

## Base de dados climático-ambientais aplicados ao setor energético - Projeto SONDA

Fernando Ramos Martins<sup>1</sup>  
Enio Bueno Pereira<sup>1</sup>  
Cristina Yamashita<sup>1</sup>  
Silvia Vitorino Pereira<sup>1</sup>  
Sylvio Luiz Mantelli Neto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil.  
{fernando, enio, cristina, silviavp}@dge.inpe.br

<sup>2</sup>Laboratório de Energia Solar/Universidade Federal de Santa Catarina – LABSOLAR/UFSC.  
Caixa Postal 476 - 88040-900 - Florianópolis - SC, Brasil.  
sylvio@emc.ufsc.br

**Abstract.** This paper describes the SONDA project devised to improve our national capacity for the assessment of solar and wind energy resources and to help investors, stakeholders, and government at decision level, in the development of solar and wind energy projects. The SONDA network was designed to provide high quality environmental data from acquisition sites located in characteristic climatic regions of Brazil. This database is to be used in the development and for validation of models to estimate solar and wind energy resources as well as to study resources variability and climate impacts. The database from SONDA is freely available to public access and can be downloaded from [www.cptec.inpe.br/sonda](http://www.cptec.inpe.br/sonda). Besides that, a simplified GIS tool has been implemented in the website to integrate field measurements, energy resources and geographical and socio-economic data to help users in comparing different scenarios for energy planning and for investment decisions.

**Palavras-chave:** remote sensing, environmental data, GIS, sensoriamento remoto, coleta de dados ambientais, GIS.

### 1. Introdução

O terceiro relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2001) concluiu que mudanças climáticas estão ocorrendo em nosso planeta em decorrência das atividades humanas e do modo de vida. O consumo elevado de combustíveis fósseis é mencionado como um dos principais fatores causadores dessas mudanças. Esse mesmo documento apresenta a necessidade de implementação de fontes alternativas para a produção de energia num período de 20 anos a fim de reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa.

O planejamento energético a médio e longo prazo necessita de informações confiáveis sobre recursos energéticos disponíveis. A falta de informações sobre a variabilidade, tendências e fatores que influenciam a disponibilidade de recursos renováveis é a principal barreira para a adoção e o investimento no desenvolvimento de projetos de produção de energia utilizando fontes renováveis de energia tais como a energia solar e a eólica. Sem informações confiáveis, os investidores tendem a evitar os riscos associados ao desenvolvimento de projetos que adotam essas fontes de energia.

O principal objetivo do projeto SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais para o setor de energia) é compilar e disponibilizar para a sociedade brasileira uma base de dados que integre dados sócio-econômicos (distribuição de infra-estrutura, distribuição de renda, atividades econômicas), ambientais (albedo, vegetação, rugosidade, meteorologia, etc.) e dados solares e eólicos de alta qualidade obtidos em campo ou fornecidos por modelos computacionais que possam dar o suporte necessário para o planejamento e desenvolvimento de projetos que incluam o uso de nossos recursos de energia solar e eólica.

## 2. Projeto SONDA

O projeto SONDA é um projeto ligado à área de pesquisas em clima e meteorologia, mas com um enfoque direcionado ao suporte de atividades na área de energias renováveis. O projeto tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma base de dados completa, integrada e de alta confiabilidade que contemple as necessidades dos setores da sociedade envolvidos com a pesquisa, o desenvolvimento, o planejamento e o investimento em uso e aplicações de energia renováveis, principalmente, