfica e Editora, 2017.
- [30] Portal Solar. **O inversor solar**. 2018. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/>>. Acesso em: 12 de out. de 2018.
- [31] International Energy Agency – IEA. **Technology roadmap: solar thermal electricity**. Paris, France: IEA, 2014.
- [32] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR-15569: Sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação**. Rio de Janeiro, 2008.
- [33] Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria nº 395, de 10 de novembro de 2008**. Estabelecer os critérios para o programa de avaliação da conformidade para sistemas e equipamentos de aquecimento solar de água, através do mecanismo da etiquetagem, para utilização da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – Ence, atendendo aos requisitos do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, visando a eficiência energética e adequado nível de segurança.
- [34] Instituto Brasileiro do Cobre – Procobre. **Qualidade em instalações de aquecimento solar: boas práticas**. São Paulo, 2009.

5. METODOLOGIA

- [1] Camargo Schubert Engenheiros Associados; Eletrosul Centrais Elétricas S. A.; AWS Truepower. **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: AGDI, 2014.
- [2] Skamarock, W. C.; Klemp, J. B.; Dudhia, J.; Gill, D. O.; Barker, D.; Duda, M. G.; Huang, X.; Wang, W.; Powers, J. G. **A description of the Advanced Research WRF version 3**. Boulder, CO, EUA: National Center for Atmospheric Research – NCAR, 2008.
- [3] Jimenez, P. A.; Hacker, J. P.; Dudhia, J.; Haupt, S. E.; Ruiz-Arias, J. A.; Gueymard, C. A.; Thompson, G.; Eidhammer, T.; Deng, A. WRF-Solar: description and clear-sky assessment of an augmented NWP model for solar power prediction, **Bulletin of the American Meteorological Society**, vol. 97, nº 7, p. 1249–1264, jul. 2016.
- [4] Dee, D. **ERA-Interim**, ECMWF. 2014. Disponível em: <<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets/reanalysis-datasets/era-interim>>. Acesso em: 01 de out. de 2018.
- [5] Nakanishi, M.; Niino, H. An improved Mellor–Yamada level-3 model: its numerical stability and application to a regional prediction of advection fog, **Boundary-Layer Meteorology**, vol. 119, nº 2, p. 397–407, maio 2006.
- [6] Mlawer, E. J.; Taubman, S. J.; Brown, P. D.; Iacono, M. J.; Clough, S. A. Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave, **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, vol. 102, nº D14, p. 16663–16682, 1997.
- [7] Dudhia, J. Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model, **Journal of the atmospheric sciences**, vol. 46, nº 20, p. 3077–3107, 1989.
- [8] Hong, S.-Y.; Dudhia, J.; Chen, S.-H. A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation, **Monthly Weather Review**, vol. 132, nº 1, p. 103–120, 2004.
- [9] Tewari, M.; Chen, F.; Wang, W.; Dudhia, J.; LeMone, M. A.; Mitchell, K.; Ek, M.; Gayno, G.; Wegiel, J.; Cuenca, R. H. Implementation and verification of the unified NOAA land surface model in the WRF model, in **20th Conference on Weather Analysis and Forecasting/16th Conference on Numerical Weather Prediction**, Boulder, CO, EUA, 2004, p. 11–15.
- [10] Kain, J. S. The Kain–Fritsch convective parameterization: an update, **Journal of applied meteorology**, vol. 43, nº 1, p. 170–181, 2004.
- [11] Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. **Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET**. Brasília: INMET, 2011. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [12] International Organization for Standardization – ISO. **ISO 9001: Quality management systems – Requirements**. 5º ed. 2015.
- [13] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Base cartográfica vetorial contínua 1: 250.000**. 2012. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br>>. Acesso em: 01 de out. de 2018.
- [14] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Malha municipal digital 2016**. 2016. Disponível em: <geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [15] Soares, R. S.; Tomaszewski, G. A.; Haag, R. Elaboração de mapas solarimétricos para o Estado do Rio Grande do Sul através do tratamento e interpolação de dados oriundos de estações meteorológicas, em **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS 2018**, 2018.

- [16] Tomaszewski, G. A.; Soares, R. S.; Haag, R. Obtenção do índice de claridade atmosférica para diferentes localidades do Estado do Rio Grande do Sul, in **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS 2018**, 2018.
- [17] Pereira, E. B.; Martins, F. R.; Abreu, S. L. De; Rüther, R.; Gonçalves, A. R.; Lima, F. J. L. De; Tiepolo, G. M.; Pereira, S. V.; Souza, J. G. De. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2o ed. São José dos Campos: INPE, 2017.
- [18] Gelaro, R.; McCarty, W.; Suárez, M. J.; Todling, R.; Molod, A.; Takacs, L.; Randles, C. A.; Darmenov, A.; Bosilovich, M. G.; Reichle, R. The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2), **Journal of Climate**, vol. 30, nº 14, p. 5419–5454, 2017.
- [19] Pfenninger, S.; Staffell, I. Long-term patterns of European PV output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data, **Energy**, vol. 114, p. 1251–1265, 2016.
- [20] Estado do Rio Grande do Sul. **Pregão eletrônico – serviços gerais não continuados sem dedicação exclusiva de mão de obra: edital de pregão eletrônico nº 0041/2018 – processo administrativo nº 16/1701-0000233-6**. Objeto da presente licitação visa à contratação de prestação de serviços não continuados sem dedicação exclusiva de mão de obra, conforme descrito no Anexo I – FOLHA DE DADOS (CGL 1.1) e de acordo com as condições especificadas no Termo de Referência (Anexo II), que fará parte do contrato como anexo.
- [21] Erbs, D.; Klein, S.; Duffie, J. Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation, **Solar energy**, vol. 28, nº 4, p. 293–302, 1982.
- [22] Perez, R.; Seals, R.; Ineichen, P.; Stewart, R.; Menicucci, D. A new simplified version of the Perez diffuse irradiance model for tilted surfaces, **SPIE milestone series**, vol. 54, p. 182–192, 1993.
- [23] Arno Krenzinger; Daniel de Aguiar. Metodologia para elaboração de mapas de produtividade fotovoltaica no Rio Grande do Sul, em **VI Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS 2016**, Belo Horizonte, 2016.
- [24] Schnitzer, M.; Thuman, C.; Johnson, P. Reducing uncertainty in solar energy estimates: mitigating energy risk through on-site monitoring, **AWS True Power report**, 2012.
- [25] MapBiomias. **Projeto MapBiomias – coleção v.3.0 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**. 2018. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 08 de set. de 2018.
- [26] Consultative Group on International Agricultural Research – CGIAR. **SRTM 90m digital elevation data**. 2017. Disponível em: <srtm.csi.cgiar.org>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [27] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **BIG – Banco de Informações de Geração: capacidade de geração no estado**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 31 de out. de 2018.

6. MAPAS SOLARES

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico**. 2017. Disponível em: <sigel.aneel.gov.br/>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [2] Operador Nacional do Sistema – ONS. **Sistema de Informações Geográficas Cadastrais do Sistema Interligado Nacional – SINDAT**. 2014. Disponível em: <aplicsindat.ons.org.br/sindat>. Acesso em: 17 de ago. de 2018.
- [3] Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **WebMap EPE**. 2017. Disponível em: <gisepe.epe.gov.br>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [4] Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. **Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET**. Brasília: INMET, 2011. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [5] Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul – DAER-RS. **Rodovias**. Disponível em: <www.daer.rs.gov.br>. Acesso em: 30 de out. de 2018.
- [6] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. **Rede rodoviária do Plano Nacional de Viação – divisão em trechos 2014**. maio 2013. Disponível em: <www.dnit.gov.br>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [7] Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMA. **Sistema Estadual de Unidades de Conservação – SEUC**, Portal do Meio Ambiente - RS. 2014. Disponível em: <sema.rs.gov.br>. Acesso em: 18 de ago. de 2018.
- [8] Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Unidades de Conservação – Categorias**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [9] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Base cartográfica vetorial contínua 1: 250.000**. 2012. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 01 de out. de 2018.
- [10] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Malha municipal digital 2016**. 2016. Disponível em: <geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [11] Fundação Nacional do Índio – FUNAI. **Terras Indígenas do Brasil (TI)**. 2015. Disponível em: <http://www.funai.gov.br>. Acesso em: 15 de out. de 2018.
- [12] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. **Mapa do Brasil**. 2015. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br>. Acesso em: 30 de out. de 2018.
- [13] MapBiomias. **Projeto MapBiomias – coleção v.3.0 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**. 2018. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 08 de set. de 2018.
- [14] Camargo Schubert Engenheiros Associados; Eletrosul Centrais Elétricas S. A.; AWS Truepower. **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: AGDI, 2014.
- [15] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Unidades consumidoras com geração distribuída**. Disponível em: <aneel.gov.br>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.

7. ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS

- [1] Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balanco Energético Nacional 2018: ano base 2017**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2018. Disponível em: <<http://ben.epe.gov.br>>. Acesso em: 15 de out. de 2018.
- [2] Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2017: ano base 2016**. Rio de Janeiro, 2017.
- [3] Secretaria de Infraestrutura e Logística do Rio Grande do Sul – SEINFRA-RS. **Balanco energético do Rio Grande do Sul 2013: ano base 2012**. Porto Alegre: Grupo CEEE, 2013. Disponível em: <<http://www.ceee.com.br>>. Acesso em: 20 de out. de 2018. *Dados atualizados via comunicação direta.
- [4] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Relatórios de apoio à decisão**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 30 de ago. de 2018.
- [5] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Unidades consumidoras com geração distribuída**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [6] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução Normativa no 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa no 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.
- [7] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **BIG – Banco de Informações de Geração: capacidade de geração no estado**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 31 de out. de 2018.
- [8] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Malha municipal digital 2016**. 2016. Disponível em: <geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.
- [9] Camargo Schubert Engenheiros Associados; Eletrosul Centrais Elétricas S. A.; AWS Truepower. **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: AGDI, 2014.
- [10] Ruiz-Arias, J. A.; Alsamamra, H.; Tovar-Pescador, J.; Pozo-Vázquez, D. Proposal of a regressive model for the hourly diffuse solar radiation under all sky conditions, **Energy Conversion and Management**, vol. 51, nº 5, p. 881–893, maio 2010.
- [11] Narvarte, L.; Lorenzo, E.; Aandam, M. Lessons from a PV pumping programme in south Morocco, **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, vol. 13, nº 3, p. 261–270, 2005.
- [12] Lorenzo, E. Photovoltaic rural electrification, **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, vol. 5, nº 1, p. 3–27, 1997.
- [13] Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Projetos fotovoltaicos nos leilões de energia**. out. 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 30 de out. de 2018.
- [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações, **Rio de Janeiro**, p. 66, 1988.
- [15] International Electrotechnical Commission. **IEC 61400-1: Wind Turbines. Part 1: Design Requirements**. Genebra, Suíça, 2008.
- [16] Estado do Rio Grande do Sul. **Pregão eletrônico – serviços gerais não continuados sem dedicação exclusiva de mão de obra: edital de pregão eletrônico no 0041/2018 – processo administrativo no 16/1701-0000233-6**. Objeto da presente licitação visa à contratação de prestação de serviços não continuados sem dedicação exclusiva de mão de obra, conforme descrito no Anexo I – FOLHA DE DADOS (CGL 1.1) e de acordo com as condições especificadas no Termo de Referência (Anexo II), que fará parte do contrato como anexo.

APÊNDICE A

- [1] Estado do Rio Grande do Sul. **Pregão eletrônico – serviços gerais não continuados sem dedicação exclusiva de mão de obra: edital de pregão eletrônico nº 0041/2018 – processo administrativo nº 16/1701-0000233-6**. Objeto da presente licitação visa à contratação de prestação de serviços não continuados sem dedicação exclusiva de mão de obra, conforme descrito no Anexo I – FOLHA DE DADOS (CGL 1.1) e de acordo com as condições especificadas no Termo de Referência (Anexo II), que fará parte do contrato como anexo.
- [2] Erbs, D.; Klein, S.; Duffie, J. Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation, **Solar energy**, vol. 28, nº 4, p. 293–302, 1982.
- [3] Perez, R.; Seals, R.; Ineichen, P.; Stewart, R.; Menicucci, D. A new simplified version of the Perez diffuse irradiance model for tilted surfaces, **Solar energy**, vol. 39, nº 3, p. 221–231, 1987.
- [4] Rampinelli, G. A. **Estudo de características elétricas e térmicas de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede**, Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

○ APÊNDICE B

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Glossário**. 2018. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 30 de out. de 2018.
- [2] Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. **Glossário de termos técnicos**. 2009. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 20 de out. de 2018.
- [3] World Energy Council. **Survey of energy resources**. London, 1995.
- [4] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.
- [5] U.S. Department of the Interior – DOI. **Landsat 7**. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov>>. Acesso em: 16 de out. de 2018.
- [6] Ministério das Minas e Energia – MME. **Leilões de energia**. 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/destaques-do-setor-de-energia/leiloes-de-energia>>. Acesso em: 30 de out. de 2018.
- [7] Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. **Licenciamento ambiental**. 2018. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/licencas-servicos/licenciamento-ambiental>>. Acesso em: 30 de out. de 2018.
- [8] Gelaro, R.; McCarty, W.; Suárez, M. J.; Todling, R.; Molod, A.; Takacs, L.; Randles, C. A.; Darmenov, A.; Bosilovich, M. G.; Reichle, R. The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2), **Journal of Climate**, vol. 30, nº 14, p. 5419–5454, 2017.
- [9] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Ambiente de Contratação Livre (ACL)**. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/ambiente-de-contratacao-livre-acl->>. Acesso em: 20 de out. de 2018.
- [10] Holton, J. R. **An introduction to dynamic meteorology**. 4º ed. London: Academic Press, 2004.
- [11] Wallace, J. M.; Hobbs, P. V. **Atmospheric science: an introductory survey**. 2º ed. Burlington, EUA: Elsevier Academic Press, 2006.
- [12] Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília, 2009.
- [13] Scottish Institute for Solar Energy Research – Siser. **Organic Photovoltaics (OPV)**. 2018. Disponível em: <<http://www.siser.ac.uk/research/excitonic/organic-photovoltaics-opv>>. Acesso em: 15 de out. de 2018.
- [14] Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE. **LMA – Laboratório de Modelagem Atmosférica**. 2015. Disponível em: <<http://lma.cptec.inpe.br/niveis/nivel1.php>>. Acesso em: 30 de out. de 2018.
- [15] Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE. **Glossário de termos / Interpretações e relação de acrônimos**. versão 2013.3.0, 2013. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audien-cia/arquivo/2013/095/documento/glossario_de_termos_2013.3.0.pdf>. Acesso em: 20 de out. de 2018.
- [16] Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W.; Chipman, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. 5th ed. New York: John Wiley Sons, 2006.

○ APÊNDICE F

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações, **Rio de Janeiro**, p. 66, 1988.
- [2] International Electrotechnical Commission. **IEC 61400-1: Wind Turbines. Part 1: Design Requirements**. Genebra, Suíça, 2008.
- [3] Camargo Schubert Engenheiros Associados; Eletrosul Centrais Elétricas S. A.; AWS Truepower. **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: AGDI, 2014.
- [4] Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul – DAER-RS. **Rodovias**. Disponível em: <www.daer.rs.gov.br>. Acesso em: 30 de out. de 2018.
- [5] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. **Mapa do Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br>>. Acesso em: 30 de out. de 2018.
- [6] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Base cartográfica vetorial contínua 1: 250.000**. 2012. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br>>. Acesso em: 01 de out. de 2018.
- [7] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Malha municipal digital 2016**. 2016. Disponível em: <geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 de ago. de 2018.

Procedimento Para o Cálculo da Produtividade Fotovoltaica nas Séries INMET [1]

A.1 CÁLCULO DO I_o E DA HORA SOLAR

No processo de análise de dados solares, inicialmente os dados de irradiação coletados em superfície são comparados aos dados de irradiação solar extraterrestre teóricos (I_o) para a mesma hora do dia. No entanto, é necessário previamente calcular a Hora Solar e sobrepor graficamente os valores medidos e calculados, com o objetivo de garantir o perfeito alinhamento dos dados, ou seja, a concordância entre a hora do registro e a hora considerada no cálculo do I_o .

Ângulo diário (Γ): relativo à posição da Terra no plano da eclíptica em um dia específico,

$$\Gamma = 2\pi(d_n - 1) / 365 \quad (A1)$$

em que, d_n é o número do dia do ano no calendário Juliano, variando de 1 (1º de janeiro) até 365 (31 de dezembro).

Excentricidade (E_o): referente à excentricidade da órbita elíptica descrita pelo movimento da Terra ao redor do Sol,

$$E_o = 1,00011 + 0,034221 \cos \Gamma + 0,00128 \operatorname{sen} \Gamma + 0,000719 \cos 2\Gamma + 0,000077 \operatorname{sen} 2\Gamma \quad (A2)$$

Declinação (δ): ângulo formado entre o plano da linha do Equador e a linha que une os centros da Terra e do Sol,

$$\delta = 0,006918 - 0,399912 \cos \Gamma + 0,070257 \operatorname{sen} \Gamma - 0,006758 \cos 2\Gamma + 0,000907 \operatorname{sen} 2\Gamma - 0,00297 \cos 3\Gamma + 0,00148 \operatorname{sen} 3\Gamma \quad (A3)$$

Hora Solar (TSV): ou tempo solar verdadeiro, ângulo horário do centro do Sol em relação ao Equador,

$$TSV = TO + 4(L_{st} - L_{loc}) + E_t \quad (A4)$$

onde TO é a hora oficial de um local, L_{st} a longitude padrão, L_{loc} a longitude local e E_t a equação do tempo.

Equação do Tempo (E_t): diferença entre o tempo solar médio e o verdadeiro, referente à excentricidade da órbita terrestre e aos desvios gerados por perturbações na velocidade angular da Terra,

$$E_t = (0,000075 + 0,001868 \cos \Gamma - 0,032077 \operatorname{sen} \Gamma - 0,014615 \cos 2\Gamma - 0,04089 \operatorname{sen} 2\Gamma)(229,18) \quad (A5)$$

Irradiação Extraterrestre Horária (I_o): densidade horária do fluxo solar radiante sobre uma superfície horizontal, com ausência de atmosfera,

$$I_o = I_{sc} E_o (\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega) \quad (A6)$$

onde I_{sc} é a constante solar (aproximadamente 1367 W/m²), φ a latitude e ω é o ângulo horário.

A.2 CÁLCULO DO ÍNDICE DE LIMPIDEZ

De posse do I_o , em um próximo passo, calcula-se o índice de limpidez horário k_T (*clearness index*), uma medida da transmitividade da atmosfera que alguns autores também chamam de índice de claridade, conforme indicado na equação a seguir:

$$k_T = I/I_o \quad (A7)$$

onde I e I_o representam respectivamente a irradiação solar horária em um plano horizontal (dados da estação meteorológica) e a irradiação solar horária extraterrestre em um plano paralelo (Equação A6).

A.3 CÁLCULO DAS COMPONENTES DIRETA E DIFUSA DA IRRADIAÇÃO HORÁRIA:

A fração horária da irradiação solar difusa (k_D) em uma superfície horizontal é dada pelas correlações de Erbs et al. [2], em função do índice de claridade:

para $0,22 < k_T < 0,8$

$$k_D = 0,9511 - 0,1604 k_T + 4,388 k_T^2 - 16,638 k_T^3 + 12,336 k_T^4 \quad (A8a)$$

para $k_T < 0,22$

$$k_D = 1 - 0,09 k_T \quad (A8b)$$

e para $k_T > 0,8$

$$k_D = 0,165 \quad (A8c)$$

Esta, juntamente com a irradiação solar horária em um plano horizontal, é utilizada para calcular o valor da irradiação difusa horizontal (I_d) para cada hora:

$$I_d = k_D I \quad (A9)$$

Como a irradiação solar horária em um plano horizontal é definida como a soma das irradiações direta (I_b) e difusa (I_d), uma vez que se tenha a fração difusa, a parcela direta pode ser obtida por:

$$I_b = I - I_d \quad (A10)$$

A.4 CÁLCULO DO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA EM CADA HORA

O ângulo de incidência da irradiação solar sobre o plano do módulo fotovoltaico (θ_s), o qual depende do ângulo de inclinação da superfície (β), é dado pela equação:

$$\begin{aligned} \cos \theta_s = & \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (A11)$$

onde γ é o ângulo azimutal que indica a orientação da superfície.

A.5 CÁLCULO DA IRRADIAÇÃO SOLAR INCLINADA PARA CADA HORA

A irradiação total horária sobre o plano inclinado (I_β) pode ser determinada através da soma das componentes de irradiação solar inclinada direta ($I_{b\beta}$), difusa ($I_{d\beta}$) e albedo ($I_{\rho\beta}$), segundo as equações [3]:

$$I_\beta = I_{b\beta} + I_{d\beta} + I_{\rho\beta} \quad (A12)$$

$$I_{b\beta} = \frac{\cos \theta_s}{\cos \theta_z} I (1 - k_D) \quad (A13)$$

$$I_{d\beta} = I_d \left[0,5(1 + \cos \beta)(1 - F_1) + F_1 \left(\frac{\cos \theta_s}{\cos \theta_z} \right) + F_2 \sin \beta \right] \quad (A14)$$

$$I_{\rho\beta} = 0,5\rho(1 - \cos \beta) \quad (A15)$$

onde θ_z é o ângulo solar zênite, ρ é a refletividade do solo ou albedo e F_1 e F_2 são coeficientes que levam em conta o brilho circumsolar e horizontal. Nestas equações, $\cos \theta_z$ pode ser obtido através do ângulo de incidência (Equação A11). Ainda, quando $\beta=0$, considerar $\rho=0,2$.

Os coeficientes F_1 e F_2 são função de três parâmetros que definem as condições do céu, ângulo de zênite, a claridade (ϵ) e o brilho (Δ), obtidos através das equações empíricas:

$$F_1 = F_{11}(\epsilon) + F_{12}(\epsilon)\Delta + F_{13}(\epsilon)\theta_z \quad (A16)$$

$$F_2 = F_{21}(\epsilon) + F_{22}(\epsilon)\Delta + F_{23}(\epsilon)\theta_z \quad (A17)$$

$$\Delta = \frac{I_d ma}{I_{on}} \quad (A18)$$

$$\epsilon = \frac{I_d + I_{bn}}{I_d} \quad (A19)$$

onde ma é a massa de ar, I_{bn} a irradiação direta normal e I_{on} a irradiação extraterrestre normal.

Os coeficientes F_{11} , F_{12} ... são função da claridade, para diferentes faixas de ϵ são recomendados os valores apresentados na Tabela A1.

TABELA A.1 Coeficientes F para determinação da radiação difusa através do modelo de Perez et al. [3].

FAIXA DE ϵ	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{21}	F_{22}	F_{23}
1 a 1,056	-0,042	0,55	-0,044	-0,12	0,138	-0,034
1,0561 a 1,253	0,261	0,559	-0,243	-0,019	0,083	-0,081
1,253 a 1,586	0,481	0,46	-0,354	0,077	0,006	-0,116
1,5861 a 2,134	0,825	0,187	-0,532	0,172	-0,05	-0,151
2,1341 a 3,23	1,102	-0,299	-0,586	0,35	-0,398	-0,171
3,231 a 5,98	1,226	-0,451	-0,617	0,444	-0,949	-0,073
5,981 a 10,08	1,367	-0,838	-0,655	0,431	-1,75	0,094
10,08 a ∞	0,978	-0,812	-0,393	0,335	-2,160	0,106

A.5.1 CÁLCULO DA IRRADIAÇÃO DIÁRIA HORIZONTAL EM MÉDIA MENSAL

Para se obter a irradiação diária horizontal em média mensal, primeiramente deve-se fazer a soma de todos os dados horários de cada dia, totalizando irradiações diárias. Para se obter os valores mensais de cada ano, é necessário totalizar as irradiações mensais horizontais e ainda dividi-las pelo número de dias de cada mês. Posteriormente, estes dados devem ser organizados ao longo dos anos, para, finalmente, se encontrar um valor médio que represente a irradiação diária em média mensal, para cada mês.

A.5.2 CÁLCULO DA IRRADIAÇÃO DIÁRIA INCLINADA (PARA CADA ÂNGULO) EM MÉDIA MENSAL

Para se obter a irradiação diária inclinada em média mensal, primeiramente deve-se somar todos os dados horários de cada dia, totalizando as irradiações diárias. O ângulo azimutal

será fixo em 180° (voltado para o Norte). Para se obter os valores mensais de cada ano, é necessário totalizar as irradiações mensais inclinadas e dividi-las pelo número de dias de cada mês. Posteriormente, estes dados devem ser organizados ao longo dos anos, para, finalmente, ser encontrando um valor médio que represente a irradiação diária em média mensal, para cada mês.

A.6. PRODUTIVIDADE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Para estimar a produção de eletricidade pela conversão da energia solar, foram selecionados alguns componentes com características que podem ser consideradas típicas dos sistemas fotovoltaicos. A partir da análise de um grande número de módulos comerciais, foi escolhido um módulo típico policristalino com parâmetros médios. O mesmo foi feito para a curva de eficiência do inversor, selecionada de um modelo típico para uso em pequenas instalações (5 kW_p). O estudo enfocou instalações urbanas, mas a produtividade não será muito diferente em usinas fotovoltaicas.

Para cada hora dos dias de cada um dos anos contemplados nos bancos de dados horários, deve ser calculada a energia elétrica injetada na rede conforme a equação:

$$E_{INJ} = P_{STD} \left[\frac{I_{b\beta} F_0 + I_{d\beta}}{1000} \right] F_G F_T F_{SIST} \eta_{CC/CA} \eta_{SPMP} \quad (A20)$$

onde:

E_{INJ} é a energia elétrica injetada na rede, na hora considerada, em Wh;

P_{STD} é a potência nominal do arranjo fotovoltaico (nas condições padrão), em Wh;

$I_{b\beta}$ é a irradiação direta sobre superfície inclinada na hora considerada, em Wh/m²;

$I_{d\beta}$ é a irradiação difusa sobre superfície inclinada na hora considerada, incluindo a radiação refletida pelo solo, em Wh/m²;

F_0 é o fator de correção da variação da potência exclusivamente em função do ângulo de incidência da radiação solar direta (Equação A21), também conhecido como Modificador devido ao Ângulo de Incidência (MAI);

F_G é o fator de correção da variação da potência exclusivamente em função do fluxo de radiação solar incidente (Equação A27);

F_T é o fator de correção da variação da potência exclusivamente em função da temperatura da célula (Equação A28);

F_{SIST} é o fator de correção da produção de energia em função das perdas do sistema, que envolvem perdas por descasamento entre as potências dos módulos e perdas nas conexões elétricas e cabeamentos, com valor de referência 0,97;

$\eta_{CC/CA}$ é a eficiência de conversão de corrente contínua a alternada do inversor;

η_{SPMP} é a eficiência do seguimento do ponto de máxima potência do inversor, valor de referência 0,99.

A.6.1 CÁLCULO DO F_{θ}

O fator F_{θ} é função do cosseno do ângulo de incidência da irradiância solar sobre o plano do módulo fotovoltaico ($\cos\theta_s$ Equação A11). Assumindo o coeficiente de absorção da luz solar no vidro (K) igual a 4 m^{-1} e a espessura do vidro (L) igual a 0,0032 m, F_{θ} pode ser obtido por:

$$F_{\theta} = \frac{(1-R) e^{-\frac{0,0128}{\cos\theta_T}}}{0,94447} \quad (\text{A21})$$

onde θ_T é o ângulo de refração da luz solar no módulo, calculado pela Equação A22, e R a refletância (razão entre a irradiação refletida e a irradiação incidente no módulo, Equação A25),

$$\theta_T = \text{ArcSen}\left(\text{sen}\theta_s \frac{n_1}{n_2}\right) \quad (\text{A22})$$

$$r_{par} = \left[\frac{\text{sen}(\theta_T - \theta_s)}{\text{sen}(\theta_T + \theta_s)}\right]^2 \quad (\text{A23})$$

$$r_{nor} = \left[\frac{\text{tan}(\theta_T - \theta_s)}{\text{tan}(\theta_T + \theta_s)}\right]^2 \quad (\text{A24})$$

$$R = \left[\frac{r_{par} + r_{nor}}{2}\right] \quad (\text{A25})$$

onde n_1 é o índice de refração do meio 1 (assume-se ar, igual a 1), n_2 o índice de refração do meio 2 (assume-se vidro, igual a 1,526), r_{nor} é a componente perpendicular da radiação e r_{par} a componente paralela da radiação (ambas em relação ao plano definido pelo raio incidente e a normal da superfície do módulo).

Se $\cos\theta_s=1$, então $\theta_s=0$. Senão $\theta_s = \text{Abs}(\text{Arc Cos}(\cos\theta_s))$

Se $\theta_s=0$, então $R = \left[\frac{(n_1-n_2)}{(n_1+n_2)}\right]^2$ e $F_{\theta}=1$.

A.6.2 CÁLCULO DO F_G

O fator F_G é função do fluxo da radiação solar incidente, a irradiância (G). Para sua determinação em cada hora, utiliza-se a Equação A27, considerando a irradiância efetiva no módulo (G em W/m^2) numericamente igual à irradiação horária (I em Wh/m^2),

$$G = I_{b\beta} F_{\theta} + I_{d\beta} \quad (\text{A26})$$

$$F_G = \frac{\frac{G}{G_{STC}}}{\frac{G}{G_{STC}} + \left(n_0 + n_1 \frac{G}{G_{STC}} + n_2 \left(\frac{G}{G_{STC}}\right)^2\right)} \quad (\text{A27})$$

onde os coeficientes assumem os valores de $n_0 = 9,53 \times 10^{-3}$, $n_1 = -3,8 \times 10^{-2}$ e $n_2 = 2,37 \times 10^{-2}$ e G_{STC} é a irradiância nas condições de teste (assume-se $1000 \text{ W}/\text{m}^2$).

A.6.3 CÁLCULO DO F_T

O fator F_T é função da temperatura da célula fotovoltaica (T_C), pois a produtividade do sistema fotovoltaico diminui com o aumento da sua temperatura. Assumindo $0,45\%/^{\circ}\text{C}$ o coeficiente de variação da potência com a temperatura, F_T pode ser estimado através da equação:

$$F_T = 1 - 0,0045[T_C - 25^{\circ}] \quad (\text{A28})$$

onde T_C é a temperatura da célula, calculada para cada hora em função da temperatura ambiente (T_{amb}) e da irradiância global horizontal (G) pela equação,

$$T_C = T_{amb} + 47 \cdot G \quad (\text{A29})$$

A.6.4 CÁLCULO DO $\eta_{CC/CA}$

A eficiência de conversão de corrente contínua a alternada ($\eta_{CC/CA}$) no inversor pode ser estimada em função do seu carregamento, segundo a equação [4]:

$$\eta_{CC/CA} = \frac{P_R}{P_R + (k_0 + k_1 P_R + k_2 P_R^2)} \quad (\text{A30})$$

onde k_0 , k_1 e k_2 são parâmetros determinados experimentalmente; para o inversor padrão escolhido assume-se $k_0 = 0,0187$, $k_1 = 0,0368$, $k_2 = 0,044$, e P_R é a potência relativa, definida como:

$$P_R = 0,95 \left[\frac{I_{b\beta} F_{\theta} + I_{d\beta}}{1000} \right] F_G F_T \quad (\text{A31})$$

A.6.5 PRODUTIVIDADE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A energia elétrica produzida em um mês pelo sistema fotovoltaico pode ser calculada através da equação:

$$E_R = \sum_{m=1}^{12} \sum_{n=1}^{ndm} \sum_{h=1}^{24} E_{INJ} \quad (\text{A32})$$

onde E_R é a energia produzida, ndm o número de dias do mês, e m , n , e h referem-se a meses, dias e horas.

Ainda, a produtividade final anual Y_F , definida como a energia elétrica anual injetada na rede por unidade de potência nominal do gerador fotovoltaico (P_{STD}), é obtida segundo a equação:

$$Y_F = \frac{\sum_{m=1}^{12} E_R}{P_{STD}} \quad (\text{A33})$$

SAIBA MAIS

- KREZINGER, A.; AGUIAR, D. **Metodologia para elaboração de mapas de produtividade fotovoltaica no Rio Grande do Sul**. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belo Horizonte, 2016.
- SOARES, R. S.; TOMASZEWSKI, G. A.; HAAG, R. **Elaboração de mapas solarimétricos para o estado do Rio Grande do Sul através do tratamento e interpolação de dados oriundos de estações meteorológicas**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, 2018.
- PERAZA; D.G. **Estudo de viabilidade da instalação de usinas solares fotovoltaicas no estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.
- MARTINAZZO, C. A. **Modelos de estimativa de radiação solar para elaboração de mapas solarimétricos**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

Siglas Utilizadas e Glossário

B.1 SIGLAS UTILIZADAS

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
ABENS – Associação Brasileira de Energia Solar
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
AOD – Profundidade Óptica de Aerossóis (*Aerosol Optical Depth*)
APA – Área de Proteção Ambiental
APP – Área de Proteção Permanente
ARIE – Área de Relevante Interesse Ecológico
ARPA-E – *Advanced Research Projects Agency – Energy*
ARW – *Advanced Research WRF*
BIG – Banco de Informações de Geração
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento
CA – Corrente Alternada
CC – Corrente Contínua
CEE-D – Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica
CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica
CERFOX – Cooperativa de Distribuição de Energia Fontoura Xavier
CERVALE – Cooperativa de Eletrificação Rural Vale Jaguari
CBENS – Congresso Brasileiro de Energia Solar
CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CGIAR – *Consultative Group on International Agricultural Research*
CIEMAT – *Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas*
CONFAZ – Conselho Nacional de Política Fazendária
COOPERNORTE – Cooperativa Regional de Energia e Desenvolvimento do Litoral Norte
COOPERSUL – Cooperativa Regional de Eletrificação Rural Fronteira Sul
COSEL – Cooperativa Sudeste de Eletrificação Rural
CP – Cúmulus
CPV – Concentrador Fotovoltaico (*Concentrated PhotoVoltaics*)
CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
C&S – Camargo-Schubert Engenheiros Associados
CSP – Concentrador de Energia Solar (*Concentrating Solar Power*)
DAER-RS – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul
DHI – Irradiância Difusa Horizontal (*Diffuse Horizontal Irradiance*)
DNI – Irradiância Direta Normal (*Direct Normal Irradiance*)
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DOE – *Department of Energy*
DOI – *U. S. Department of the Interior*
ECMWF – *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*
EE – Estação Ecológica

EEE – Estação Ecológica Estadual
EMA – Estações Meteorológicas Automáticas
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
FAA – *Federal Aviation Administration*
FEE – Fundação de Economia e Estatística
FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
FN – Floresta Nacional
FUNAI – Fundação Nacional do Índio
GEOS – *Goddard Earth Observing System Data Model*
GES DISC – *Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center*
GHI – Irradiância Global Horizontal (*Global Horizontal Irradiance*)
GMAO – *Global Modeling and Assimilation Office*
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ideal – Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina
IEA – *International Energy Agency*
IFC – *International Finance Corporation*
INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*
ISO – *International Organization for Standardization*
LandSat – *Land Remote Sensing Satellite*
LER – Leilão de Energia de Reserva
LSM – Superfície do Solo
LW – Radiação Térmica
MERRA – *Modern Era Retrospective-analysis for Research and Applications*
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MME – Ministério de Minas e Energia
MoNA – Monumento Natural
MP – Microfísica
MYNN – Mellor-Yamada Nakanishi Niino
NASA – *National Aeronautics and Space Administration*
NBR – Norma Brasileira
NCAR – *National Center for Atmospheric Research*
NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*
NREL – *National Renewable Energy Laboratory*
NT-Solar – Núcleo de Tecnologia em Energia Solar
NWP – Previsão Numérica do Tempo (*Numerical Weather Prediction*)

NWS – *National Weather Service*
ONS – Operador Nacional do Sistema
OPV – *Organic PhotoVoltaics*
PBL – Camada Limite Planetária
PE – Parque Estadual
PIB – Produto Interno Bruto
PN – Parque Nacional
PNM – Parque Natural Municipal
POA – Irradiância Total no Plano Inclinado (*Plane of Array*)
Procobre – Instituto Brasileiro do Cobre
ProGD – Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
RDS – Reserva de Desenvolvimento Sustentável
REBIO – Reserva Biológica
RESEX – Reserva Extrativista
RF – Reserva de Fauna
RGE – Rio Grande Energia
RMSPE – Raiz do Erro Médio Quadrático Percentual (*Root Mean Square Percentage Error*)
RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural
RRTM – *Rapid Radiative Transfer Model*
RS – Rio Grande do Sul
RVS – Refúgio de Vida Silvestre
SEINFRA-RS – Secretaria de Infraestrutura e Logística do Rio Grande do Sul
SEMA – Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SMERS – Secretaria de Minas e Energia do Rio Grande do Sul
SEUC – Sistema Estadual de Unidades de Conservação
SIN – Sistema Interligado Nacional
SL – Camada Superficial
SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SRREN – *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*
STC – *Standard Test Condition*
SW – Radiação Solar
UC – Unidade de Conservação
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFV – Central Geradora Fotovoltaica
UERGS – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
UPI – Unidades de Proteção Integral
USGS – *United States Geological Survey*
UUS – Unidades de Uso Sustentável
WMO – *World Meteorological Organization*
WRF – *Weather Research and Forecasting*
WSM5 – *WRF Single-moment 5-class*

B.2 SISTEMA DE UNIDADES.

UNIDADES DE MEDIDA UTILIZADAS EM SISTEMAS DE ENERGIA FOTOVOLTAICOS:

Quilowatt: [kW] unidade de potência equivalente a 1000 W;

Quilowatt-hora: [kWh] unidade de energia equivalente a 1000 Wh ou 3600 kJ;

Watt: [W] unidade de potência referente a um joule por segundo [J/s];

Watt-hora: [Wh] unidade que representa a quantidade de energia necessária para alimentar uma carga com potência de 1 Watt durante 1 hora;

Watt-pico: [W_p] unidade de medida utilizada para caracterizar módulos fotovoltaicos, referente à potência [W] gerada quando em condições padrão de teste (*Standard Test Condition* – STC); trata-se da potência máxima que um módulo pode fornecer em condições ideais.

B.3 GLOSSÁRIO

Aerossol – pequenas partículas em estado sólido ou líquido que se encontram dispersas no ar.

Agente de distribuição (ou concessionária de distribuição) – empresa detentora de concessão, permissão ou autorização para distribuir energia elétrica [1].

Albedo – fração entre a radiação refletida pela superfície terrestre e a incidente total. Tipicamente é considerado o valor de 0,2 para a cobertura terrestre.

Anemômetro – instrumento utilizado para medir a velocidade do vento.

Áreas aptas – expressão utilizada na presente publicação referente às áreas consideradas apropriadas para instalação de projetos de aproveitamento solar, delimitadas com base em técnicas de geoprocessamento e mapas de uso e cobertura da terra.

Azimute – ângulo medido no plano horizontal entre o meridiano do lugar do observador e o plano vertical que contém o ponto observado.

Célula solar – dispositivo que converte energia solar em elétrica.

Centro consumidor – concentração de unidades consumidoras de energia elétrica em uma determinada região geográfica; exemplos de centros consumidores são indústrias, cidades e vilas. As informações sobre os centros consumidores são utilizadas para o dimensionamento e planejamento estratégico do sistema elétrico de transmissão e distribuição.

Ciclo de Rankine – ciclo termodinâmico reversível que converte calor em trabalho, compreendendo quatro etapas: pressurização do fluido de trabalho através do bombeamento; aquecimento e mudança de fase para estado gasoso em uma caldeira; expansão do vapor e geração de trabalho em uma turbina; e condensação e retorno ao estado líquido (reinício).

Climatologia – estudo do clima, englobando suas características e influências, em diversas escalas temporais.

Controlador de carga – um dos principais componentes utilizados em sistemas solares fotovoltaicos isolados, nos quais se utiliza de baterias. Além de controlar a carga, o controlador protege as baterias quanto à descarga profunda ou sobrecarga.

Curva de potência – curva teórica ou medida que indica a potência elétrica gerada por determinado modelo de painel fotovoltaico, função da radiação solar incidente sobre o painel e da temperatura.

Datalogger – dispositivo eletrônico para registro digital de dados meteorológicos providos de múltiplos sensores.

Disponibilidade líquida – valor máximo que a usina pode gerar efetivamente, levando em consideração todas as restrições operativas e todas as manutenções previstas para o período [2].

Distribuidora de energia – agente titular de concessão para prestar serviço público de distribuição de energia elétrica [1].

Eclíptica solar – órbita aparente do Sol na esfera celeste, descrevendo o movimento aparente do Sol ao longo do ano.

Energia renovável – termo que designa as fontes energéticas que não se esgotam com sua utilização ao longo do tempo, podendo se regenerar em tempo relativamente curto, tais como: radiação solar, energia geotérmica, marés, biomassa, vento e recursos hídricos [3].

Espectro solar – distribuição total da radiação eletromagnética emitida pelo sol.

Estação meteorológica – local onde encontram-se instalados um conjunto de equipamentos utilizados para medir dados meteorológicos.

Estação solarimétrica – local onde encontram-se instalados um conjunto de equipamentos utilizados para medir dados de radiação solar, principalmente.

Fator de Capacidade – razão entre a produção de energia elétrica efetiva em um período de tempo e a capacidade nominal (potência máxima de projeto) de produção neste mesmo período.

Geração solar centralizada – tipo de geração de energia elétrica caracterizado por aglomerados de sistemas com capacidade instalada de larga escala (na ordem dos MW), geralmente construídos em locais afastados de grandes centros.

Geração distribuída – tipo de geração de energia elétrica caracterizado pela injeção direta da energia produzida na rede de distribuição. Normalmente presente em residências, comércio e indústrias, distribui-se nos grupos de microgeração (potência instalada menor que 75 kW) e minigeração (potência instalada entre 75 kW e 5 MW) [4].

Geração isolada – tipo de geração de energia elétrica caracterizado pela inexistência de conexão a qualquer rede de transmissão ou distribuição, bem como pela presença de sistemas complementares de armazenamento (baterias) para regular a variação de demanda.

Imagens Landsat 7 ETM+ – imagens adquiridas pelo sensor ETM+, que fica a bordo do *Land Remote Sensing Satellite 7* – LandSat 7, disponibilizadas gratuitamente para toda superfície terrestre desde o ano de 2000. O LandSat 7 é um satélite artificial projetado em parceria entre a NASA, a NOAA e o USGS como parte do programa norte-americano de observação da Terra [5].

Inversor – equipamento responsável por converter a energia produzida em Corrente Contínua – CC – pelos módulos fotovoltaicos, para corrente alternada – CA. O inversor também é utilizado para monitorar a geração, detectar anomalias na rede elétrica e efetuar o chaveamento do sistema.

Irradiação – integral da irradiância no tempo $[W/m^2/tempo]$.

Irradiância – medida instantânea da exposição à radiação $[W/m^2]$.

Kriging ou krigagem – método de interpolação espacial de dados. Desenvolvido por Daniel G. Krige da e formalizado por Georges Matheron na década de 1960, também conhecido por “processo de regressão gaussiana”.

Leilões de energia – na presente publicação, expressão referente, especificamente, aos processos licitatórios promovidos pelo governo brasileiro por meio do Ministério das Minas e Energia e regulamentados pela Agência Nacional de Energia Elétrica, com objetivo de reter a geração existente e garantir o suprimento da demanda futura com a atração de investidores para a construção de novas usinas e a contratação de energia elétrica pelo menor preço possível [6].

Licença de Instalação – licença emitida pelo órgão ambiental que autoriza a instalação de um empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes nos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e condicionantes. [7].

Licença de Operação – licença emitida pelo órgão ambiental que autoriza a operação de um empreendimento ou atividade, após verificação do cumprimento das medidas de controle ambiental e as condições determinadas para a operação que constam nas etapas das licenças anteriores. [7].

Licença Prévia – licença emitida pelo órgão ambiental que atesta a viabilidade ambiental de empreendimentos, aprovando sua localização e concepção e estabelecendo condições a serem atendidas para a próxima fase [7].

Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications – base de dados climatológicos de reanálises disponibilizada pelo Escritório Global para Modelagem e Assimilação de Dados da NASA, gerada a partir do sistema atmosférico de assimilação de dados Goddard Earth Observing System Model, version 5 - GEOS-5 [8].

Mercado Livre de Energia, ou Ambiente de Contratação Livre – segmento do mercado de energia elétrica regulamentado pelo governo brasileiro, no qual se realizam operações de compra e venda de energia elétrica diretamente entre consumidores e geradoras ou comercializadoras, através de contratos bilaterais livremente negociados, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos [9].

Meteorologia de mesoescala – ramo da meteorologia que estuda fenômenos atmosféricos de escala intermediária entre a sinótica e a microescala, ou seja, variando de um a centenas de quilômetros, espacialmente, e de algumas a várias unidades de horas, temporalmente. [10] [11].

Meteorologia de microescala – ramo da meteorologia que estuda fenômenos atmosféricos de escala inferior a um quilômetro, espacialmente, e a uma hora, temporalmente [10] [11].

Meteorologia dinâmica – ramo da meteorologia que estuda os movimentos atmosféricos associados ao tempo e ao clima, de forma a considerar a atmosfera como um fluido contínuo [10].

Meteorologia sinótica – ramo da meteorologia que estuda os fenômenos atmosféricos que têm escala de centenas de quilômetros, espacialmente, e escala de dias a meses, temporalmente [10] [11].

Microgeração distribuída – termo definido pela Resolução Normativa nº 482 [4], referente a central geradora com potência instalada menor ou igual a 75 kW, que utilize fontes de energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada e esteja conectada à rede de distribuição através de uma unidade consumidora.

Minigeração distribuída – termo definido pela Resolução Normativa nº 482 [4], referente a central geradora de energia elétrica com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW, que utilize fontes de energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada e esteja conectada à rede de distribuição através de uma unidade consumidora .

Módulo Fotovoltaico – conjunto de várias células solares conectadas em série e/ou paralelo e encapsuladas.

Normais climatológicas – segundo a Organização Meteorológica Mundial, são valores médios de dados climatológicos calculados para um período mínimo de 30 anos consecutivos [12].

Célula Fotovoltaica Orgânica – célula fotovoltaica que utiliza moléculas orgânicas com ligações duplas conjugadas capazes de transportar elétrons [13].

Painel Fotovoltaico – conjunto de módulos fotovoltaicos.

Parametrização – representação de processos físicos que ocorrem em uma escala espacial menor do que a resolução do modelo, por variáveis que podem ser descritas pelo modelo [14].

Permissionária de energia – cooperativa de eletrificação rural responsável pela distribuição de energia elétrica [1].

Piranômetro – instrumento utilizado para medir a irradiância solar.

Potência instalada – em energia fotovoltaica, soma da potência máxima de todos os módulos fotovoltaicos de um sistema, normalmente medido em kW_p .

Radiação – propagação de energia no espaço por meio de partículas ou ondas, sem a necessidade de presença de meio material.

Reanálise – processo de integração de dados provenientes de vários sistemas de observação, com modelos numéricos e outras metodologias, que envolvem a reanálise e o reprocessamento de dados meteorológicos, abrangendo períodos históricos de décadas e utilizando métodos modernos e consistentes. O objetivo das reanálises é produzir conjuntos de dados de referência para estudos meteorológicos e climatológicos.

Rede Básica – instalações de transmissão do Sistema Interligado Nacional, de propriedade de concessionárias de serviço público de transmissão [15].

Rede de distribuição – conjunto de linhas de distribuição que interligam as subestações do Sistema Interligado Nacional aos centros consumidores; é operada e mantida sob responsabilidade das concessionárias locais de energia e inclui linhas de 138 kV e 69 kV.

Sensoriamento remoto – ciência e arte que possibilita a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre (objetos, áreas ou fenômenos) utilizando dispositivos de medição distantes, que registram a interação da radiação eletromagnética com a superfície ou alvo em estudo, normalmente embarcados em plataformas orbitais (satélites) ou em aeronaves [16].

Sistema de aproveitamento solar – conjunto de equipamentos capaz de converter a energia emitida pelo Sol em energia elétrica (p. ex. sistemas fotovoltaico ou heliotérmico) ou em energia térmica (p. ex. sistema para aquecimento solar).

Sistema de distribuição – instalações e equipamentos pertencentes a uma concessionária ou a uma permissionária de distribuição [2].

Sistema de transmissão – instalações e equipamentos de transmissão considerados integrantes da rede básica, bem como as conexões e demais instalações pertencentes a uma concessionária de transmissão [2].

Sistema fotovoltaico – conjunto de equipamentos capaz de converter a energia emitida pelo Sol em energia elétrica.

Sistemas frontais – conjunto de eventos climáticos composto por frente fria, quente e centro de baixa pressão na superfície, originário de um grande gradiente horizontal de temperatura [11].

Sistema Interligado Nacional – instalações interligadas responsáveis pelo suprimento de energia elétrica do país, de características singulares no âmbito mundial, como o grande porte do complexo hidro-termo-eólico (com predominância hidro), a multiplicidade de proprietários das usinas e a subdivisão em subsistemas Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte [2].

Subestação – parte de um sistema de potência que compreende as extremidades de uma linha de transmissão e/ou de distribuição, com os respectivos dispositivos de manobra, controle e proteção e que abrange as obras civis e estruturas de montagem; pode também incluir transformadores, equipamentos conversores e/ou outros equipamentos [2].

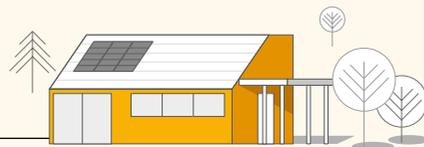
Taxa de disponibilidade – percentual médio do tempo durante o qual uma usina solar fica em operação, ao longo de um determinado período.

Taxa de ocupação – expressão utilizada na presente publicação para o cálculo do potencial solar, referente à relação média entre potência instalável, em MW_p , e área, em km^2 .

Termopilha – conjunto de termopares em série que mede a intensidade de radiação recebida através da diferença de potencial entre seus terminais.

Termossifão – equipamento que induz a circulação da água devido à diferença de densidade entre a água quente e a água fria.

Windvane – instrumento utilizado para medir a direção do vento.



Sistema Fotovoltaico

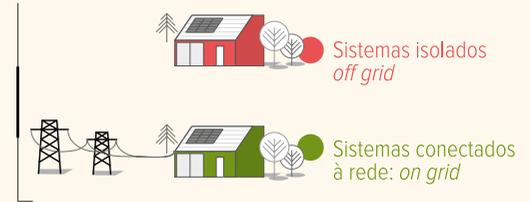
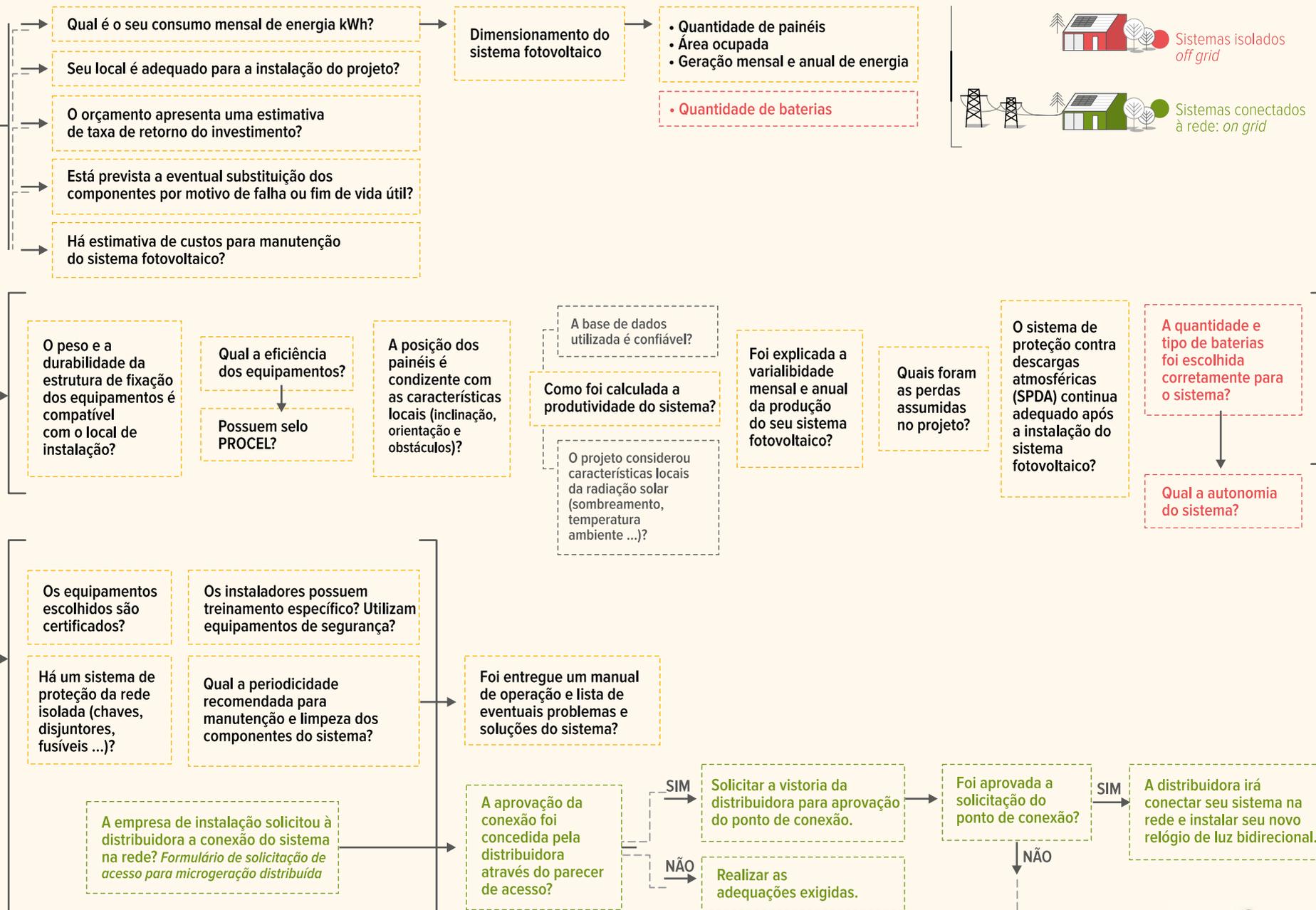
ETAPAS

Contatar uma empresa especializada

1 Orçamento

2 Projeto de instalação

3 Instalação



O QUE VOCÊ PRECISA SABER

HOMOLOGAÇÃO JUNTO À CONCESSIONÁRIA DE ENERGIA — ongrid
Recomenda-se o pedido no início da obra. Para quando o sistema estiver pronto, a conexão com a rede estar liberada.

PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

- Painel solar
- Inversor solar
- Estrutura de fixação dos painéis
- Cabeamentos e conexões

MANUTENÇÃO USUAL

- Limpeza dos painéis solares
- Manutenção do inversor solar
- Manutenção de cabos e conexões elétricas
- Manutenção da bateria

GARANTIAS DO SISTEMA (período mínimo)

- Painel solar: 25 anos
- Inversor solar: 5 anos
- Estrutura de fixação dos painéis: 10 anos
- Cabeamento e conexões: 10 anos
- Bateria: 5 anos

INVERSOR

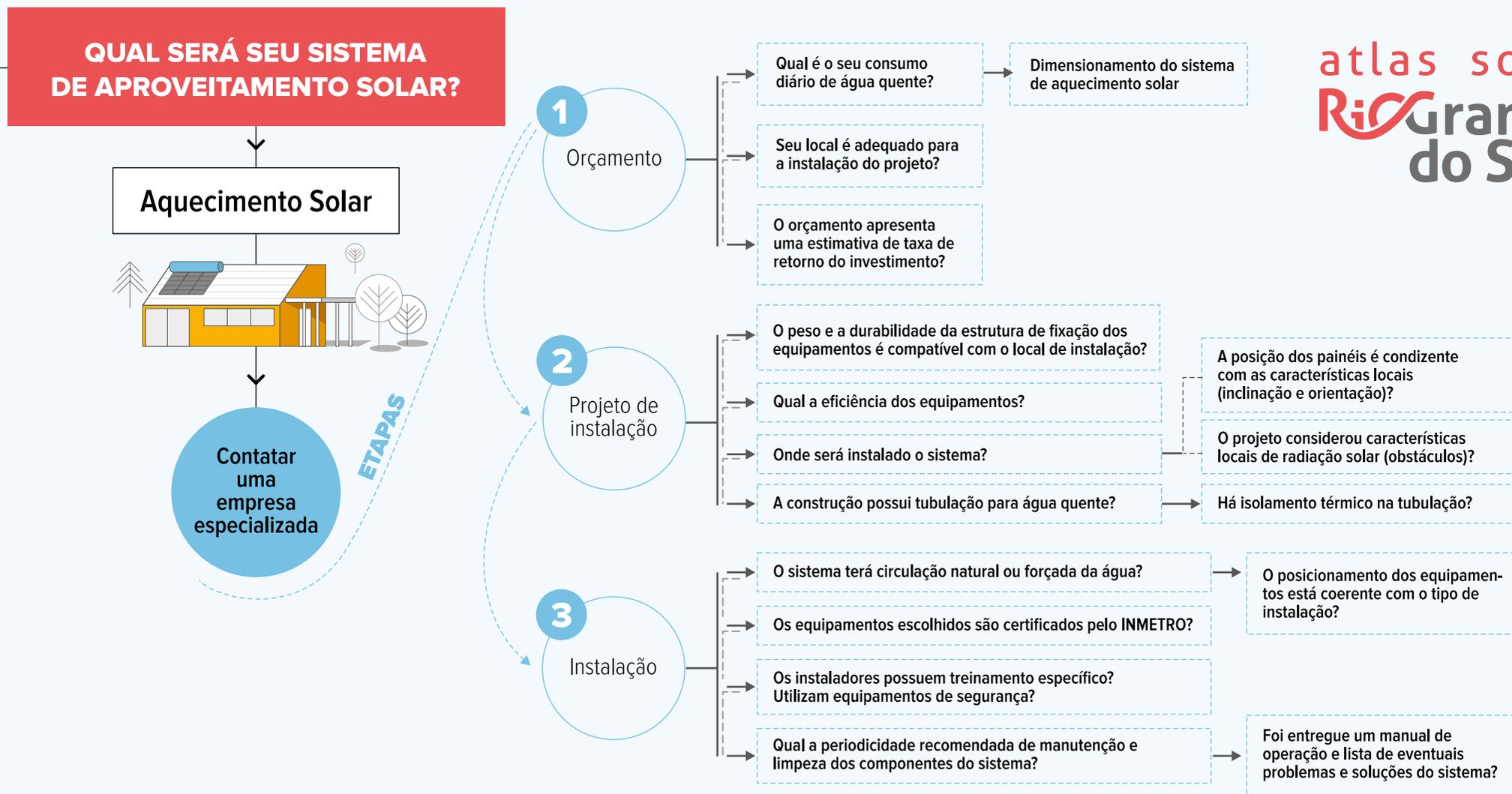
- Qual a eficiência? Recomenda-se > 94%
- Qual o grau de proteção do equipamento contra água e poeira?
- Qual a tecnologia do inversor?

PAINEL SOLAR

- Qual a potência do painel solar?
- Qual a margem de erro da potência do painel solar? *
- Qual a eficiência do painel solar?
- O painel solar é certificado? INMETRO e IEC 61215



Projetos de Aproveitamento Solar



O QUE VOCÊ PRECISA SABER

PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

- Coletor solar
- Reservatório térmico
- Bomba (para sistemas de circulação forçada)
- Caixa de água fria
- Tubulações
- Controle e acessórios

OPÇÕES DE CIRCULAÇÃO DE ÁGUA

- Circulação natural, recomendada até mil litros
- Circulação forçada, recomendada para sistemas maiores

MANUTENÇÃO

- Limpeza da superfície e do interior do coletor solar
- Limpeza do reservatório térmico (com drenagem da água)
- Manutenção dos sensores de temperatura

COLETOR SOLAR

- Qual a capacidade de aquecimento?
- Qual a forma de conexão entre os coletores: em série ou em paralelo?

RESERVATÓRIO TÉRMICO

- Qual a capacidade de armazenamento/volume?
- Apresenta proteção contra retorno?
- Qual a durabilidade?
- Há isolamento?
- Qual o sistema de redundância do aquecimento?
- A pressão de operação do reservatório é compatível com a instalação?

Saiba mais



⚡ ABNT. NBR 15569 : 2008. **Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto — Projeto e instalação.** <http://www.abntcatalogo.com.br>

⚡ INMETRO. Portaria INMETRO N° 229/2018. <http://www.inmetro.gov.br>

⚡ PROCOBRE. **Qualidade em instalações de aquecimento solar.** Boas práticas. 2009. <https://www.procobre.org>



⚡ ANEEL. **Resolução normativa nº 482/2012.** <http://www.aneel.gov.br>

⚡ ANEEL. **Resolução normativa nº 687/2015.** <http://www.aneel.gov.br>

⚡ SRD/ANEEL. **Nota técnica nº 0056/2017.** <http://www.aneel.gov.br>

⚡ CEPEL – CRESESB. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** 2014. <http://www.cresesb.cepel.br>



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

Subestações

Como informação útil para estudos de conexão de usinas ao sistema elétrico gaúcho, as tabelas abaixo apresentam a localização das principais subestações constantes no mapa do sistema elétrico do Capítulo 1.

TABELA D.1

SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO (REDE BÁSICA)				
Sigla	Nome da Subestação	Tensão (kV)	Latitude	Longitude
ALE	Alegrete	138/69	29° 47' 02" S	55° 46' 15" O
ALE2	Alegrete2	230	29° 46' 40" S	55° 43' 32" O
ATL2	Atlântida2	230/69	29° 46' 57" S	50° 03' 16" O
BAG2	Bagé2	230/69/13,8/23,1	31° 17' 21" S	54° 04' 17" O
CAD	Candiota	500/230	31° 34' 19" S	53° 41' 28" O
CAM	Camaquã	230/69/23,1	30° 49' 42" S	51° 08' 55" O
CAM3	Camaquã3	69/230	30° 48' 32" S	51° 48' 31" O
CAX	Caxias	525/230	29° 16' 37" S	51° 12' 03" O
CAX2	Caxias2	230	29° 08' 31" S	51° 09' 26" O
CAX5	Caxias5	230	29° 07' 56" S	51° 11' 30" O
CAX6	Caxias6	230/69	29° 09' 41" S	51° 07' 22" O
CBO	Campo Bom	230	29° 41' 38" S	51° 04' 00" O
CCH	Cerro Chato	230/34,5	30° 48' 52" S	55° 42' 19" O
CHA	Charqueadas	230/69	29° 57' 07" S	51° 37' 21" O
CIAG	CIAG	230	29° 56' 06" S	50° 54' 56" O
CIN	Cidade Industrial	138/230	29° 53' 28" S	51° 0' 48" O
CNA1	Canoas1	230	29° 56' 54" S	51° 11' 27" O
CNA2	Canoas2	230	29° 52' 29" S	51° 08' 39" O
CTT	Castertech	230	29° 08' 47" S	51° 08' 53" O
CUR	Uruguiana (Conversora)	230/132	29° 48' 20" S	57° 00' 18" O
ELD	Eldorado do Sul	230/23,1	30° 00' 51" S	51° 19' 06" O
FAR	Farroupilha	230/69	29° 13' 14" S	51° 19' 28" O
FCO	Foz do Chapecó	230/138	27° 08' 22" S	53° 03' 10" O

FIB	Fibraplac	230	29° 53' 54" S	50° 46' 01" O
GAR	Garibaldi	230	29° 14' 19" S	51° 30' 45" O
GAR1	Garibaldi1	230	29° 14' 19" S	51° 30' 45" O
GRA	Gravataí	525/230	29° 52' 55" S	51° 03' 47" O
GRA2	Gravataí2	230/69/23,1	29° 52' 58" S	51° 03' 48" O
GRA3	Gravataí3	230/69	29° 53' 16" S	50° 57' 46" O
GRT	Guarita	230	27° 36' 45" S	53° 34' 15" O
GUA2	Guaíba2	230/69	30° 07' 49" S	51° 22' 53" O
IJU2	Ijuí2	230/69	28° 21' 49" S	53° 54' 11" O
LAJ2	Lajeado2	230/69	29° 27' 54" S	51° 59' 05" O
LDB	Lagoa dos Barros	230/34,5	29° 57' 41" S	50° 17' 40" O
LGR	Lageado Grande	230/138	28° 59' 26" S	50° 33' 24" O
LIV2	Livramento2	230/69	30° 51' 45" S	55° 32' 35" O
LVE2	Lagoa Vermelha2	230/138	28° 11' 09" S	51° 31' 23" O
MAR2	Marmeleiro2	525	33° 8' 20" S	52° 59' 23" O
MBR	Maçambará	230/69	29° 09' 06" S	56° 03' 59" O
MCL	Monte Claro	230	29° 00' 48" S	51° 32' 09" O
MIS	Missões	230/69	28° 23' 18" S	54° 55' 58" O
NPE2	Nova Petrópolis2	230/69	29° 21' 09" S	51° 00' 20" O
NPR2	Nova Prata2	230	28° 48' 26" S	51° 36' 49" O
NSR	Nova Santa Rita	525/230	29° 49' 24" S	51° 20' 06" O
OSO2	Osório2	230/138/69	29° 53' 43" S	50° 18' 55" O
PAL10	Porto Alegre10	230/69/13,8	30° 02' 49" S	51° 11' 47" O
PAL13	Porto Alegre13	230/13,8	30° 05' 44" S	51° 13' 28" O
PAL4	Porto Alegre4	230/13,8	30° 02' 49" S	51° 13' 42" O
PAL6	Porto Alegre6	230/69/13,8	30° 03' 53" S	51° 08' 33" O
PAL8	Porto Alegre8	230/69/13,8	30° 00' 32" S	51° 08' 31" O

PAL9	Porto Alegre9	230/69/13,8	29° 58' 16" S	51° 11' 48" O
PEL3	Pelotas3	230/138/13,8	31° 43' 34" S	52° 24' 28" O
PFU	Passo Fundo	230/138	27° 29' 03" S	52° 43' 07" O
PNO	Povo Novo	230/525	31° 55' 47" S	52° 20' 27" O
PNT	Pontal	230	30° 16' 45" S	50° 48' 08" O
PPE	Polo Petroquímico	230/69	29° 52' 10" S	51° 23' 20" O
QUI	Quinta	230/138/69/13,8	32° 04' 38" S	52° 16' 05" O
SAG2	Santo Ângelo2	230/69	28° 18' 13" S	54° 17' 08" O
SBO2	São Borja2	230/69	28° 41' 25" S	55° 59' 47" O
SCH	Scharlau	230/138/69	29° 43' 02" S	51° 08' 56" O
SCR1	Santa Cruz1	230/69	29° 45' 02" S	52° 25' 03" O
SMA3	Santa Maria3	230/69	29° 40' 53" S	53° 52' 34" O
SMT	Santa Marta	230/138/69	28° 17' 02" S	52° 25' 47" O
SRO1	Santa Rosa1	230	27° 52' 38" S	54° 27' 28" O
STA	Santo Ângelo	525/230	28° 16' 47" S	54° 19' 34" O
SVI	São Vicente do Sul	230/69	29° 41' 38" S	54° 41' 48" O
SVP2	Santa Vitória do Palmar2	138/525	33° 28' 34" S	53° 18' 00" O
TAQ	Taquara	230/138	29° 39' 19" S	50° 47' 41" O
TPR2	Tapera2	230/69	28° 40' 01" S	52° 51' 52" O
UDFR	Dona Francisca	230	29° 27' 05" S	53° 17' 26" O
UITA	Itaúba	230	29° 15' 39" S	53° 14' 04" O
UPME	Presidente Médici	230/138/69/23,1	31° 33' 08" S	53° 40' 52" O
UPRE	Passo Real	230/138	29° 01' 05" S	53° 11' 27" O
URU5	Uruguiana5	230/69	29° 48' 27" S	57° 00' 15" O
VAI	Venâncio Aires1	230/69	29° 38' 03" S	52° 09' 24" O
VIA3	Viamão 3	230/69	30° 02' 12" S	51° 03' 50" O

TABELA D.2

RGE (DISTRIBUIÇÃO)				
Sigla	Nome da Subestação	Tensão (kV)	Latitude	Longitude
AFA	Alto Feliz	69/13,8	29° 22' 44" S	51° 17' 40" O
APR	Antônio Prado	69/23,1	28° 50' 40" S	51° 16' 41" O
ART	Aratiba	44/13,8	27° 24' 57" S	52° 18' 21" O
BGA	Bento Gonçalves 1	69/13,8	29° 09' 35" S	51° 30' 05" O
BGB	Bento Gonçalves 2	69/13,8	29° 11' 05" S	51° 30' 46" O
CAB	Carlos Barbosa	69/13,8	29° 16' 22" S	51° 29' 42" O
CAS	Casca	138/23,1	28° 34' 11" S	51° 59' 19" O
CBR	Cambará	69/13,8	29° 02' 58" S	50° 08' 20" O
CCB	Cachoeirinha2	69/23,1	29° 55' 57" S	51° 04' 53" O
CLA	Cerro Largo	69/23,1	28° 09' 14" S	54° 43' 09" O
CNL	Canela	69/13,8	29° 21' 40" S	50° 51' 05" O
CNO	Campo Novo	69/23,1	27° 40' 56" S	53° 47' 54" O
CNT	Canastra 2	138/69	29° 23' 35" S	50° 44' 51" O
CXA	Caxias 1	69/13,8	29° 10' 57" S	51° 12' 30" O
CXC	Caxias 3	69/13,8	29° 10' 17" S	51° 09' 43" O
CXD	Caxias 4	69/13,8	29° 06' 58" S	51° 06' 53" O
CXG	Caxias 7	69/13,8	29° 11' 45" S	51° 09' 39" O
ENG	Englert	44/13,8	28° 02' 21" S	52° 16' 08" O
ERB	Erechim2	138/69/13,8	27° 38' 01" S	52° 14' 21" O
ERC	Erechim3	138/138	27° 39' 27" S	52° 18' 48" O
ERN	Usina Ernestina	44/13,8	28° 33' 36" S	52° 32' 55" O
ERS	Entre Rios	138/23,1	27° 29' 04" S	52° 43' 06" O
FAB	Farroupilha 2	69/13,8	29° 12' 08" S	51° 21' 27" O
FAR	Farroupilha RGE	69/13,8	29° 13' 12" S	51° 19' 30" O
FCU	Flores da Cunha	69/13,8	29° 02' 14" S	51° 10' 06" O
FEL	Feliz	69/23,1	29° 27' 00" S	51° 18' 12" O

FWE	Frederico Westphalen	69/23,1	27° 22' 30" S	53° 24' 01" O
GAB	Garibaldi 2	69/13,8	29° 14' 17" S	51° 30' 47" O
GAU	Gaurama	69/23,1/13,8	27° 35' 29" S	52° 06' 39" O
GIR	Girúá	69/23,1	28° 01' 36" S	54° 20' 22" O
GLO	Glorinha	69/23,1	29° 53' 24" S	50° 47' 52" O
GMD	Gramado	69/13,8	29° 24' 05" S	50° 52' 15" O
GPR	Guaporé	138/69/23,1	28° 50' 08" S	51° 53' 43" O
GTA	Gravataí 1	69/23,1	29° 57' 12" S	51° 00' 02" O
GVA	Getúlio Vargas	69/13,8	27° 54' 12" S	52° 14' 20" O
HZT	Horizontina	69/23,1	27° 38' 09" S	54° 19' 04" O
IBB	Ibirubá 2	69/69	28° 38' 26" S	53° 03' 59" O
IBR	Ibirubá	69/23,1/13,8	28° 38' 09" S	53° 05' 30" O
JCA	Júlio de Castilhos 1	138/138	29° 16' 32" S	53° 29' 54" O
JCB	Júlio de Castilhos 2	138/23,1	29° 14' 25" S	53° 39' 11" O
JCT	Jacutinga	44/13,8	27° 44' 17" S	52° 31' 58" O
JQR	Jaquirana	69/23,1/13,8	28° 56' 04" S	50° 18' 13" O
LVA	Lagoa Vermelha 1	138/23,1	28° 12' 57" S	51° 30' 33" O
MAB	Marco Baldó	69/69	27° 34' 28" S	53° 47' 25" O
MRU	Marau	138/23,1	28° 27' 30" S	52° 12' 19" O
NMT	Não-me-Toque	69/13,8	28° 28' 19" S	52° 48' 42" O
NPA	Nova Petrópolis	69/23,1	29° 22' 41" S	51° 07' 05" O
PAM	Palmeira das Missões	69/23,1	27° 53' 05" S	53° 18' 36" O
PEA	Passo Fundo 1	138/13,8	28° 14' 35" S	52° 21' 27" O
PFC	Passo Fundo 3	69/13,8	28° 16' 50" S	52° 25' 49" O
PFI	Paim Filho	69/23,1	27° 43' 00" S	51° 46' 04" O
PIF	Passo do Inferno 2	44/13,8	29° 16' 24" S	50° 45' 07" O
PNT	Planalto	138/23,1	27° 20' 20" S	53° 03' 46" O
PRB	Parobé	138/13,8	29° 38' 12" S	50° 52' 04" O
PRI	Paráí	138/23,1	28° 35' 33" S	51° 47' 17" O
ROL	Rolante	138/13,8	29° 38' 30" S	50° 33' 23" O

ROQ	Roque Gonzales	69/23,1	28° 07' 51" S	55° 03' 29" O
ROT	Rota do Sol	69/13,8	29° 12' 24" S	50° 14' 22" O
SAN	Sananduva	138/23,1	27° 56' 33" S	51° 49' 33" O
SAS	Santo Augusto 2	69/69	27° 56' 38" S	53° 48' 23" O
SAU	Santo Augusto	69/23,1	27° 51' 41" S	53° 47' 13" O
SCI	Santo Cristo	69/23,1	27° 49' 38" S	54° 39' 01" O
SDI	Sarandi	69/23,1	27° 56' 20" S	52° 55' 57" O
SEV	Severiano de Almeida	69/23,1	27° 26' 10" S	52° 07' 50" O
SFE	São Francisco de Paula 5	138/13,8	28° 59' 26" S	50° 33' 33" O
SFP	São Francisco Paula	138/69/13,8	29° 25' 55" S	50° 34' 04" O
SGA	Santo Ângelo 1	69/23,1	28° 17' 49" S	54° 14' 32" O
SLG	São Luis Gonzaga	69/23,1	28° 24' 21" S	54° 56' 38" O
SMC	São Marcos	69/13,8	28° 58' 48" S	51° 03' 41" O
SMM	São Miguel das Missões	69/69	28° 28' 36" S	54° 33' 50" O
SOL	Soledade	69/23,1	28° 48' 52" S	52° 30' 44" O
SQI	Saiquí	44/13,8	29° 19' 29" S	50° 43' 12" O
SRB	Santa Rosa 2	69/23,1	27° 51' 30" S	54° 26' 27" O
TCO	Três Coroas	138/13,8	29° 30' 48" S	50° 46' 17" O
TIN	Tainhas	69/13,8	29° 16' 24" S	50° 19' 05" O
TJB	Tapejara 2	138/13,8	28° 05' 35" S	52° 03' 40" O
TMI	Três de Maio	69/23,1	27° 46' 11" S	54° 15' 08" O
TPA	Três Passos	69/23,1	27° 26' 39" S	53° 56' 03" O
TPR	Tapera 1	69/23,1/13,8	28° 38' 05" S	52° 51' 56" O
TPT	Tenente Portela	69/23,1	27° 22' 13" S	53° 46' 26" O
TUP	Tupanciretã	69/23,1	29° 05' 09" S	53° 49' 19" O
UIV	Usina de Ivaí	44/13,8	29° 07' 28" S	53° 21' 21" O
VAC	Vacaria	138/23,1	28° 29' 14" S	50° 54' 49" O
VEP	Veranópolis	69/23,1	28° 54' 28" S	51° 32' 46" O

TABELA D.3

RGE SUL (DISTRIBUIÇÃO)				
Sigla	Nome da Subestação	Tensão (kV)	Latitude	Longitude
AGA	Agudo	69/23,1/13,8	29° 38' 57" S	53° 15' 29" O
ALC	Alegrete3	69/23,1	29° 22' 59" S	56° 02' 11" O
ALD	Alegrete4	69/23,1/13,8	29° 48' 23" S	55° 50' 37" O
ALE	Alegrete5	69/23,1	29° 27' 45" S	56° 25' 51" O
AMA	Arroio do Meio	69/13,8	29°23'14.52"S	51°56'23.75"O
BPR	Bom Princípio	138/23,1	29°29'51.70"S	51°21'23.89"O
CVA	Caçapava do Sul	69/23,1/13,8	30° 31' 14" S	53° 28' 55" O
CQA	Cacequi	69/23,1	29° 52' 20" S	54° 49' 29" O
CSA	Cachoeira do Sul	69/23,1/13,8	30° 00' 16" S	52° 54' 26" O
CDA	Candelária	69/23,1/13,8	29° 40' 58" S	52° 46' 34" O
CNC	Canoas3	138/23,1	29° 54' 08" S	51° 08' 56" O
NHC	Novo Hamburgo 3	69/23,1	29° 40' 42" S	51° 05' 16" O
SDA	Sobradinho	69/23,1	29° 25' 57" S	53° 01' 46" O
DIA	Dois Irmãos	138/23,1	29° 35' 23" S	51° 06' 25" O
ENA	Encantado	69/23,1	29° 13' 36" S	51° 53' 22" O
EVA	Estância Velha	138/23,1	29° 39' 05" S	51° 09' 08" O
ESA	Esteio	69/23,1	29° 50' 29" S	51° 10' 40" O
ETB	Estrela2	69/23,1/13,8	29° 28' 59" S	51° 57' 41" O
FXA	Faxinal do Soturno	69/23,1/13,8	29° 35' 28" S	53° 25' 52" O

FOA	Formigueiro	138/69/13,8	30° 05' 16" S	53° 38' 29" O
QUB	Quaraí 2	69/23,1	30° 03' 52" S	56° 09' 04" O
IQA	Itaqui	69/23,1	29° 07' 46" S	56° 32' 40" O
JRA	Jaguari	69/23,1	29° 29' 37" S	54° 42' 02" O
LJA	Lajeado1	69/13,8	29° 26' 23" S	51° 57' 32" O
LIA	Livramento1	69/23,1/13,8	30° 52' 16" S	55° 29' 59" O
MNA	Manoel Viana	69/23,1	29° 24' 27" S	55° 41' 03" O
MTA	Montenegro	138/23,1	29° 40' 07" S	51° 27' 38" O
NHA	Novo Hamburgo	69/23,1	29° 39' 44" S	51° 07' 40" O
NHB	Novo Hamburgo2	138/23,1	29° 42' 37" S	51° 06' 41" O
POA	Portão	138/23,1	29°42'33.39"S	51°14'53.86"O
MTB	Montenegro 2	69/13,8	29° 49' 57" S	51° 24' 47" O
QUA	Quaraí	69/23,1	30° 23' 07" S	56° 26' 29" O
RPA	Rio Pardo	69/23,1/13,8	29° 57' 49" S	52° 21' 51" O
RSA	Roca Sales	69/23,1	29° 17' 55" S	51° 52' 53" O
ROA	Rosário	69/23,1	30° 14' 31" S	54° 55' 20" O
SCB	Santa Cruz2	69/13,8	29° 42' 06" S	52° 26' 42" O
SCD	Santa Cruz 3	69/13,8	29°44'6.88"S	52°26'55.17"O
SMB	Santa Maria2	69/13,8	29° 42' 39" S	53° 44' 34" O
SMD	Santa Maria4	69/13,8	29° 42' 13" S	53° 50' 41" O
SME	Santa Maria5	69/13,8	29° 42' 46" S	53° 48' 27" O
SNA	Santiago	69/23,1	29° 12' 17" S	54° 51' 57" O
SSC	São Sebastião do Cai	138/23,1	29° 34' 32" S	51° 21' 38" O

SBB	São Borja1	69/23,1	28° 39' 58" S	56° 01' 03" O
SBC	São Borja3	69/23,1	28° 48' 23" S	55° 33' 55" O
SFA	São Francisco	69/23,1	29° 33' 29" S	55° 07' 56" O
SGB	São Gabriel	69/23,1	30° 20' 14" S	54° 20' 01" O
SLA	São Leopoldo	138/23,1	29° 45' 42" S	51° 06' 50" O
SPA	São Pedro	69/23,1	29° 36' 08" S	54° 10' 13" O
SSP	São Sepé	69/13,8	30° 10' 03" S	53° 35' 27" O
SIA	Sapiranga	69/23,1	29° 39' 03" S	51° 00' 28" O
SUA	Sapucaia	138/23,1	29° 48' 42" S	51° 07' 58" O
SBA	Simimbu	69/13,8	29° 32' 06" S	52° 30' 57" O
TQA	Taquari	69/13,8	29° 48' 19" S	51° 51' 06" O
TFA	Triunfo	69/13,8	29° 56' 23" S	51° 42' 41" O
IQB	Itaqui 2	69/23,1	29° 09' 41" S	56° 22' 07" O
URA	Uruguaiiana1	69/23,1/13,8	29° 46' 53" S	57° 03' 32" O
URB	Uruguaiiana2	69/23,1	29° 54' 05" S	56° 43' 30" O
URC	Uruguaiiana3	69/23,1	30° 06' 16" S	57° 19' 39" O
URD	Uruguaiiana4	69/23,1	29° 32' 47" S	56° 44' 09" O
URE	Uruguaiiana7	69/23,1	29° 45' 39" S	57° 03' 28" O
VSA	Vale do Sol	69/23,1/13,8	29° 41' 33" S	52° 39' 09" O
VNB	Venâncio Aires2	69/13,8	29° 37' 35" S	52° 11' 50" O
SLB	Zoológico	138/23,1	29° 47' 07" S	51° 09' 49" O

TABELA D.4

CEEE (DISTRIBUIÇÃO)				
Sigla	Nome da Subestação	Tensão (kV)	Latitude	Longitude
ACL	Águas Claras	69/23,1	30° 09' 54.7" S	50° 52' 33.0" O
ALE2	Alegrete2	230	29° 46' 40" S	55° 43' 32" O
ALV	Alvorada	69/23,1	30° 00' 35" S	51° 02' 03" O
ARE	Areal	69/23,1	30° 06' 46" S	51° 50' 03" O
ASA	Arroio do Sal	69/13,8	29° 32' 42" S	49° 53' 33" O
AGR	Arroio Grande	138/23,1	32° 13' 53" S	53° 05' 28" O
ATL	Atlântida	69/13,8	29° 46' 13" S	50° 01' 28" O
ATS	Atlântida Sul	69/13,8	29° 52' 14" S	50° 05' 20" O
BAG1	Bagé1	69/13,8	31° 19' 57" S	54° 03' 55" O
BAG2	Bagé2	230/69/23,1/13,8	31° 17' 21" S	54° 04' 17" O
BAS	Basílio	138	31° 52' 36" S	53° 01' 31" O
UBUG	Bugres	69	29° 20' 36" S	50° 41' 45" O
CAC1	Cachoeirinha1	138/69	29° 54' 36" S	51° 05' 18" O
CAM	Camaquã	230/69/23,1	30° 49' 42" S	51° 48' 55" O
CAM2	Camaquã2	69/23,1	30° 50' 31" S	51° 45' 07" O
CBO	Campo Bom	230	29° 41' 38" S	51° 04' 00" O
UCAN	Canastra	138/69	29° 23' 37" S	50° 44' 43" O
CGU	Canguçu	69/23,1	31° 23' 05" S	52° 42' 29" O
CNA1	Canoas1	230	29° 56' 54" S	51° 11' 27" O
CNA2	Canoas2	230	29° 52' 29" S	51° 08' 39" O
CPN	Capão Novo	69/13,8	29° 40' 41" S	49° 59' 24" O
CPV	Capivarita	69/23,1	30° 19' 54" S	52° 19' 53" O
CSN	Cassino	69/13,8	32° 10' 11" S	52° 10' 29" O
CTT	Castertech	230	29° 08' 47" S	51° 08' 53" O
CAX2	Caxias2	230	29° 08' 31" S	51° 09' 26" O
CAX5	Caxias5	230	29° 07' 56" S	51° 11' 30" O
CHA2	Charqueadas2	69/13,8	29° 57' 25" S	51° 36' 36" O
CIAG	CIAG	230	29° 56' 06" S	50° 54' 56" O
CIN	Cidade Industrial	230/138	29° 53' 28" S	51° 10' 48" O
CAL	Cruz Alta	138/69	28° 36' 44" S	53° 36' 56" O
CAL1	Cruz Alta1	138/69	28° 36' 44" S	53° 36' 56" O
DFE	Dom Feliciano	69/23,1	30° 41' 56.8" S	52° 4' 23.13" O
DPE	Dom Pedrito	69	30° 59' 34" S	54° 40' 32" O
UDFR	Dona Francisca	230	29° 27' 05" S	53° 17' 26" O
ELD	Eldorado do Sul	230/23,1	30° 00' 51" S	51° 19' 06" O
ECZ	Encruzilhada do Sul	69/23,1	30° 32' 09" S	52° 31' 01" O
ERE1	Erexim1	138	27° 39' 24" S	52° 18' 49" O
UERN	Ernestina	44	28° 33' 34" S	52° 32' 55" O
ERG	Estaleiro Rio Grande	69	32° 05' 32" S	52° 06' 27" O

FAR	Farrroupilha	230/69	29° 13' 10" S	51° 19' 28" O
FIB	Fibraplac	230	29° 53' 54" S	50° 46' 01" O
GAR	Garibaldi	230	29° 14' 19" S	51° 30' 45" O
GAR1	Garibaldi1	230	29° 14' 19" S	51° 30' 45" O
GKN2	GKN	69	29° 57' 17" S	51° 36' 26" O
GRA2	Gravatai2	230/69/23,1	29° 52' 58" S	51° 03' 48" O
GUA1	Guaíba1	69/23,1	30° 07' 55" S	51° 19' 46" O
GUA2	Guaíba2	230/69	30° 07' 49" S	51° 22' 53" O
GRT	Guarita	230	27° 36' 45" S	53° 34' 15" O
IJU1	Ijuí	69	28° 24' 28" S	53° 55' 32" O
IRA	Irapuazinho	23,1/13,8	30° 32' 16" S	53° 00' 50" O
UITA	Itaíba	230	29° 15' 39" S	53° 14' 04" O
UJAC	Jacuí	138	29° 04' 52" S	53° 13' 36" O
JGR	Jaguaraão	138/23,1	32° 33' 15" S	53° 22' 17" O
LVE2	Lagoa Vermelha2	230/138	28° 11' 09" S	51° 31' 23" O
LAJ2	Lajeado2	230/69	29° 27' 54" S	51° 59' 05" O
LIV2	Livramento2	230/69	30° 51' 45" S	55° 32' 35" O
MBR	Maçambará	230/69	29° 09' 06" S	56° 03' 59" O
MML	Marmeleiro	138/23,1	33° 08' 48" S	52° 59' 07" O
MDE	Menino Deus	69/13,8	30° 04' 22" S	51° 14' 28" O
MDE	Menino Deus	69/13,8	30° 4' 23" S	51° 14' 29" O
CRM1	Minas do Leão	69/23,1	30° 05' 25" S	52° 04' 34" O
MIS	Missões	230	28° 23' 18" S	54° 55' 58" O
MRE	Morro Redondo	69/23,1	31° 32' 51.45" S	52° 34' 57.70" O
MOS	Mostardas	138/23,1	30° 46' 58" S	50° 38' 33" O
NPR2	Nova Prata2	230	28° 48' 26" S	51° 36' 49" O
OJA	OJA	69	29° 56' 49" S	51° 34' 26" O
OSO1	Osório1	69/23,1	29° 52' 57" S	50° 15' 52" O
OSO2	Osório2	230/138/69	29° 53' 43" S	50° 18' 55" O
PMR	Palmares do Sul	138/23,1	30° 14' 36" S	50° 29' 02" O
PAN	Panambi	69	28° 17' 24" S	53° 30' 42" O
UPRE	Passo Real	230/138	29° 01' 05" S	53° 11' 27" O
POS	Pedro Osório	138/23,1	31° 55' 55" S	52° 44' 27" O
PEL5	Pelotas 5	138/13,8	31° 42' 36.68" S	52° 34' 32.16" O
PEL1	Pelotas1	138/13,8	31° 45' 24" S	52° 18' 10" O
PEL2	Pelotas2	138/13,8	31° 45' 28" S	52° 20' 53" O
PEL3	Pelotas3	230/138/13,8	31° 43' 34" S	52° 24' 28" O
PEL4	Pelotas4	138/69/13,8	31° 39' 26" S	52° 21' 15" O
PIN	Pinhal	69/13,8	30° 14' 25" S	50° 14' 47" O
PPE	Polo Petroquímico	230/69	29° 52' 10" S	51° 23' 20" O
PAL7	Porto Alegre 7	69/13,8	30° 1' 11" S	51° 12' 53" O
PAL1	Porto Alegre1	69/13,8	30° 00' 60" S	51° 10' 16" O
PAL10	Porto Alegre10	230/69/13,8	30° 02' 49" S	51° 11' 47" O

PAL12	Porto Alegre12	69/13,8	30° 02' 32" S	51° 10' 22" O
PAL13	Porto Alegre13	230/13,8	30° 05' 44" S	51° 13' 28" O
PAL14	Porto Alegre14	69/13,8	30° 09' 52" S	51° 09' 18" O
PAL16	Porto Alegre16	69/13,8	30° 01' 07" S	51° 06' 12" O
PAL2	Porto Alegre2	69/13,8	30° 00' 25" S	51° 11' 53" O
PAL3	Porto Alegre3	69/13,8	30° 03' 29" S	51° 12' 29" O
PAL4	Porto Alegre4	230/13,8	30° 02' 49" S	51° 13' 42" O
PAL5	Porto Alegre5	69/13,8	30° 02' 01" S	51° 11' 42" O
PAL6	Porto Alegre6	230/69/13,8	30° 03' 53" S	51° 08' 33" O
PAL7	Porto Alegre7	69/13,8	30° 01' 11" S	51° 12' 53" O
PAL8	Porto Alegre8	230/69/13,8	30° 00' 32" S	51° 08' 31" O
PAL9	Porto Alegre9	230/69/13,8	29° 58' 16" S	51° 11' 48" O
UPME	Presidente Médici	230/138/69/23,1	31° 33' 08" S	53° 40' 52" O
QUI	Quinta	230/138/69/13,8	32° 04' 38" S	52° 16' 05" O
RIN	Rincão	69/13,8	30° 6' 49.57" S	51° 10' 1.01" O
RGR1	Rio Grande1	69/13,8	32° 02' 37" S	52° 07' 28" O
RGR2	Rio Grande2	69/13,8	32° 02' 32" S	52° 05' 16" O
RGR3	Rio Grande3	69/13,8/23,1	32° 06' 59" S	52° 06' 47" O
SCR1	Santa Cruz1	230/69	29° 45' 02" S	52° 25' 03" O
SMA1	Santa Maria1	138/69	29° 39' 37" S	53° 47' 31" O
SMA3	Santa Maria3	230/69	29° 40' 53" S	53° 52' 34" O
SMT	Santa Marta	230/138/69	28° 17' 02" S	52° 25' 47" O
SRO1	Santa Rosa1	230	27° 52' 38" S	54° 27' 28" O
SVP	Santa Vitória do Palmar	138/23,1	33° 32' 17" S	53° 22' 11" O
SAG2	Santo Ângelo2	69/230	28° 18' 13" S	54° 17' 08" O
SAO	Santo Antônio da Patrulha	138/23,1	29° 49' 11" S	50° 29' 54" O
SBO2	São Borja2	230/69	28° 41' 25" S	55° 59' 47" O
SJE	São Jerônimo	69/13,8	29° 58' 05" S	51° 44' 04" O
SLO	São Lourenço do Sul	69/23,1	31° 19' 13" S	52° 01' 24" O
SVI	São Vicente do Sul	230/69	29° 41' 38" S	54° 41' 48" O
SCH	Scharlau	230/138/69	29° 43' 02" S	51° 08' 56" O
TAI	Taim	69/23,1	32° 19' 21" S	52° 32' 11" O
TAQ	Taquara	230/138	29° 39' 19" S	50° 47' 41" O
TAR	Terra de Areia	69/23,1</		

Produtividade Fotovoltaica por Município

Este apêndice contém a tabela com a produtividade fotovoltaica calculada por município a partir do mapa de áreas aptas urbanas e não urbanas (Mapa 6.20). Ressalte-se que os municípios com área inferior a 0,01 km² de área apta podem ter seu potencial fotovoltaico reavaliado, uma vez que os mapas de

uso e cobertura do solo podem não representar pequenas áreas aptas, devido a limitações na resolução espacial.

Na versão digital do Atlas estão disponíveis as tabelas e arquivos de dados geoespaciais com valores mensais, sazonais e

anuais de todos os mapas apresentados no Capítulo 6, com resolução espacial de 3 km x 3 km, bem como os dados climáticos do INMET de temperatura média, máxima e mínima. Os arquivos com dados geoespaciais podem ser visualizados e manipulados por qualquer Sistema de Informação Geográfica.

Nome do Município	ÁREA APTA URBANA								ÁREA APTA NÃO URBANA						
	Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Integração para a área apta urbana do Estado com taxa de ocupação de 2 MW _p /km ² *					Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Área Total Disponível para Integração [km ²]	Integração para 1% da área apta não urbana do Estado com taxa de ocupação de 20 MW _p /km ² *				
			Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Número de Módulos de 330 W _p	Número Equivalente de Unidades Residenciais de 5,68 kW _p **				Número Equivalente de Unidades Comerciais de 29,56 kW _p **	Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável em Número Equivalente de Módulos de 330 W _p
Aceguá	4,839	4,105	0,31	0,6	0,9	1.898	110	21	4,808	4,079	790,31	7,90	158,1	235,1	478.975
Água Santa	4,679	3,946	0,72	1,4	2,1	4.385	255	49	4,680	3,949	1,82	0,02	0,4	0,5	1.100
Agudo	4,537	3,816	2,21	4,4	6,2	13.375	777	149	4,502	3,784	7,00	0,07	1,4	1,9	4.243
Ajuricaba	4,665	3,900	1,20	2,4	3,4	7.287	423	81	4,648	3,889	0,64	0,01	0,1	0,2	386
Alecrim	4,814	3,982	0,39	0,8	1,1	2.351	137	26	4,807	3,976	10,96	0,11	2,2	3,2	6.641
Alegrete	4,888	4,086	11,29	22,6	33,7	68.438	3.976	764	4,895	4,094	3.732,17	37,32	746,4	1.116,2	2.261.919
Alegria	4,705	3,906	0,28	0,6	0,8	1.696	99	19	4,709	3,909	0,51	0,01	0,1	0,1	308
Almirante Tamandaré do Sul	4,614	3,895	0,49	1,0	1,4	2.945	171	33	4,631	3,907	0,55	0,01	0,1	0,2	335
Alpestre	4,704	3,933	0,91	1,8	2,6	5.493	319	61	4,714	3,936	0,12	0,001	0,024	0,034	74
Alto Alegre	4,635	3,916	0,35	0,7	1,0	2.100	122	23	4,628	3,911	0,22	0,002	0,044	0,064	135
Alto Feliz	4,185	3,611	0,33	0,7	0,9	1.975	115	22	4,215	3,621	0,14	0,001	0,028	0,037	85
Alvorada	4,277	3,575	24,51	49,0	64,0	148.571	8.632	1.659	4,265	3,577	13,92	0,14	2,8	3,6	8.436
Amaral Ferrador	4,246	3,601	0,48	1,0	1,3	2.885	168	32	4,244	3,604	126,61	1,27	25,3	33,3	76.734
Ametista do Sul	4,694	3,920	1,09	2,2	3,1	6.578	382	73	4,687	3,915	0,07	0,001	0,014	0,020	43
André da Rocha	4,534	3,850	0,26	0,5	0,7	1.598	93	18	4,554	3,866	41,97	0,42	8,4	11,9	25.437
Anta Gorda	4,521	3,838	1,07	2,1	3,0	6.507	378	73	4,515	3,834	1,25	0,01	0,3	0,4	759
Antônio Prado	4,465	3,809	2,76	5,5	7,7	16.729	972	187	4,422	3,773	4,94	0,05	1,0	1,4	2.995
Arambaré	4,329	3,650	1,85	3,7	4,9	11.242	653	126	4,311	3,641	58,44	0,58	11,7	15,5	35.419
Araricá	4,339	3,676	1,46	2,9	3,9	8.875	516	99	4,354	3,682	6,62	0,07	1,3	1,8	4.011
Aratiba	4,810	4,046	1,22	2,4	3,6	7.418	431	83	4,797	4,035	2,64	0,03	0,5	0,8	1.601
Arroio do Meio	4,381	3,714	4,93	9,9	13,4	29.907	1.738	334	4,370	3,712	1,02	0,01	0,2	0,3	615
Arroio do Padre	-	-	-	-	-	-	-	-	4,306	3,692	32,83	0,33	6,6	8,9	19.898
Arroio do Sal	4,353	3,724	15,76	31,5	42,9	95.520	5.550	1.066	4,380	3,739	44,22	0,44	8,8	12,1	26.798
Arroio do Tigre	4,643	3,902	1,82	3,6	5,2	11.002	639	123	4,659	3,917	1,01	0,01	0,2	0,3	615
Arroio dos Ratos	4,336	3,617	2,64	5,3	7,0	15.987	929	178	4,349	3,632	83,83	0,84	16,8	22,2	50.808
Arroio Grande	4,433	3,780	3,35	6,7	9,3	20.307	1.180	227	4,429	3,780	523,99	5,24	104,8	144,7	317.570
Arvorezinha	4,565	3,873	2,41	4,8	6,8	14.607	849	163	4,574	3,883	5,61	0,06	1,1	1,6	3.400
Augusto Pestana	4,753	3,966	1,51	3,0	4,4	9.158	532	102	4,740	3,958	1,33	0,01	0,3	0,4	803
Áurea	4,749	4,012	0,86	1,7	2,5	5.220	303	58	4,755	4,017	5,67	0,06	1,1	1,7	3.435
Bagé	4,865	4,131	23,55	47,1	71,1	142.718	8.292	1.593	4,831	4,100	2.251,60	22,52	450,3	674,2	1.364.608
Balneário Pinhal	4,532	3,812	1,82	3,6	5,1	11.002	639	123	4,491	3,781	14,57	0,15	2,9	4,0	8.829
Barão	4,284	3,654	0,75	1,5	2,0	4.549	264	51	4,283	3,655	0,12	0,001	0,023	0,031	71
Barão de Cotegipe	4,763	4,020	1,81	3,6	5,3	10.953	636	122	4,755	4,014	1,69	0,02	0,3	0,5	1.024
Barão do Triunfo	4,264	3,595	0,18	0,4	0,5	1.096	64	12	4,291	3,615	87,24	0,87	17,4	23,0	52.870
Barra do Guarita	4,644	3,861	0,40	0,8	1,1	2.422	141	27	4,657	3,870	0,03	0,0003	0,0050	0,0071	15

Nome do Município	ÁREA APTA URBANA									ÁREA APTA NÃO URBANA					
	Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Integração para a área apta urbana do Estado com taxa de ocupação de 2 MW _p /km ² *						Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Área Total Disponível para Integração [km ²]	Integração para 1% da área apta não urbana do Estado com taxa de ocupação de 20 MW _p /km ² *			
			Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável Equivalente						Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável Equivalente em Número de Módulos de 330 W _p
						Número de Módulos de 330 W _p	Número Equivalente de Unidades Residenciais de 5,68 kW _p **	Número Equivalente de Unidades Comerciais de 29,56 kW _p **							
Barra do Quaraí	4,892	4,096	0,17	0,3	0,5	1.004	58	11	4,905	4,105	272,31	2,72	54,5	81,7	165,035
Barra do Ribeiro	4,217	3,520	2,07	4,1	5,3	12.545	729	140	4,238	3,541	115,04	1,15	23,0	29,8	69,718
Barra do Rio Azul	4,751	4,007	0,13	0,3	0,4	769	45	9	4,772	4,021	0,61	0,01	0,1	0,2	370
Barra Funda	4,666	3,924	0,76	1,5	2,2	4.582	266	51	4,671	3,929	0,06	0,001	0,012	0,018	38
Barracão	4,715	3,992	1,46	2,9	4,3	8.864	515	99	4,715	3,989	23,37	0,23	4,7	6,8	14,161
Barros Cassal	4,592	3,887	0,94	1,9	2,7	5.716	332	64	4,607	3,899	36,29	0,36	7,3	10,3	21,994
Benjamin Constant do Sul	4,723	3,980	0,25	0,5	0,7	1.533	89	17	4,728	3,982	0,02	0,0002	0,0032	0,0047	10
Bento Gonçalves	4,505	3,823	20,47	40,9	57,2	124.069	7.208	1.385	4,473	3,799	1,23	0,01	0,2	0,3	748
Boa Vista das Missões	4,711	3,935	0,69	1,4	2,0	4.200	244	47	4,710	3,934	0,13	0,001	0,025	0,036	76
Boa Vista do Buricá	4,656	3,874	1,14	2,3	3,2	6.884	400	77	4,657	3,875	0,91	0,01	0,2	0,3	550
Boa Vista do Cadeado	4,745	3,968	0,20	0,4	0,6	1.195	69	13	4,764	3,984	20,74	0,21	4,1	6,0	12,569
Boa Vista do Incra	4,627	3,889	0,35	0,7	1,0	2.105	122	24	4,658	3,908	17,95	0,18	3,6	5,1	10,880
Boa Vista do Sul	4,368	3,722	0,25	0,5	0,7	1.500	87	17	4,370	3,722	0,06	0,001	0,013	0,017	39
Bom Jesus	4,598	3,941	2,56	5,1	7,4	15.524	902	173	4,576	3,927	839,74	8,40	167,9	240,9	508,934
Bom Princípio	4,254	3,619	2,61	5,2	6,9	15.824	919	177	4,260	3,625	0,47	0,005	0,094	0,125	286
Bom Progresso	4,610	3,848	0,43	0,9	1,2	2.602	151	29	4,618	3,854	0,04	0,0004	0,0070	0,0099	21
Bom Retiro do Sul	4,426	3,731	2,41	4,8	6,6	14.580	847	163	4,443	3,740	3,89	0,04	0,8	1,1	2,356
Boqueirão do Leão	4,399	3,748	0,49	1,0	1,3	2.973	173	33	4,433	3,771	5,32	0,05	1,1	1,5	3,226
Bossoroca	4,894	4,077	0,80	1,6	2,4	4.838	281	54	4,901	4,081	651,02	6,51	130,2	194,1	394,555
Bozano	4,705	3,933	0,23	0,5	0,6	1.364	79	15	4,702	3,932	0,44	0,004	0,088	0,127	268
Braga	4,604	3,847	0,63	1,3	1,8	3.796	221	42	4,610	3,849	0,11	0,001	0,023	0,032	68
Brochier	4,329	3,660	0,29	0,6	0,8	1.778	103	20	4,332	3,663	0,19	0,002	0,039	0,052	117
Butiá	4,360	3,647	4,01	8,0	10,7	24.316	1.413	271	4,405	3,681	147,17	1,47	29,4	39,6	89,196
Caçapava do Sul	4,686	3,988	5,62	11,2	16,4	34.080	1.980	380	4,681	3,979	1.300,02	13,00	260,0	377,9	787,892
Cacequi	4,691	3,932	2,20	4,4	6,3	13.347	775	149	4,713	3,947	1.044,35	10,44	208,9	301,1	632,941
Cachoeira do Sul	4,500	3,781	14,83	29,7	41,0	89.885	5.222	1.003	4,507	3,801	706,29	7,06	141,3	196,1	428,052
Cachoeirinha	4,338	3,624	21,91	43,8	58,0	132.791	7.715	1.482	4,337	3,626	4,70	0,05	0,9	1,2	2,846
Cacique Doble	4,750	4,014	0,74	1,5	2,2	4.456	259	50	4,750	4,015	2,30	0,02	0,5	0,7	1,395
Caibaté	4,858	4,030	0,83	1,7	2,4	5.040	293	56	4,839	4,019	16,10	0,16	3,2	4,7	9,755
Caíçara	4,668	3,889	0,67	1,3	1,9	4.053	235	45	4,668	3,887	0,04	0,0004	0,0083	0,0118	25
Camaquã	4,206	3,555	11,42	22,8	29,7	69.240	4.023	773	4,225	3,572	237,67	2,38	47,5	62,0	144,040
Camargo	4,628	3,912	0,73	1,5	2,1	4.429	257	49	4,630	3,914	0,43	0,004	0,085	0,122	259
Cambará do Sul	4,462	3,850	1,67	3,3	4,7	10.151	590	113	4,400	3,819	208,96	2,09	41,8	58,3	126,641
Campestre da Serra	4,387	3,752	0,50	1,0	1,4	3.038	177	34	4,470	3,815	52,74	0,53	10,5	14,7	31,963
Campina das Missões	4,838	4,003	0,65	1,3	1,9	3.911	227	44	4,838	4,002	2,89	0,03	0,6	0,8	1,752
Campinas do Sul	4,798	4,025	1,71	3,4	5,0	10.353	601	116	4,783	4,015	0,31	0,003	0,061	0,090	185
Campo Bom	4,347	3,668	15,07	30,1	40,4	91.304	5.305	1.019	4,342	3,659	6,15	0,06	1,2	1,6	3,724
Campo Novo	4,611	3,849	1,17	2,3	3,3	7.107	413	79	4,611	3,848	0,18	0,002	0,036	0,051	110
Campos Borges	4,650	3,931	1,11	2,2	3,2	6.747	392	75	4,647	3,919	4,98	0,05	1,0	1,4	3,015
Candelária	4,465	3,768	3,97	7,9	10,9	24.087	1.399	269	4,451	3,745	62,24	0,62	12,4	17,0	37,724
Cândido Godói	4,814	3,982	0,46	0,9	1,3	2.776	161	31	4,821	3,987	1,77	0,02	0,4	0,5	1,071
Candiota	4,763	4,057	3,53	7,1	10,5	21.415	1.244	239	4,762	4,053	266,31	2,66	53,3	78,9	161,399
Canela	4,337	3,721	10,07	20,1	27,4	61.020	3.545	681	4,318	3,715	4,88	0,05	1,0	1,3	2,956
Canguçu	4,325	3,717	3,81	7,6	10,4	23.105	1.342	258	4,385	3,746	1.178,03	11,78	235,6	322,3	713,959
Canoas	4,313	3,597	60,72	121,4	159,6	368.013	21.381	4.108	4,310	3,596	11,07	0,11	2,2	2,9	6,708
Canudos do Vale	4,434	3,760	0,09	0,2	0,2	529	31	6	4,448	3,773	0,49	0,005	0,097	0,134	295
Capão Bonito do Sul	4,637	3,931	0,29	0,6	0,8	1.773	103	20	4,669	3,956	34,11	0,34	6,8	9,9	20,671
Capão da Canoa	4,498	3,819	21,37	42,7	59,6	129.491	7.523	1.446	4,480	3,807	42,06	0,42	8,4	11,7	25,488
Capão do Cipó	4,855	4,053	0,38	0,8	1,1	2.296	133	26	4,842	4,047	223,55	2,24	44,7	66,1	135,485
Capão do Leão	4,290	3,683	3,78	7,6	10,2	22.920	1.332	256	4,317	3,705	211,84	2,12	42,4	57,3	128,386
Capela de Santana	4,330	3,637	1,34	2,7	3,6	8.149	473	91	4,302	3,616	49,47	0,49	9,9	13,1	29,980
Capitão	4,404	3,752	0,48	1,0	1,3	2.885	168	32	4,390	3,739	0,15	0,001	0,030	0,041	90
Capivari do Sul	-	-	-	-	-	-	-	-	4,495	3,779	45,07	0,45	9,0	12,4	27,315

Nome do Município	ÁREA APTA URBANA								ÁREA APTA NÃO URBANA						
	Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Integração para a área apta urbana do Estado com taxa de ocupação de 2 MW _p /km ² *						Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Área Total Disponível para Integração [km ²]	Integração para 1% da área apta não urbana do Estado com taxa de ocupação de 20 MW _p /km ² *			
			Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável Equivalente						Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável em Número Equivalente de Módulos de 330 W _p
Número de Módulos de 330 W _p	Número Equivalente de Unidades Residenciais de 5,68 kW _p **	Número Equivalente de Unidades Comerciais de 29,56 kW _p **	Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Número de Módulos de 330 W _p	Número Equivalente de Unidades Residenciais de 5,68 kW _p **	Número Equivalente de Unidades Comerciais de 29,56 kW _p **	Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável em Número Equivalente de Módulos de 330 W _p			
Caraá	4,524	3,821	0,11	0,2	0,3	693	40	8	4,503	3,803	4,14	0,04	0,8	1,1	2.508
Carazinho	4,653	3,923	18,80	37,6	53,9	113.951	6.620	1.272	4,640	3,913	5,75	0,06	1,2	1,6	3.487
Carlos Barbosa	4,371	3,730	6,56	13,1	17,9	39.775	2.311	444	4,353	3,717	0,47	0,005	0,095	0,128	286
Carlos Gomes	4,770	4,026	0,19	0,4	0,6	1.173	68	13	4,749	4,013	0,57	0,01	0,1	0,2	346
Casca	4,624	3,914	2,44	4,9	7,0	14.771	858	165	4,602	3,899	1,27	0,01	0,3	0,4	767
Caseiros	4,724	3,987	0,88	1,8	2,6	5.345	311	60	4,726	3,988	7,01	0,07	1,4	2,0	4.250
Catuípe	4,703	3,924	1,69	3,4	4,8	10.233	595	114	4,706	3,922	2,82	0,03	0,6	0,8	1.707
Caxias do Sul	4,375	3,745	80,38	160,8	219,9	487.162	28.303	5.439	4,500	3,832	217,12	2,17	43,4	60,8	131.585
Centenário	4,756	4,019	0,46	0,9	1,3	2.760	160	31	4,762	4,021	2,11	0,02	0,4	0,6	1.280
Cerrito	4,361	3,727	0,80	1,6	2,2	4.860	282	54	4,330	3,719	185,56	1,86	37,1	50,4	112.460
Cerro Branco	4,514	3,802	0,60	1,2	1,7	3.638	211	41	4,525	3,812	0,68	0,01	0,1	0,2	413
Cerro Grande	4,702	3,932	0,39	0,8	1,1	2.378	138	27	4,705	3,935	0,01	0,0001	0,0014	0,0021	4
Cerro Grande do Sul	4,166	3,525	0,52	1,0	1,3	3.175	184	35	4,182	3,536	43,58	0,44	8,7	11,3	26.410
Cerro Largo	4,855	4,023	2,66	5,3	7,8	16.124	937	180	4,836	4,008	2,14	0,02	0,4	0,6	1.295
Chapada	4,636	3,904	1,97	3,9	5,6	11.935	693	133	4,626	3,898	7,31	0,07	1,5	2,1	4.431
Charqueadas	4,308	3,592	7,68	15,4	20,2	46.555	2.705	520	4,308	3,591	30,94	0,31	6,2	8,1	18.749
Charrua	4,703	3,970	0,25	0,5	0,7	1.527	89	17	4,718	3,981	1,12	0,01	0,2	0,3	680
Chiapetta	4,635	3,858	0,88	1,8	2,5	5.345	311	60	4,663	3,885	3,24	0,03	0,6	0,9	1.961
Chuí	4,416	3,753	1,30	2,6	3,6	7.871	457	88	4,408	3,739	112,44	1,12	22,5	30,6	68.143
Chuvisca	4,200	3,549	0,19	0,4	0,5	1.173	68	13	4,189	3,545	44,67	0,45	8,9	11,6	27.073
Cidreira	4,538	3,820	6,86	13,7	19,1	41.585	2.416	464	4,494	3,785	39,01	0,39	7,8	10,8	23.640
Ciriaco	4,708	3,973	0,86	1,7	2,5	5.198	302	58	4,676	3,951	3,68	0,04	0,7	1,1	2.228
Colinas	4,405	3,728	0,24	0,5	0,7	1.484	86	17	4,401	3,726	0,21	0,002	0,041	0,056	124
Colorado	4,629	3,912	0,56	1,1	1,6	3.371	196	38	4,640	3,916	0,47	0,005	0,094	0,134	284
Condor	4,626	3,887	1,64	3,3	4,7	9.938	577	111	4,615	3,879	1,11	0,01	0,2	0,3	675
Constantina	4,694	3,942	2,15	4,3	6,2	13.053	758	146	4,695	3,942	0,18	0,002	0,037	0,053	111
Coqueiro Baixo	4,391	3,746	0,20	0,4	0,6	1.233	72	14	4,388	3,743	1,61	0,02	0,3	0,4	973
Coqueiros do Sul	4,634	3,913	0,35	0,7	1,0	2.133	124	24	4,630	3,909	0,68	0,01	0,1	0,2	415
Coronel Barros	4,689	3,915	0,76	1,5	2,2	4.593	267	51	4,699	3,923	1,18	0,01	0,2	0,3	717
Coronel Bicaco	4,617	3,859	1,02	2,0	2,9	6.191	360	69	4,619	3,863	0,17	0,002	0,034	0,048	104
Coronel Pilar	4,465	3,788	0,11	0,2	0,3	655	38	7	4,487	3,801	0,17	0,002	0,034	0,048	104
Cotiporã	4,419	3,769	0,86	1,7	2,4	5.215	303	58	4,422	3,770	1,08	0,01	0,2	0,3	653
Coxilha	4,666	3,935	0,75	1,5	2,2	4.549	264	51	4,654	3,924	2,82	0,03	0,6	0,8	1.707
Crissiumal	4,658	3,881	1,34	2,7	3,8	8.111	471	91	4,654	3,876	2,41	0,02	0,5	0,7	1.460
Cristal	4,250	3,599	1,74	3,5	4,6	10.549	613	118	4,262	3,609	149,07	1,49	29,8	39,3	90.345
Cristal do Sul	4,685	3,910	0,39	0,8	1,1	2.345	136	26	4,684	3,909	0,04	0,0004	0,0079	0,0113	24
Cruz Alta	4,746	3,976	16,28	32,6	47,3	98.640	5.731	1.101	4,715	3,951	45,67	0,46	9,1	13,2	27.676
Cruzaltense	4,794	4,022	0,22	0,4	0,6	1.320	77	15	4,764	4,004	0,06	0,001	0,012	0,017	35
Cruzeiro do Sul	4,384	3,709	1,21	2,4	3,3	7.325	426	82	4,374	3,700	1,26	0,01	0,3	0,3	763
David Canabarro	4,687	3,963	0,90	1,8	2,6	5.476	318	61	4,672	3,952	0,68	0,01	0,1	0,2	413
Derrubadas	4,660	3,880	0,43	0,9	1,2	2.580	150	29	4,665	3,878	0,38	0,004	0,077	0,084	232
Dezesseis de Novembro	4,946	4,097	0,08	0,2	0,2	458	27	5	4,938	4,091	38,31	0,38	7,7	11,4	23.218
Dilermando de Aguiar	4,534	3,796	0,27	0,5	0,7	1.636	95	18	4,512	3,773	213,68	2,14	42,7	58,9	129.501
Dois Irmãos	4,340	3,671	6,03	12,1	16,2	36.556	2.124	408	4,347	3,675	0,52	0,01	0,1	0,1	315
Dois Irmãos das Missões	4,647	3,888	0,16	0,3	0,5	987	57	11	4,655	3,894	0,18	0,002	0,036	0,051	109
Dois Lajeados	4,472	3,800	0,65	1,3	1,8	3.933	228	44	4,457	3,789	0,68	0,01	0,1	0,2	411
Dom Feliciano	4,181	3,547	0,87	1,7	2,3	5.302	308	59	4,336	3,664	299,25	2,99	59,9	80,1	181.366
Dom Pedrito	4,873	4,128	7,55	15,1	22,8	45.764	2.659	511	4,879	4,129	2.695,91	26,96	539,2	813,0	1.633.886
Dom Pedro de Alcântara	4,293	3,689	0,08	0,2	0,2	485	28	5	4,220	3,655	2,50	0,02	0,5	0,7	1.513
Dona Francisca	4,450	3,737	0,76	1,5	2,1	4.576	266	51	4,448	3,740	1,41	0,01	0,3	0,4	854
Doutor Maurício Cardoso	4,698	3,896	0,42	0,8	1,2	2.525	147	28	4,685	3,888	0,52	0,01	0,1	0,1	316
Doutor Ricardo	4,425	3,768	0,39	0,8	1,1	2.356	137	26	4,421	3,766	0,32	0,003	0,064	0,088	194

Nome do Município	ÁREA APTA URBANA									ÁREA APTA NÃO URBANA					
	Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Integração para a área apta urbana do Estado com taxa de ocupação de 2 MW _p /km ² *						Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Área Total Disponível para Integração [km ²]	Integração para 1% da área apta não urbana do Estado com taxa de ocupação de 20 MW _p /km ² *			
			Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável Equivalente						Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável em Número Equivalente de Módulos de 330 W _p
						Número de Módulos de 330 W _p	Número Equivalente de Unidades Residenciais de 5,68 kW _p **	Número Equivalente de Unidades Comerciais de 29,56 kW _p **							
Eldorado do Sul	4,250	3,533	6,63	13,3	17,1	40.178	2.334	449	4,296	3,579	75,68	0,76	15,1	19,8	45.864
Encantado	4,425	3,756	5,12	10,2	14,0	31.015	1.802	346	4,426	3,762	0,68	0,01	0,1	0,2	411
Encruzilhada do Sul	4,435	3,752	3,82	7,6	10,5	23.144	1.345	258	4,433	3,757	744,12	7,44	148,8	204,2	450.981
Engenho Velho	4,688	3,943	0,28	0,6	0,8	1.675	97	19	4,685	3,941	0,02	0,0002	0,0036	0,0052	11
Entre Rios do Sul	4,708	3,964	0,79	1,6	2,3	4.805	279	54	4,714	3,963	0,14	0,001	0,028	0,040	83
Entre-Ijuís	4,693	3,912	1,67	3,3	4,8	10.113	588	113	4,790	3,990	27,36	0,27	5,5	8,0	16.583
Erebango	4,758	4,010	0,96	1,9	2,8	5.809	338	65	4,767	4,018	1,86	0,02	0,4	0,5	1.129
Erechim	4,765	4,024	25,82	51,6	75,9	156.496	9.092	1.747	4,763	4,023	5,80	0,06	1,2	1,7	3.514
Ernestina	4,629	3,912	0,71	1,4	2,0	4.309	250	48	4,640	3,916	1,11	0,01	0,2	0,3	675
Erval Grande	4,716	3,977	0,91	1,8	2,7	5.531	321	62	4,725	3,983	0,46	0,005	0,092	0,134	278
Erval Seco	4,646	3,884	1,02	2,0	2,9	6.169	358	69	4,655	3,888	0,07	0,001	0,014	0,020	44
Esmeralda	4,645	3,944	0,96	1,9	2,8	5.825	338	65	4,667	3,957	150,89	1,51	30,2	43,6	91.448
Esperança do Sul	4,627	3,857	0,30	0,6	0,8	1.811	105	20	4,604	3,839	0,42	0,004	0,083	0,117	252
Espumoso	4,667	3,939	3,14	6,3	9,0	19.047	1.107	213	4,637	3,920	24,31	0,24	4,9	7,0	14.733
Estação	4,759	4,006	2,07	4,1	6,1	12.535	728	140	4,751	4,000	1,01	0,01	0,2	0,3	611
Estância Velha	4,378	3,681	10,55	21,1	28,4	63.927	3.714	714	4,365	3,671	1,37	0,01	0,3	0,4	831
Esteio	4,334	3,625	14,83	29,7	39,3	89.891	5.223	1.004	4,330	3,621	0,95	0,01	0,2	0,3	574
Estrela	4,407	3,722	7,25	14,5	19,7	43.958	2.554	491	4,414	3,725	1,41	0,01	0,3	0,4	852
Estrela Velha	4,624	3,890	0,50	1,0	1,4	3.055	177	34	4,615	3,880	0,53	0,01	0,1	0,2	321
Eugênio de Castro	4,739	3,955	0,62	1,2	1,8	3.747	218	42	4,792	3,992	21,26	0,21	4,3	6,2	12.883
Fagundes Varela	4,461	3,796	0,46	0,9	1,3	2.804	163	31	4,461	3,795	1,32	0,01	0,3	0,4	802
Farroupilha	4,412	3,762	16,37	32,7	45,0	99.207	5.764	1.108	4,424	3,770	1,61	0,02	0,3	0,4	974
Faxinal do Soturno	4,457	3,741	1,63	3,3	4,5	9.889	575	110	4,441	3,725	2,80	0,03	0,6	0,8	1.696
Faxinalzinho	4,719	3,971	0,50	1,0	1,5	3.044	177	34	4,706	3,956	0,12	0,001	0,025	0,036	75
Fazenda Vilanova	4,456	3,751	1,05	2,1	2,9	6.393	371	71	4,440	3,737	2,87	0,03	0,6	0,8	1.740
Feliz	4,271	3,635	2,14	4,3	5,7	12.971	754	145	4,273	3,638	0,39	0,004	0,079	0,105	238
Flores da Cunha	4,429	3,771	8,98	18,0	24,7	54.431	3.162	608	4,420	3,763	2,41	0,02	0,5	0,7	1.462
Florianópolis	4,759	4,011	0,27	0,5	0,8	1.625	94	18	4,754	4,009	0,77	0,01	0,2	0,2	469
Fontoura Xavier	4,588	3,888	1,52	3,0	4,3	9.213	535	103	4,601	3,900	32,55	0,33	6,5	9,3	19.729
Formigueiro	4,441	3,732	0,88	1,8	2,4	5.313	309	59	4,448	3,734	117,02	1,17	23,4	31,9	70.923
Forquethina	4,398	3,736	0,14	0,3	0,4	867	50	10	4,396	3,736	1,77	0,02	0,4	0,5	1.073
Fortaleza dos Valos	4,646	3,911	1,32	2,6	3,8	8.013	466	89	4,635	3,894	16,19	0,16	3,2	4,6	9.814
Frederico Westphalen	4,671	3,893	6,60	13,2	18,8	40.004	2.324	447	4,679	3,897	0,39	0,004	0,078	0,110	235
Garibaldi	4,458	3,789	8,62	17,2	23,9	52.244	3.035	583	4,470	3,795	0,80	0,01	0,2	0,2	482
Garruchos	4,930	4,085	0,01	0,0	0,0	76	4	1	4,934	4,090	312,12	3,12	62,4	93,2	189.162
Gaurama	4,760	4,017	1,24	2,5	3,6	7.538	438	84	4,770	4,025	2,63	0,03	0,5	0,8	1.595
General Câmara	4,308	3,599	1,03	2,1	2,7	6.256	363	70	4,370	3,663	118,11	1,18	23,6	31,6	71.583
Gentil	4,609	3,906	0,35	0,7	1,0	2.100	122	23	4,643	3,928	2,19	0,02	0,4	0,6	1.328
Getúlio Vargas	4,786	4,027	4,96	9,9	14,6	30.049	1.746	335	4,782	4,028	3,40	0,03	0,7	1,0	2.062
Giruá	4,771	3,951	4,00	8,0	11,6	24.262	1.410	271	4,759	3,946	3,43	0,03	0,7	1,0	2.078
Glorinha	4,430	3,727	1,26	2,5	3,4	7.631	443	85	4,471	3,765	1,09	0,01	0,2	0,3	661
Gramado	4,397	3,749	9,01	18,0	24,7	54.605	3.173	610	4,366	3,727	2,84	0,03	0,6	0,8	1.721
Gramado dos Loureiros	4,666	3,927	0,21	0,4	0,6	1.244	72	14	4,681	3,937	0,03	0,0003	0,0059	0,0085	18
Gramado Xavier	4,465	3,789	0,29	0,6	0,8	1.756	102	20	4,489	3,808	1,15	0,01	0,2	0,3	699
Gravataí	4,318	3,623	45,16	90,3	119,5	273.704	15.902	3.056	4,345	3,651	73,36	0,73	14,7	19,6	44.459
Guabiju	4,598	3,900	0,32	0,6	0,9	1.958	114	22	4,568	3,877	3,44	0,03	0,7	1,0	2.084
Guaíba	4,243	3,531	15,98	32,0	41,2	96.873	5.628	1.081	4,260	3,552	98,25	0,98	19,7	25,5	59.548
Guaporé	4,532	3,851	6,63	13,3	18,7	40.205	2.336	449	4,527	3,847	3,20	0,03	0,6	0,9	1.937
Guarani das Missões	4,734	3,937	1,44	2,9	4,1	8.700	505	97	4,774	3,963	1,77	0,02	0,4	0,5	1.071
Harmonia	4,272	3,615	0,51	1,0	1,3	3.087	179	34	4,267	3,612	0,10	0,001	0,020	0,026	59
Herval	4,655	3,968	1,00	2,0	2,9	6.044	351	67	4,578	3,907	763,34	7,63	152,7	217,7	462.633
Herveiras	4,462	3,779	0,15	0,3	0,4	911	53	10	4,469	3,785	0,48	0,005	0,096	0,133	291
Horizontina	4,732	3,922	3,58	7,2	10,3	21.720	1.262	242	4,729	3,920	3,75	0,04	0,7	1,1	2.272
Hulha Negra	4,850	4,122	0,79	1,6	2,4	4.811	280	54	4,813	4,091	310,66	3,11	62,1	92,8	188.277
Humaitá	4,649	3,876	1,14	2,3	3,2	6.905	401	77	4,648	3,875	0,10	0,001	0,021	0,029	63

Nome do Município	ÁREA APTA URBANA								ÁREA APTA NÃO URBANA						
	Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Integração para a área apta urbana do Estado com taxa de ocupação de 2 MW _p /km ² *						Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Área Total Disponível para Integração [km ²]	Integração para 1% da área apta não urbana do Estado com taxa de ocupação de 20 MW _p /km ² *			
			Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável Equivalente						Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável Equivalente em Número de Módulos de 330 W _p
						Número de Módulos de 330 W _p	Número Equivalente de Unidades Residenciais de 5,68 kW _p **	Número Equivalente de Unidades Comerciais de 29,56 kW _p **							
Ibarama	4,628	3,887	0,38	0,8	1,1	2.275	132	25	4,611	3,875	0,17	0,002	0,033	0,047	101
Ibiaçá	4,758	4,013	1,25	2,5	3,7	7.565	440	84	4,745	4,002	1,68	0,02	0,3	0,5	1.016
Ibiraiaras	4,611	3,912	1,43	2,9	4,1	8.656	503	97	4,639	3,930	1,81	0,02	0,4	0,5	1.100
Ibirapuitã	4,663	3,942	0,92	1,8	2,7	5.602	325	63	4,642	3,924	4,35	0,04	0,9	1,2	2.636
Ibirubá	4,638	3,912	4,72	9,4	13,5	28.625	1.663	320	4,641	3,907	2,40	0,02	0,5	0,7	1.453
Igrejinha	4,337	3,687	6,70	13,4	18,1	40.631	2.361	454	4,342	3,693	5,11	0,05	1,0	1,4	3.096
Ijuí	4,711	3,937	17,11	34,2	49,2	103.724	6.026	1.158	4,698	3,925	3,07	0,03	0,6	0,9	1.859
Ilópolis	4,535	3,848	1,05	2,1	3,0	6.365	370	71	4,529	3,844	1,04	0,01	0,2	0,3	629
Imbé	4,517	3,815	19,47	38,9	54,3	118.025	6.857	1.318	4,517	3,814	5,48	0,05	1,1	1,5	3.322
Imigrante	4,448	3,768	0,52	1,0	1,4	3.158	183	35	4,441	3,761	0,07	0,001	0,014	0,020	44
Independência	4,741	3,929	0,87	1,7	2,5	5.280	307	59	4,730	3,921	2,05	0,02	0,4	0,6	1.243
Inhacorá	4,688	3,896	0,19	0,4	0,6	1.173	68	13	4,695	3,900	0,56	0,01	0,1	0,2	340
Ipê	4,512	3,841	1,03	2,1	2,9	6.256	363	70	4,521	3,846	58,07	0,58	11,6	16,3	35.191
Ipiranga do Sul	4,727	3,987	0,44	0,9	1,3	2.651	154	30	4,738	3,991	2,15	0,02	0,4	0,6	1.304
Iraí	4,676	3,897	0,95	1,9	2,7	5.765	335	64	4,679	3,900	0,03	0,0003	0,0052	0,0074	16
Itaara	4,450	3,724	0,58	1,2	1,6	3.502	203	39	4,449	3,726	2,77	0,03	0,6	0,8	1.681
Itacurubi	4,922	4,102	0,34	0,7	1,0	2.040	119	23	4,926	4,106	603,61	6,04	120,7	181,1	365.827
Itapuca	4,573	3,880	0,28	0,6	0,8	1.718	100	19	4,631	3,924	11,42	0,11	2,3	3,3	6.921
Itaqui	4,937	4,116	5,51	11,0	16,6	33.376	1.939	373	4,933	4,117	843,39	8,43	168,7	253,7	511.143
Itati	0,000	0,000	0,00	0,0	0,0	0	0	0	4,188	3,654	3,53	0,04	0,7	0,9	2.137
Itatiba do Sul	4,754	4,007	0,35	0,7	1,0	2.127	124	24	4,771	4,013	1,55	0,02	0,3	0,5	939
Ivorá	4,435	3,719	0,29	0,6	0,8	1.740	101	19	4,450	3,731	0,84	0,01	0,2	0,2	508
Ivoti	4,352	3,672	5,44	10,9	14,6	32.989	1.917	368	4,357	3,681	0,65	0,01	0,1	0,2	395
Jaboticaba	4,715	3,937	0,74	1,5	2,1	4.462	259	50	4,714	3,938	0,02	0,0002	0,0038	0,0054	11
Jacuizinho	4,659	3,920	0,20	0,4	0,6	1.233	72	14	4,656	3,922	7,31	0,07	1,5	2,1	4.431
Jacutinga	4,748	3,996	0,87	1,7	2,5	5.264	306	59	4,759	4,007	0,27	0,003	0,054	0,079	164
Jaguarão	4,429	3,758	5,64	11,3	15,5	34.200	1.987	382	4,462	3,794	756,60	7,57	151,3	209,5	458.547
Jaguari	4,708	3,959	2,09	4,2	6,0	12.671	736	141	4,671	3,931	99,19	0,99	19,8	28,5	60.114
Jaquirana	4,516	3,887	0,74	1,5	2,1	4.511	262	50	4,564	3,911	249,88	2,50	50,0	71,4	151.445
Jari	4,682	3,922	0,34	0,7	1,0	2.035	118	23	4,703	3,939	190,36	1,90	38,1	54,8	115.372
Jóia	4,803	4,007	0,82	1,6	2,4	4.953	288	55	4,806	4,011	122,82	1,23	24,6	36,0	74.436
Júlio de Castilhos	4,587	3,846	4,37	8,7	12,3	26.476	1.538	296	4,595	3,849	163,86	1,64	32,8	46,1	99.308
Lagoa Bonita do Sul	4,607	3,878	0,14	0,3	0,4	840	49	9	4,624	3,890	0,18	0,002	0,037	0,052	111
Lagoa dos Três Cantos	4,636	3,916	0,58	1,2	1,7	3.496	203	39	4,656	3,930	0,12	0,001	0,023	0,033	70
Lagoa Vermelha	4,693	3,965	7,43	14,9	21,5	45.016	2.615	503	4,647	3,938	63,64	0,64	12,7	18,3	38.572
Lagoão	4,587	3,879	0,49	1,0	1,4	2.989	174	33	4,598	3,886	12,42	0,12	2,5	3,5	7.527
Lajeado	4,392	3,717	22,29	44,6	60,5	135.109	7.850	1.508	4,384	3,716	1,06	0,01	0,2	0,3	645
Lajeado do Bugre	4,700	3,933	0,28	0,6	0,8	1.696	99	19	4,718	3,945	0,02	0,0002	0,0034	0,0049	10
Lavras do Sul	4,811	4,074	1,30	2,6	3,9	7.876	458	88	4,850	4,094	1.349,33	13,49	269,9	403,5	817.774
Liberato Salzano	4,688	3,930	0,63	1,3	1,8	3.791	220	42	4,704	3,940	0,09	0,001	0,017	0,025	52
Lindolfo Collor	4,320	3,651	0,86	1,7	2,3	5.209	303	58	4,319	3,654	0,26	0,003	0,052	0,070	159
Linha Nova	4,277	3,641	0,20	0,4	0,5	1.233	72	14	4,298	3,652	0,06	0,001	0,013	0,017	38
Maçambará	4,946	4,127	0,93	1,9	2,8	5.651	328	63	4,940	4,123	455,77	4,56	91,2	137,3	276.221
Machadinho	4,701	3,979	1,55	3,1	4,5	9.365	544	105	4,724	3,996	9,33	0,09	1,9	2,7	5.656
Mampituba	3,999	3,567	0,02	0,0	0,1	136	8	2	4,001	3,576	0,82	0,01	0,2	0,2	499
Manoel Viana	4,847	4,056	1,11	2,2	3,3	6.704	389	75	4,903	4,100	473,99	4,74	94,8	141,9	287.270
Maquiné	4,355	3,741	0,32	0,6	0,9	1.958	114	22	4,394	3,758	23,70	0,24	4,7	6,5	14.365
Maratá	4,319	3,652	0,18	0,4	0,5	1.085	63	12	4,316	3,649	0,09	0,001	0,018	0,024	54
Marau	4,637	3,917	9,85	19,7	28,2	59.711	3.469	667	4,635	3,916	5,97	0,06	1,2	1,7	3.619
Marcelino Ramos	4,759	4,016	0,71	1,4	2,1	4.309	250	48	4,736	4,002	4,46	0,04	0,9	1,3	2.704
Mariana Pimentel	4,283	3,589	0,09	0,2	0,2	573	33	6	4,278	3,584	70,35	0,70	14,1	18,4	42.639
Mariano Moro	4,790	4,039	0,32	0,6	1,0	1.958	114	22	4,802	4,044	0,75	0,01	0,2	0,2	455
Marques de Souza	4,417	3,746	0,53	1,1	1,5	3.240	188	36	4,422	3,751	2,39	0,02	0,5	0,7	1.446
Mata	4,633	3,890	0,73	1,5	2,1	4.435	258	50	4,654	3,907	39,59	0,40	7,9	11,3	23.995
Mato Castelhano	4,651	3,922	0,43	0,9	1,2	2.624	152	29	4,613	3,896	2,70	0,03	0,5	0,8	1.638
Mato Leitão	4,339	3,687	0,41	0,8	1,1	2.460	143	27	4,333	3,683	0,34	0,003	0,068	0,092	207

Nome do Município	ÁREA APTA URBANA									ÁREA APTA NÃO URBANA					
	Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Integração para a área apta urbana do Estado com taxa de ocupação de 2 MW _p /km ² *						Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Área Total Disponível para Integração [km ²]	Integração para 1% da área apta não urbana do Estado com taxa de ocupação de 20 MW _p /km ² *			
			Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável Equivalente						Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável em Número Equivalente de Módulos de 330 W _p
						Número de Módulos de 330 W _p	Número Equivalente de Unidades Residenciais de 5,68 kW _p **	Número Equivalente de Unidades Comerciais de 29,56 kW _p **							
Mato Queimado	4,821	4,001	0,32	0,6	0,9	1.915	111	21	4,816	3,997	2,71	0,03	0,5	0,8	1.640
Maximiliano de Almeida	4,728	3,997	1,13	2,3	3,3	6.851	398	76	4,732	4,001	4,15	0,04	0,8	1,2	2.513
Minas do Leão	4,412	3,687	1,99	4,0	5,4	12.038	699	134	4,398	3,677	69,40	0,69	13,9	18,6	42.058
Miraguaí	4,653	3,879	0,63	1,3	1,8	3.802	221	42	4,649	3,877	0,10	0,001	0,020	0,029	62
Montauri	4,593	3,892	0,33	0,7	1,0	2.029	118	23	4,583	3,885	0,21	0,002	0,042	0,060	127
Monte Alegre dos Campos	4,432	3,803	0,26	0,5	0,7	1.593	93	18	4,424	3,796	101,18	1,01	20,2	28,1	61.321
Monte Belo do Sul	4,504	3,819	0,32	0,6	0,9	1.936	113	22	4,490	3,808	0,32	0,003	0,065	0,090	196
Montenegro	4,313	3,628	11,68	23,4	30,9	70.773	4.112	790	4,291	3,602	61,58	0,62	12,3	16,2	37.320
Mormaço	4,638	3,919	0,41	0,8	1,2	2.465	143	28	4,650	3,929	0,85	0,01	0,2	0,2	513
Morrinhos do Sul	4,015	3,551	0,20	0,4	0,5	1.233	72	14	4,050	3,579	2,42	0,02	0,5	0,6	1.464
Morro Redondo	4,286	3,689	0,52	1,0	1,4	3.164	184	35	4,331	3,722	80,80	0,81	16,2	22,0	48.967
Morro Reuter	4,298	3,649	0,82	1,6	2,2	4.991	290	56	4,319	3,672	0,11	0,001	0,023	0,030	68
Mostardas	4,705	3,990	4,35	8,7	12,7	26.384	1.533	295	4,655	3,938	287,25	2,87	57,4	82,6	174.089
Muçum	4,419	3,753	1,18	2,4	3,2	7.178	417	80	4,407	3,750	0,23	0,002	0,046	0,063	140
Muitos Capões	4,566	3,887	0,62	1,2	1,8	3.736	217	42	4,570	3,885	117,19	1,17	23,4	33,3	71.022
Muliterno	4,716	3,986	0,41	0,8	1,2	2.493	145	28	4,718	3,985	0,52	0,01	0,1	0,2	317
Não-Me-Toque	4,653	3,926	6,82	13,6	19,6	41.345	2.402	462	4,648	3,923	1,41	0,01	0,3	0,4	853
Nicolau Vergueiro	4,650	3,926	0,31	0,6	0,9	1.865	108	21	4,638	3,919	1,60	0,02	0,3	0,5	969
Nonoai	4,706	3,953	2,40	4,8	6,9	14.536	845	162	4,708	3,954	0,35	0,003	0,069	0,100	211
Nova Alvorada	4,592	3,887	0,74	1,5	2,1	4.500	261	50	4,653	3,935	1,29	0,01	0,3	0,4	780
Nova Araçá	4,559	3,872	1,40	2,8	4,0	8.487	493	95	4,545	3,863	0,61	0,01	0,1	0,2	367
Nova Bassano	4,524	3,854	2,30	4,6	6,5	13.925	809	155	4,519	3,846	1,50	0,02	0,3	0,4	909
Nova Boa Vista	4,647	3,914	0,45	0,9	1,3	2.700	157	30	4,655	3,920	0,07	0,001	0,014	0,020	41
Nova Brésia	4,408	3,749	0,44	0,9	1,2	2.662	155	30	4,406	3,750	0,30	0,003	0,059	0,081	179
Nova Candelária	4,643	3,865	0,37	0,7	1,0	2.220	129	25	4,645	3,866	0,42	0,004	0,083	0,118	253
Nova Esperança do Sul	4,727	3,987	1,22	2,4	3,6	7.391	429	83	4,729	3,984	20,67	0,21	4,1	6,0	12.529
Nova Hartz	4,294	3,655	3,61	7,2	9,6	21.856	1.270	244	4,320	3,670	4,20	0,04	0,8	1,1	2.547
Nova Pádua	4,422	3,767	0,37	0,7	1,0	2.242	130	25	4,409	3,755	1,20	0,01	0,2	0,3	724
Nova Palma	4,522	3,796	1,05	2,1	2,9	6.355	369	71	4,564	3,831	5,47	0,05	1,1	1,5	3.316
Nova Petrópolis	4,276	3,652	3,63	7,3	9,7	22.015	1.279	246	4,340	3,698	1,08	0,01	0,2	0,3	654
Nova Prata	4,491	3,820	6,41	12,8	17,9	38.847	2.257	434	4,510	3,832	4,10	0,04	0,8	1,1	2.485
Nova Ramada	4,611	3,861	0,21	0,4	0,6	1.255	73	14	4,612	3,863	1,93	0,02	0,4	0,5	1.167
Nova Roma do Sul	4,365	3,731	0,73	1,5	2,0	4.429	257	49	4,384	3,742	0,91	0,01	0,2	0,2	552
Nova Santa Rita	4,283	3,575	7,91	15,8	20,7	47.956	2.786	535	4,293	3,589	45,42	0,45	9,1	11,9	27.529
Novo Barreiro	4,698	3,938	0,51	1,0	1,5	3.098	180	35	4,700	3,940	0,19	0,002	0,037	0,054	113
Novo Cabrais	4,481	3,775	0,32	0,6	0,9	1.931	112	22	4,471	3,760	8,71	0,09	1,7	2,4	5.281
Novo Hamburgo	4,365	3,672	42,11	84,2	113,0	255.229	14.828	2.849	4,368	3,672	38,27	0,38	7,7	10,3	23.195
Novo Machado	4,744	3,927	0,27	0,5	0,8	1.609	93	18	4,742	3,926	0,46	0,005	0,092	0,132	279
Novo Tiradentes	4,702	3,930	0,35	0,7	1,0	2.127	124	24	4,695	3,925	0,02	0,0002	0,0036	0,0052	11
Novo Xingu	4,706	3,943	0,30	0,6	0,9	1.844	107	21	4,701	3,940	0,03	0,0003	0,0058	0,0083	17
Osório	4,426	3,757	16,62	33,2	45,6	100.707	5.851	1.124	4,448	3,764	153,97	1,54	30,8	42,3	93.317
Paim Filho	4,733	3,998	0,97	1,9	2,8	5.875	341	66	4,738	4,003	2,39	0,02	0,5	0,7	1.447
Palmares do Sul	4,523	3,802	3,68	7,4	10,2	22.331	1.297	249	4,504	3,785	112,28	1,12	22,5	31,0	68.050
Palmeira das Missões	4,684	3,929	8,48	17,0	24,3	51.382	2.985	574	4,641	3,902	4,56	0,05	0,9	1,3	2.767
Palmitinho	4,668	3,885	1,15	2,3	3,3	6.987	406	78	4,672	3,887	0,21	0,002	0,043	0,061	129
Panambi	4,671	3,918	11,20	22,4	32,0	67.855	3.942	758	4,672	3,921	2,91	0,03	0,6	0,8	1.765
Pantano Grande	4,449	3,728	2,19	4,4	6,0	13.293	772	148	4,446	3,729	113,19	1,13	22,6	30,8	68.601
Paraí	4,540	3,858	2,53	5,1	7,1	15.338	891	171	4,549	3,864	1,12	0,01	0,2	0,3	680
Paraíso do Sul	4,515	3,797	0,96	1,9	2,7	5.809	338	65	4,503	3,785	12,69	0,13	2,5	3,5	7.690
Pareci Novo	4,304	3,625	0,68	1,4	1,8	4.151	241	46	4,296	3,621	0,22	0,002	0,045	0,059	135
Parobé	4,411	3,730	9,87	19,7	26,9	59.793	3.474	668	4,413	3,723	20,06	0,20	4,0	5,5	12.159
Passa Sete	4,564	3,853	0,29	0,6	0,8	1.735	101	19	4,509	3,814	0,97	0,01	0,2	0,3	587
Passo do Sobrado	4,418	3,724	0,67	1,3	1,8	4.069	236	45	4,426	3,726	44,38	0,44	8,9	12,1	26.899
Passo Fundo	4,619	3,899	45,95	91,9	130,9	278.471	16.179	3.109	4,606	3,891	14,85	0,15	3,0	4,2	9.001

Nome do Município	ÁREA APTA URBANA									ÁREA APTA NÃO URBANA					
	Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Integração para a área apta urbana do Estado com taxa de ocupação de 2 MW _p /km ² *						Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Área Total Disponível para Integração [km ²]	Integração para 1% da área apta não urbana do Estado com taxa de ocupação de 20 MW _p /km ² *			
			Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável Equivalente						Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável em Número Equivalente de Módulos de 330 W _p
						Número de Módulos de 330 W _p	Número Equivalente de Unidades Residenciais de 5,68 kW _p **	Número Equivalente de Unidades Comerciais de 29,56 kW _p **							
Paulo Bento	4,759	4,013	0,43	0,9	1,3	2.607	151	29	4,757	4,015	1,21	0,01	0,2	0,4	731
Paverama	4,443	3,745	0,79	1,6	2,2	4.805	279	54	4,416	3,721	1,27	0,01	0,3	0,3	771
Pedras Altas	4,733	4,033	0,16	0,3	0,5	987	57	11	4,715	4,016	558,08	5,58	111,6	163,7	338.228
Pedro Osório	4,370	3,732	1,81	3,6	4,9	10.975	638	123	4,402	3,764	229,70	2,30	45,9	63,2	139.212
Pejuçara	4,725	3,955	1,10	2,2	3,2	6.687	389	75	4,716	3,955	3,13	0,03	0,6	0,9	1.897
Pelotas	4,299	3,683	47,95	95,9	129,0	290.629	16.885	3.245	4,300	3,689	416,14	4,16	83,2	112,1	252.204
Picada Café	4,304	3,661	0,87	1,7	2,3	5.253	305	59	4,328	3,674	0,06	0,001	0,012	0,017	38
Pinhal	4,706	3,928	0,57	1,1	1,6	3.447	200	38	4,690	3,917	0,04	0,0004	0,0072	0,0103	22
Pinhal da Serra	4,692	3,982	0,41	0,8	1,2	2.487	145	28	4,715	3,995	50,34	0,50	10,1	14,7	30.509
Pinhal Grande	4,637	3,893	0,69	1,4	2,0	4.167	242	47	4,616	3,873	12,14	0,12	2,4	3,4	7.355
Pinheirinho do Vale	4,639	3,860	0,44	0,9	1,2	2.678	156	30	4,643	3,863	0,09	0,001	0,018	0,025	53
Pinheiro Machado	4,652	3,966	2,20	4,4	6,4	13.336	775	149	4,657	3,970	1.041,52	10,42	208,3	302,0	631.223
Pinto Bandeira	4,449	3,783	0,29	0,6	0,8	1.773	103	20	4,455	3,787	0,67	0,01	0,1	0,2	405
Pirapó	4,937	4,085	0,17	0,3	0,5	1.058	61	12	4,917	4,071	83,02	0,83	16,6	24,7	50.313
Piratini	4,553	3,894	1,91	3,8	5,4	11.591	673	129	4,512	3,858	1.253,08	12,53	250,6	353,1	759.445
Planalto	4,645	3,896	2,01	4,0	5,7	12.164	707	136	4,651	3,898	0,12	0,001	0,024	0,034	72
Poço das Antas	4,402	3,718	0,31	0,6	0,8	1.882	109	21	4,356	3,687	0,12	0,001	0,025	0,033	75
Pontão	4,645	3,918	0,72	1,4	2,1	4.347	253	49	4,656	3,924	1,08	0,01	0,2	0,3	657
Ponte Preta	4,724	3,987	0,32	0,6	0,9	1.969	114	22	4,731	3,993	0,27	0,003	0,055	0,080	166
Portão	4,329	3,639	8,18	16,4	21,8	49.587	2.881	554	4,321	3,624	34,71	0,35	6,9	9,2	21.038
Porto Alegre	4,275	3,554	160,12	320,2	415,6	970.396	56.379	10.833	4,259	3,547	64,94	0,65	13,0	16,8	39.355
Porto Lucena	4,819	3,991	0,58	1,2	1,7	3.518	204	39	4,836	4,000	12,30	0,12	2,5	3,6	7.452
Porto Mauá	4,764	3,942	0,13	0,3	0,4	764	44	9	4,766	3,941	0,90	0,01	0,2	0,3	546
Porto Vera Cruz	4,807	3,976	0,11	0,2	0,3	665	39	7	4,811	3,979	7,68	0,08	1,5	2,2	4.654
Porto Xavier	4,854	4,017	1,30	2,6	3,8	7.882	458	88	4,883	4,041	41,09	0,41	8,2	12,1	24.901
Pouso Novo	4,393	3,744	0,25	0,5	0,7	1.495	87	17	4,409	3,753	1,20	0,01	0,2	0,3	724
Presidente Lucena	4,341	3,671	0,50	1,0	1,3	3.016	175	34	4,340	3,671	0,57	0,01	0,1	0,2	343
Progresso	4,444	3,775	0,52	1,0	1,4	3.131	182	35	4,501	3,815	2,59	0,03	0,5	0,7	1.572
Protásio Alves	4,458	3,787	0,24	0,5	0,7	1.429	83	16	4,497	3,818	3,26	0,03	0,7	0,9	1.975
Putinga	4,501	3,830	0,59	1,2	1,6	3.573	208	40	4,474	3,810	1,78	0,02	0,4	0,5	1.082
Quaraí	4,858	4,077	3,70	7,4	11,0	22.424	1.303	250	4,903	4,108	1.864,05	18,64	372,8	559,3	1.129.729
Quatro Irmãos	4,767	4,017	0,40	0,8	1,2	2.449	142	27	4,775	4,022	2,30	0,02	0,5	0,7	1.391
Quevedos	4,628	3,870	0,32	0,6	0,9	1.947	113	22	4,629	3,874	96,54	0,97	19,3	27,3	58.508
Quinze de Novembro	4,612	3,898	0,76	1,5	2,2	4.620	268	52	4,629	3,908	0,36	0,004	0,072	0,103	219
Redentora	4,623	3,862	0,84	1,7	2,4	5.100	296	57	4,637	3,872	0,04	0,0004	0,0072	0,0102	22
Relvado	4,420	3,769	0,32	0,6	0,9	1.958	114	22	4,428	3,776	0,99	0,01	0,2	0,3	602
Restinga Sêca	4,435	3,724	2,58	5,2	7,0	15.665	910	175	4,435	3,723	99,74	1,00	19,9	27,1	60.451
Rio dos Índios	4,746	3,974	0,22	0,4	0,6	1.331	77	15	4,744	3,970	0,04	0,0004	0,0070	0,0102	21
Rio Grande	4,419	3,766	37,39	74,8	102,8	226.587	13.164	2.530	4,387	3,741	710,87	7,11	142,2	194,2	430.830
Rio Pardo	4,416	3,700	4,85	9,7	13,1	29.395	1.708	328	4,434	3,720	377,01	3,77	75,4	102,4	228.490
Riozinho	4,463	3,783	0,36	0,7	1,0	2.187	127	24	4,429	3,761	0,93	0,01	0,2	0,3	563
Roca Sales	4,431	3,760	1,53	3,1	4,2	9.262	538	103	4,433	3,763	0,66	0,01	0,1	0,2	401
Rodeio Bonito	4,687	3,918	1,40	2,8	4,0	8.504	494	95	4,691	3,921	0,05	0,0005	0,0099	0,0142	30
Rolador	4,884	4,051	0,07	0,1	0,2	425	25	5	4,891	4,053	24,14	0,24	4,8	7,1	14.632
Rolante	4,459	3,771	3,05	6,1	8,4	18.496	1.075	206	4,464	3,774	13,82	0,14	2,8	3,8	8.374
Ronda Alta	4,663	3,931	2,20	4,4	6,3	13.347	775	149	4,696	3,954	0,21	0,002	0,041	0,060	125
Rondinha	4,675	3,934	0,83	1,7	2,4	5.051	293	56	4,680	3,939	0,14	0,001	0,029	0,042	88
Roque Gonzales	4,900	4,058	0,93	1,9	2,8	5.640	328	63	4,896	4,054	34,16	0,34	6,8	10,1	20.704
Rosário do Sul	4,732	3,965	7,10	14,2	20,6	43.042	2.501	481	4,788	4,019	1.904,35	19,04	380,9	559,0	1.154.152
Sagrada Família	4,690	3,929	0,31	0,6	0,9	1.849	107	21	4,694	3,931	0,03	0,0003	0,0068	0,0098	21
Saldanha Marinho	4,656	3,922	0,94	1,9	2,7	5.700	331	64	4,644	3,914	0,41	0,004	0,082	0,118	250
Salto do Jacuí	4,626	3,891	2,97	5,9	8,4	17.984	1.045	201	4,629	3,890	11,20	0,11	2,2	3,2	6.790
Salvador das Missões	4,868	4,030	0,43	0,9	1,3	2.585	150	29	4,863	4,028	0,64	0,01	0,1	0,2	389
Salvador do Sul	4,240	3,616	1,06	2,1	2,8	6.442	374	72	4,279	3,636	0,18	0,002	0,036	0,047	108
Sananduva	4,703	3,979	3,71	7,4	10,8	22.478	1.306	251	4,723	3,991	4,20	0,04	0,8	1,2	2.547
Santa Bárbara do Sul	4,637	3,904	3,12	6,2	8,9	18.933	1.100	211	4,645	3,909	8,16	0,08	1,6	2,3	4.943

Nome do Município	ÁREA APTA URBANA								ÁREA APTA NÃO URBANA						
	Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Integração para a área apta urbana do Estado com taxa de ocupação de 2 MW _p /km ² *						Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Área Total Disponível para Integração [km ²]	Integração para 1% da área apta não urbana do Estado com taxa de ocupação de 20 MW _p /km ² *			
			Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável Equivalente						Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável em Número Equivalente de Módulos de 330 W _p
						Número de Módulos de 330 W _p	Número Equivalente de Unidades Residenciais de 5,68 kW _p **	Número Equivalente de Unidades Comerciais de 29,56 kW _p **							
Santa Cecília do Sul	4,725	3,980	0,29	0,6	0,8	1.751	102	20	4,701	3,965	1,41	0,01	0,3	0,4	853
Santa Clara do Sul	4,363	3,709	1,27	2,5	3,4	7.685	447	86	4,338	3,696	0,54	0,01	0,1	0,1	328
Santa Cruz do Sul	4,431	3,734	29,57	59,1	80,6	179.187	10.411	2.000	4,419	3,718	31,04	0,31	6,2	8,4	18.814
Santa Margarida do Sul	4,691	3,922	0,32	0,6	0,9	1.931	112	22	4,737	3,969	294,81	2,95	59,0	85,5	178.675
Santa Maria	4,419	3,699	44,60	89,2	120,5	270.273	15.702	3.017	4,433	3,708	379,69	3,80	75,9	102,8	230.117
Santa Maria do Herval	4,349	3,704	0,51	1,0	1,4	3.120	181	35	4,326	3,693	1,50	0,01	0,3	0,4	909
Santa Rosa	4,769	3,940	12,12	24,2	34,9	73.451	4.267	820	4,770	3,942	10,69	0,11	2,1	3,1	6.479
Santa Tereza	4,427	3,765	0,17	0,3	0,5	1.042	61	12	4,446	3,778	0,19	0,002	0,038	0,052	115
Santa Vitória do Palmar	4,401	3,735	5,74	11,5	15,7	34.773	2.020	388	4,406	3,746	798,48	7,98	159,7	218,4	483.929
Santana da Boa Vista	4,504	3,839	0,74	1,5	2,1	4.467	260	50	4,589	3,909	563,68	5,64	112,7	161,0	341.623
Sant'ana do Livramento	4,780	4,034	11,31	22,6	33,3	68.569	3.984	765	4,849	4,083	3.437,16	34,37	687,4	1.024,5	2.083.128
Santiago	4,838	4,067	11,73	23,5	34,8	71.089	4.130	794	4,857	4,071	975,94	9,76	195,2	290,2	591.481
Santo Ângelo	4,686	3,909	17,59	35,2	50,2	106.587	6.193	1.190	4,709	3,922	7,07	0,07	1,4	2,0	4.287
Santo Antônio da Patrulha	4,555	3,831	7,43	14,9	20,8	45.038	2.617	503	4,505	3,792	84,96	0,85	17,0	23,5	51.493
Santo Antônio das Missões	4,931	4,097	1,54	3,1	4,6	9.360	544	104	4,956	4,115	736,02	7,36	147,2	221,2	446.073
Santo Antônio do Palma	4,600	3,898	0,45	0,9	1,3	2.749	160	31	4,605	3,902	0,56	0,01	0,1	0,2	341
Santo Antônio do Planalto	4,686	3,948	0,97	1,9	2,8	5.869	341	66	4,642	3,916	1,35	0,01	0,3	0,4	821
Santo Augusto	4,577	3,826	3,46	6,9	9,7	20.940	1.217	234	4,589	3,839	0,26	0,003	0,053	0,074	160
Santo Cristo	4,794	3,966	1,93	3,9	5,6	11.684	679	130	4,810	3,976	6,93	0,07	1,4	2,0	4.202
Santo Expedito do Sul	4,758	4,021	0,28	0,6	0,8	1.713	100	19	4,747	4,012	2,34	0,02	0,5	0,7	1.420
São Borja	4,901	4,079	10,39	20,8	31,0	62.989	3.660	703	4,936	4,110	809,05	8,09	161,8	242,9	490.331
São Domingos do Sul	4,589	3,889	0,72	1,4	2,1	4.391	255	49	4,578	3,881	0,60	0,01	0,1	0,2	365
São Francisco de Assis	4,808	4,035	2,67	5,3	7,9	16.167	939	180	4,838	4,060	828,22	8,28	165,6	245,6	501.954
São Francisco de Paula	4,342	3,719	4,61	9,2	12,5	27.927	1.623	312	4,502	3,847	908,24	9,08	181,6	255,3	550.450
São Gabriel	4,680	3,902	11,12	22,2	31,7	67.396	3.916	752	4,685	3,920	1.899,33	18,99	379,9	543,9	1.151.107
São Jerônimo	4,350	3,626	3,31	6,6	8,8	20.056	1.165	224	4,385	3,675	262,61	2,63	52,5	70,5	159.157
São João da Urtiga	4,746	4,008	0,83	1,7	2,4	5.056	294	56	4,750	4,012	1,57	0,02	0,3	0,5	953
São João do Polésine	4,440	3,722	0,63	1,3	1,7	3.835	223	43	4,426	3,712	4,11	0,04	0,8	1,1	2.490
São Jorge	4,580	3,891	0,53	1,1	1,5	3.229	188	36	4,587	3,893	0,97	0,01	0,2	0,3	590
São José das Missões	4,706	3,940	0,14	0,3	0,4	856	50	10	4,705	3,940	0,09	0,001	0,017	0,025	52
São José do Herval	4,480	3,820	0,46	0,9	1,3	2.771	161	31	4,474	3,814	1,40	0,01	0,3	0,4	848
São José do Hortêncio	4,328	3,663	0,91	1,8	2,4	5.520	321	62	4,320	3,657	0,36	0,004	0,073	0,097	220
São José do Inhacorá	4,698	3,899	0,32	0,6	0,9	1.936	113	22	4,699	3,900	0,38	0,004	0,077	0,109	233
São José do Norte	4,382	3,732	5,77	11,5	15,7	34.942	2.030	390	4,430	3,778	443,46	4,43	88,7	122,4	268.766
São José do Ouro	4,697	3,979	1,43	2,9	4,1	8.645	502	97	4,693	3,976	7,48	0,07	1,5	2,2	4.532
São José do Sul	4,262	3,619	0,18	0,4	0,5	1.118	65	12	4,270	3,621	0,07	0,001	0,013	0,018	40
São José dos Ausentes	4,556	3,959	0,83	1,7	2,4	5.024	292	56	4,451	3,899	367,07	3,67	73,4	104,3	222.470
São Leopoldo	4,347	3,647	38,85	77,7	103,5	235.451	13.679	2.629	4,347	3,647	7,88	0,08	1,6	2,1	4.778
São Lourenço do Sul	4,333	3,687	6,11	12,2	16,5	37.031	2.151	413	4,314	3,673	558,91	5,59	111,8	150,0	338.733
São Luiz Gonzaga	4,942	4,100	4,52	9,0	13,5	27.409	1.592	306	4,908	4,074	206,64	2,07	41,3	61,5	125.235
São Marcos	4,435	3,779	6,09	12,2	16,8	36.938	2.146	412	4,533	3,849	20,11	0,20	4,0	5,7	12.187
São Martinho	4,649	3,870	1,59	3,2	4,5	9.611	558	107	4,641	3,866	0,21	0,002	0,043	0,060	129

Nome do Município	ÁREA APTA URBANA								ÁREA APTA NÃO URBANA						
	Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Integração para a área apta urbana do Estado com taxa de ocupação de 2 MW _p /km ² *						Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Área Total Disponível para Integração [km ²]	Integração para 1% da área apta não urbana do Estado com taxa de ocupação de 20 MW _p /km ² *			
			Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável Equivalente						Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável em Número Equivalente de Módulos de 330 W _p
						Número de Módulos de 330 W _p	Número Equivalente de Unidades Residenciais de 5,68 kW _p **	Número Equivalente de Unidades Comerciais de 29,56 kW _p **							
São Martinho da Serra	4,504	3,773	0,20	0,4	0,5	1.205	70	13	4,563	3,819	118,58	1,19	23,7	33,1	71.870
São Miguel das Missões	4,807	4,003	1,40	2,8	4,1	8.498	494	95	4,830	4,024	168,48	1,68	33,7	49,5	102.108
São Nicolau	4,922	4,079	0,60	1,2	1,8	3.627	211	40	4,933	4,087	148,47	1,48	29,7	44,3	89.982
São Paulo das Missões	4,868	4,027	0,63	1,3	1,8	3.796	221	42	4,910	4,058	8,29	0,08	1,7	2,5	5.023
São Pedro da Serra	4,233	3,615	0,66	1,3	1,7	3.987	232	45	4,251	3,627	0,08	0,001	0,015	0,021	47
São Pedro das Missões	4,698	3,933	0,12	0,2	0,4	742	43	8	4,699	3,933	0,08	0,001	0,017	0,024	51
São Pedro do Butiá	4,883	4,045	0,37	0,7	1,1	2.231	130	25	4,896	4,054	1,47	0,01	0,3	0,4	889
São Pedro do Sul	4,532	3,793	3,03	6,1	8,4	18.376	1.068	205	4,579	3,836	265,10	2,65	53,0	74,3	160.668
São Sebastião do Caí	4,289	3,625	5,45	10,9	14,4	33.060	1.921	369	4,319	3,643	1,96	0,02	0,4	0,5	1.187
São Sepé	4,557	3,834	4,59	9,2	12,8	27.807	1.616	310	4,591	3,867	517,42	5,17	103,5	146,2	313.586
São Valentim	4,736	3,995	0,63	1,3	1,8	3.796	221	42	4,751	4,006	0,13	0,001	0,026	0,039	80
São Valentim do Sul	4,444	3,779	0,50	1,0	1,4	3.044	177	34	4,437	3,774	0,15	0,002	0,031	0,043	94
São Valério do Sul	4,636	3,861	0,25	0,5	0,7	1.500	87	17	4,623	3,854	0,02	0,0002	0,0040	0,0056	12
São Vendelino	4,248	3,641	0,38	0,8	1,0	2.329	135	26	4,234	3,630	0,09	0,001	0,018	0,024	55
São Vicente do Sul	4,673	3,923	1,09	2,2	3,1	6.589	383	74	4,664	3,916	418,76	4,19	83,8	119,8	253.792
Sapiranga	4,337	3,667	16,38	32,8	43,9	99.262	5.767	1.108	4,353	3,675	9,19	0,09	1,8	2,5	5.572
Sapucaia do Sul	4,341	3,634	20,96	41,9	55,7	127.053	7.382	1.418	4,353	3,648	7,03	0,07	1,4	1,9	4.258
Sarandi	4,682	3,943	5,01	10,0	14,4	30.371	1.765	339	4,672	3,934	0,48	0,005	0,096	0,137	290
Seberi	4,679	3,898	2,31	4,6	6,6	13.996	813	156	4,680	3,900	0,27	0,003	0,053	0,076	162
Sede Nova	4,652	3,878	0,46	0,9	1,3	2.771	161	31	4,654	3,878	0,15	0,002	0,031	0,043	93
Segredo	4,719	3,960	0,72	1,4	2,1	4.391	255	49	4,632	3,902	0,82	0,01	0,2	0,2	495
Selbach	4,673	3,942	1,37	2,7	4,0	8.318	483	93	4,672	3,942	0,22	0,002	0,043	0,062	131
Senador Salgado Filho	4,757	3,944	0,29	0,6	0,8	1.773	103	20	4,765	3,950	0,49	0,005	0,097	0,140	294
Sentinel do Sul	4,266	3,597	0,27	0,5	0,7	1.658	96	19	4,217	3,556	70,02	0,70	14,0	18,2	42.436
Serafina Corrêa	4,603	3,900	3,53	7,1	10,1	21.398	1.243	239	4,579	3,884	0,87	0,01	0,2	0,2	525
Sério	4,336	3,705	0,25	0,5	0,7	1.544	90	17	4,358	3,717	0,23	0,002	0,046	0,063	140
Sertão	4,714	3,970	1,49	3,0	4,3	9.044	525	101	4,716	3,973	2,11	0,02	0,4	0,6	1.276
Sertão Santana	4,180	3,512	0,32	0,6	0,8	1.953	113	22	4,197	3,530	38,14	0,38	7,6	9,8	23.113
Sete de Setembro	4,745	3,941	0,26	0,5	0,8	1.604	93	18	4,746	3,942	0,98	0,01	0,2	0,3	595
Severiano de Almeida	4,802	4,047	0,46	0,9	1,4	2.787	162	31	4,791	4,040	1,20	0,01	0,2	0,4	728
Silveira Martins	4,464	3,736	0,47	0,9	1,3	2.853	166	32	4,449	3,725	0,74	0,01	0,1	0,2	447
Sinimbu	4,445	3,756	0,35	0,7	1,0	2.149	125	24	4,442	3,766	2,03	0,02	0,4	0,6	1.231
Sobradinho	4,723	3,963	2,90	5,8	8,4	17.553	1.020	196	4,698	3,944	0,67	0,01	0,1	0,2	406
Soledade	4,644	3,934	7,37	14,7	21,2	44.651	2.594	498	4,628	3,919	129,48	1,29	25,9	37,1	78.473
Tabaí	4,347	3,655	0,20	0,4	0,5	1.200	70	13	4,357	3,662	5,64	0,06	1,1	1,5	3.417
Tapejara	4,705	3,967	5,26	10,5	15,2	31.849	1.850	356	4,708	3,968	1,10	0,01	0,2	0,3	668
Tapera	4,661	3,937	2,63	5,3	7,6	15.922	925	178	4,664	3,938	0,45	0,005	0,091	0,131	275
Tapes	4,301	3,618	3,35	6,7	8,8	20.280	1.178	226	4,276	3,594	100,68	1,01	20,1	26,4	61.017
Taquara	4,423	3,740	10,15	20,3	27,7	61.505	3.573	687	4,445	3,750	51,12	0,51	10,2	14,0	30.981
Taquari	4,356	3,653	4,56	9,1	12,2	27.649	1.606	309	4,353	3,652	43,07	0,43	8,6	11,5	26.101
Taquaruçu do Sul	4,678	3,894	0,55	1,1	1,6	3.349	195	37	4,675	3,892	0,04	0,0004	0,0076	0,0107	23
Tavares	4,689	3,991	0,70	1,4	2,0	4.216	245	47	4,670	3,976	157,51	1,58	31,5	45,7	95.463
Tenente Portela	4,659	3,882	2,49	5,0	7,1	15.071	876	168	4,660	3,881	0,16	0,002	0,033	0,046	99
Terra de Areia	4,329	3,724	2,85	5,7	7,7	17.247	1.002	193	4,343	3,732	42,47	0,42	8,5	11,6	25.741
Teutônia	4,413	3,725	7,37	14,7	20,1	44.678	2.596	499	4,417	3,728	0,63	0,01	0,1	0,2	381
Tio Hugo	4,648	3,925	1,15	2,3	3,3	6.960	404	78	4,643	3,923	1,31	0,01	0,3	0,4	795
Tiradentes do Sul	4,618	3,852	0,43	0,9	1,2	2.602	151	29	4,620	3,851	1,08	0,01	0,2	0,3	653
Toropi	4,591	3,852	0,45	0,9	1,3	2.711	158	30	4,607	3,867	17,27	0,17	3,5	4,9	10.464
Torres	4,404	3,751	17,83	35,7	48,8	108.033	6.277	1.206	4,327	3,707	14,45	0,14	2,9	3,9	8.757
Tramandaí	4,545	3,828	5,95	11,9	16,6	36.033	2.093	402	4,481	3,778	22,15	0,22	4,4	6,1	13.425
Travesseiro	4,405	3,738	0,18	0,4	0,5	1.069	62	12	4,405	3,742	0,52	0,01	0,1	0,1	315

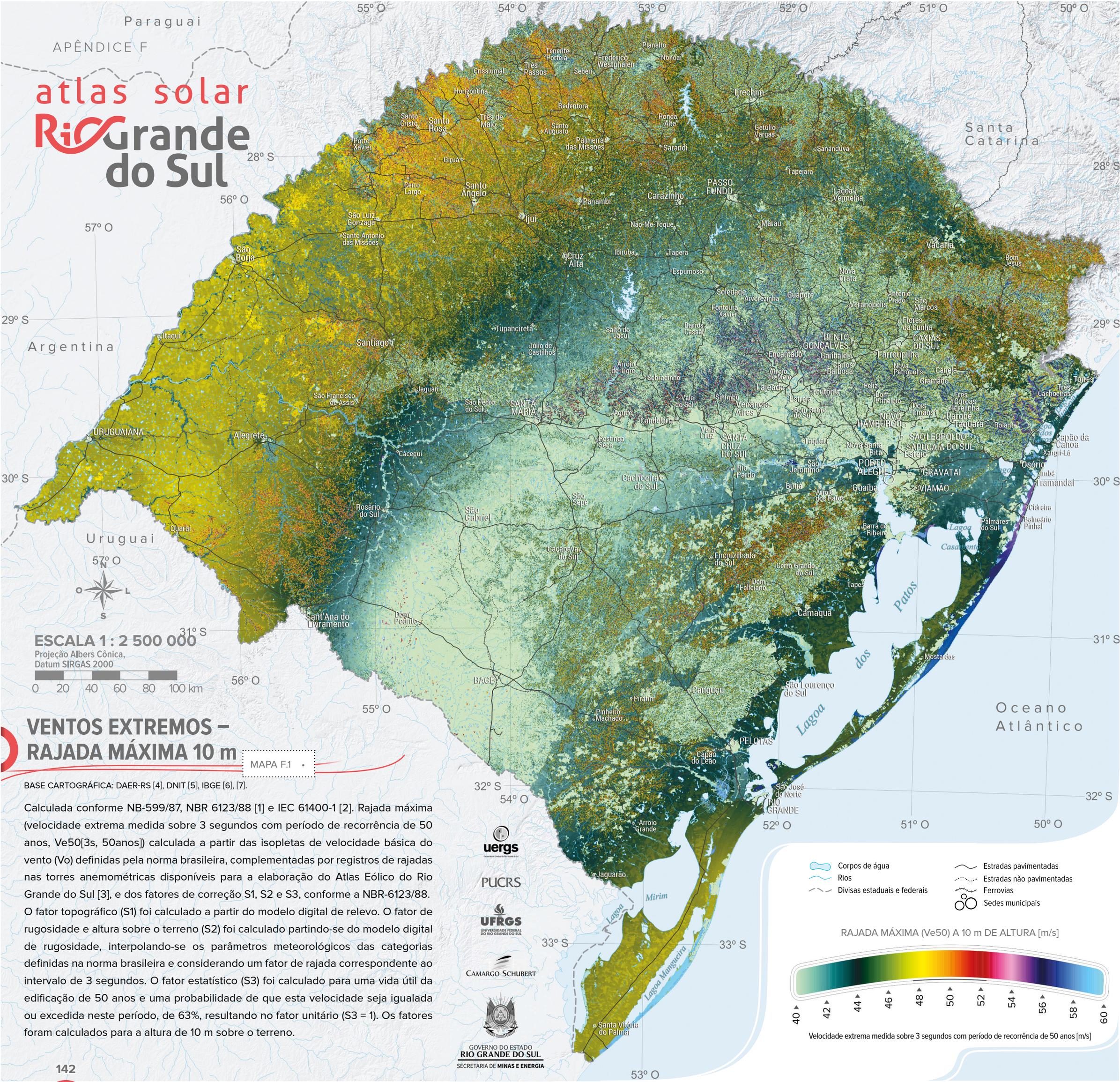
Nome do Município	ÁREA APTA URBANA								ÁREA APTA NÃO URBANA						
	Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Integração para a área apta urbana do Estado com taxa de ocupação de 2 MW _p /km ² *						Irradiação Global Horizontal Média [kWh/m ² /dia]	Produtividade Fotovoltaica Média [kWh/kW _p /dia]	Área Total Disponível para Integração [km ²]	Integração para 1% da área apta não urbana do Estado com taxa de ocupação de 20 MW _p /km ² *			
			Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável Equivalente						Área Efetivamente Integrada [km ²]	Capacidade Instalável Teórica [MW _p]	Produtividade Fotovoltaica Média [GWh/ano]	Capacidade Instalável em Número Equivalente de Módulos de 330 W _p
						Número de Módulos de 330 W _p	Número Equivalente de Unidades Residenciais de 5,68 kW _p **	Número Equivalente de Unidades Comerciais de 29,56 kW _p **							
Três Arroios	4,796	4,042	0,42	0,8	1,2	2.525	147	28	4,793	4,039	0,65	0,01	0,1	0,2	391
Três Cachoeiras	4,212	3,645	2,02	4,0	5,4	12.240	711	137	4,237	3,664	10,74	0,11	2,1	2,9	6.508
Três Coroas	4,320	3,683	4,36	8,7	11,7	26.400	1.534	295	4,293	3,673	2,49	0,02	0,5	0,7	1.507
Três de Maio	4,760	3,939	4,19	8,4	12,1	25.385	1.475	283	4,759	3,939	4,80	0,05	1,0	1,4	2.907
Três Forquilhas	4,228	3,671	0,17	0,3	0,5	1.020	59	11	4,173	3,647	6,50	0,06	1,3	1,7	3.938
Três Palmeiras	4,669	3,935	1,00	2,0	2,9	6.065	352	68	4,681	3,942	0,08	0,001	0,017	0,024	51
Três Passos	4,611	3,849	6,64	13,3	18,7	40.238	2.338	449	4,616	3,851	0,36	0,004	0,073	0,103	221
Trindade do Sul	4,678	3,934	1,29	2,6	3,7	7.833	455	87	4,689	3,943	0,18	0,002	0,036	0,052	110
Triunfo	4,297	3,590	6,78	13,6	17,8	41.089	2.387	459	4,302	3,601	155,24	1,55	31,0	40,8	94.083
Tucunduva	4,775	3,946	0,75	1,5	2,2	4.565	265	51	4,773	3,946	0,88	0,01	0,2	0,3	531
Tunas	4,660	3,925	0,30	0,6	0,9	1.811	105	20	4,653	3,927	4,03	0,04	0,8	1,2	2.445
Tupanci do Sul	4,682	3,970	0,23	0,5	0,7	1.396	81	16	4,694	3,977	2,12	0,02	0,4	0,6	1.282
Tupanciretã	4,729	3,954	4,64	9,3	13,4	28.102	1.633	314	4,721	3,950	257,09	2,57	51,4	74,2	155.815
Tupandi	4,218	3,593	1,06	2,1	2,8	6.442	374	72	4,229	3,599	0,06	0,001	0,012	0,015	35
Tuparendi	4,810	3,966	1,12	2,2	3,3	6.807	395	76	4,797	3,960	3,66	0,04	0,7	1,1	2.217
Turuçu	4,295	3,674	0,40	0,8	1,1	2.427	141	27	4,295	3,674	63,17	0,63	12,6	17,0	38.285
Ubiretama	4,798	3,976	0,20	0,4	0,6	1.238	72	14	4,799	3,976	0,62	0,01	0,1	0,2	374
União da Serra	4,576	3,876	0,26	0,5	0,7	1.549	90	17	4,571	3,873	0,41	0,004	0,082	0,116	249
Unistalda	4,917	4,115	0,21	0,4	0,6	1.282	74	14	4,919	4,116	269,02	2,69	53,8	80,9	163.043
Uruguaiana	4,930	4,117	17,09	34,2	51,4	103.571	6.017	1.156	4,932	4,122	2.294,02	22,94	458,8	690,6	1.390.313
Vacaria	4,519	3,858	17,03	34,1	48,0	103.216	5.997	1.152	4,531	3,863	354,23	3,54	70,8	100,0	214.683
Vale do Sol	4,415	3,728	0,59	1,2	1,6	3.595	209	40	4,440	3,743	5,22	0,05	1,0	1,4	3.162
Vale Real	4,228	3,621	1,00	2,0	2,6	6.038	351	67	4,240	3,635	0,28	0,003	0,057	0,076	172
Vale Verde	4,468	3,755	0,14	0,3	0,4	818	48	9	4,422	3,714	66,77	0,67	13,4	18,1	40.467
Vanini	4,630	3,920	0,47	0,9	1,3	2.820	164	31	4,615	3,909	0,25	0,003	0,050	0,071	152
Venâncio Aires	4,399	3,717	12,13	24,3	32,9	73.538	4.272	821	4,408	3,717	19,19	0,19	3,8	5,2	11.629
Vera Cruz	4,410	3,718	5,05	10,1	13,7	30.600	1.778	342	4,435	3,735	11,08	0,11	2,2	3,0	6.717
Veranópolis	4,414	3,767	5,45	10,9	15,0	33.027	1.919	369	4,407	3,761	1,95	0,02	0,4	0,5	1.182
Vespasiano Corrêa	4,450	3,787	0,32	0,6	0,9	1.931	112	22	4,453	3,790	0,26	0,003	0,052	0,072	158
Viadutos	4,781	4,029	1,07	2,1	3,1	6.458	375	72	4,764	4,019	5,53	0,06	1,1	1,6	3.351
Viamão	4,271	3,567	27,46	54,9	71,5	166.396	9.667	1.858	4,354	3,642	183,84	1,84	36,8	48,9	111.421
Vicente Dutra	4,684	3,898	0,53	1,1	1,5	3.202	186	36	4,690	3,904	0,05	0,001	0,010	0,014	31
Victor Graeff	4,658	3,935	0,66	1,3	1,9	3.971	231	44	4,653	3,927	0,23	0,002	0,045	0,065	137
Vila Flores	4,448	3,785	1,04	2,1	2,9	6.289	365	70	4,458	3,792	1,40	0,01	0,3	0,4	847
Vila Lângaro	4,659	3,930	0,23	0,5	0,7	1.375	80	15	4,658	3,930	0,42	0,004	0,083	0,120	253
Vila Maria	4,622	3,912	1,22	2,4	3,5	7.402	430	83	4,625	3,912	0,58	0,01	0,1	0,2	349
Vila Nova do Sul	4,749	3,992	0,75	1,5	2,2	4.555	265	51	4,744	3,987	175,91	1,76	35,2	51,2	106.611
Vista Alegre	4,673	3,890	0,43	0,9	1,2	2.624	152	29	4,674	3,890	0,08	0,001	0,017	0,024	51
Vista Alegre do Prata	4,474	3,809	0,24	0,5	0,7	1.456	85	16	4,477	3,811	0,66	0,01	0,1	0,2	398
Vista Gaúcha	4,672	3,881	0,43	0,9	1,2	2.602	151	29	4,672	3,881	0,05	0,001	0,010	0,014	31
Vitória das Missões	4,764	3,961	0,38	0,8	1,1	2.291	133	26	4,785	3,980	9,14	0,09	1,8	2,7	5.540
Westfália	4,361	3,699	0,70	1,4	1,9	4.222	245	47	4,357	3,700	0,06	0,001	0,012	0,016	37
Xangri-Lá	4,522	3,831	17,43	34,9	48,8	105.649	6.138	1.179	4,511	3,824	20,79	0,21	4,2	5,8	12.598

* CONSIDERA A PRODUTIVIDADE FOTOVOLTAICA NA INCLINAÇÃO DE 20° E ORIENTAÇÃO PARA O NORTE.

** VALOR MÉDIO CARACTERÍSTICO DA CAPACIDADE INSTALADA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL ATÉ AGOSTO/2018.

atlas solar

Rio Grande do Sul



VENTOS EXTREMOS – RAJADA MÁXIMA 10 m

MAPA F.1

BASE CARTOGRÁFICA: DAER-RS [4], DNIT [5], IBGE [6], [7].

Calculada conforme NB-599/87, NBR 6123/88 [1] e IEC 61400-1 [2]. Rajada máxima (velocidade extrema medida sobre 3 segundos com período de recorrência de 50 anos, $Ve_{50}(3s, 50anos)$) calculada a partir das isopletas de velocidade básica do vento (V_0) definidas pela norma brasileira, complementadas por registros de rajadas nas torres anemométricas disponíveis para a elaboração do Atlas Eólico do Rio Grande do Sul [3], e dos fatores de correção S_1 , S_2 e S_3 , conforme a NBR-6123/88. O fator topográfico (S_1) foi calculado a partir do modelo digital de relevo. O fator de rugosidade e altura sobre o terreno (S_2) foi calculado partindo-se do modelo digital de rugosidade, interpolando-se os parâmetros meteorológicos das categorias definidas na norma brasileira e considerando um fator de rajada correspondente ao intervalo de 3 segundos. O fator estatístico (S_3) foi calculado para uma vida útil da edificação de 50 anos e uma probabilidade de que esta velocidade seja igualada ou excedida neste período, de 63%, resultando no fator unitário ($S_3 = 1$). Os fatores foram calculados para a altura de 10 m sobre o terreno.

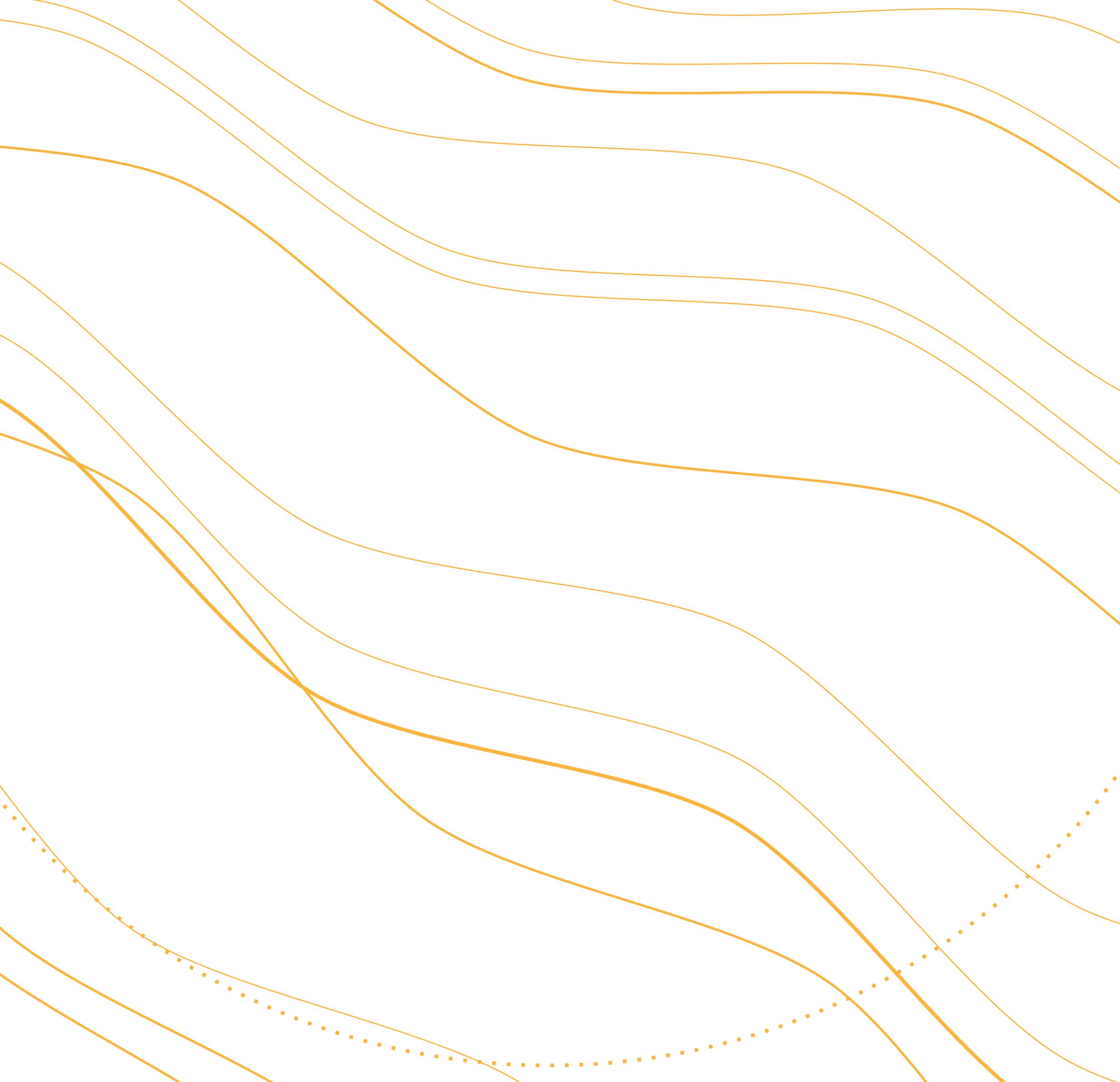


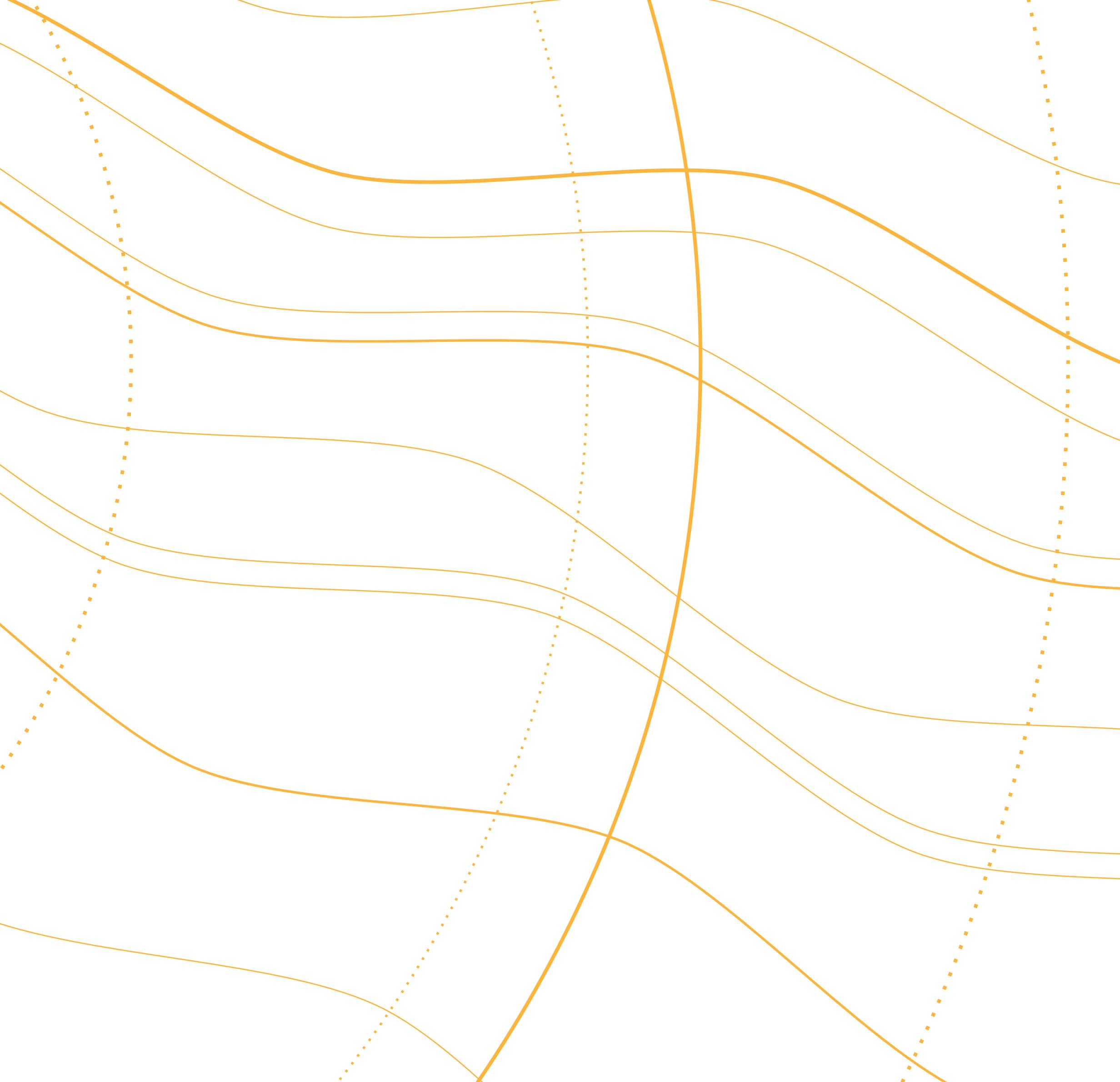
- Corpos de água
- Rios
- Divisas estaduais e federais
- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovias
- Sedes municipais

RAJADA MÁXIMA (Ve_{50}) A 10 m DE ALTURA [m/s]

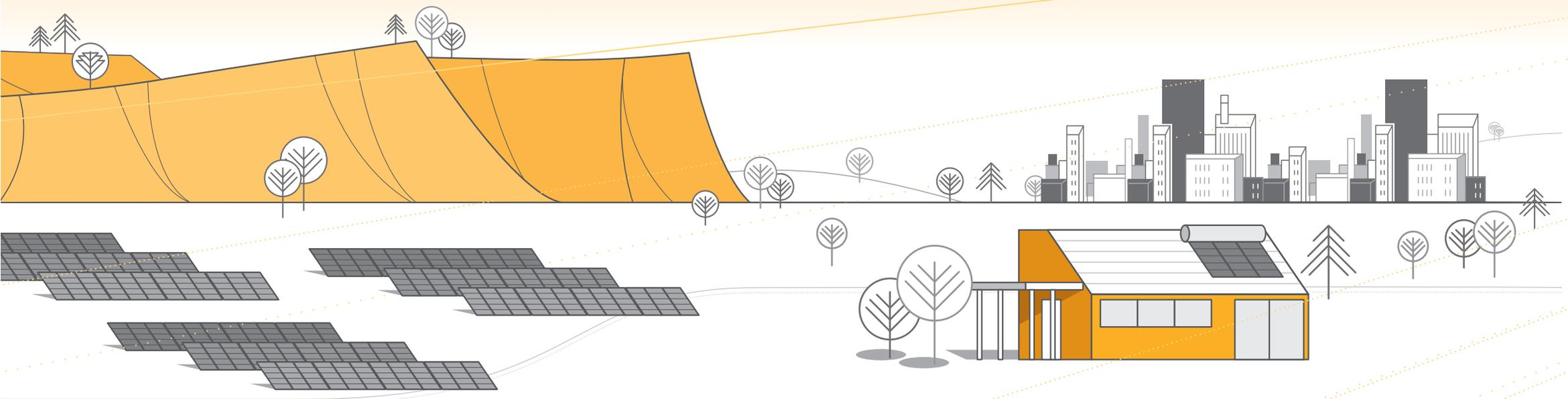












GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-67342-04-7



9 788567 342047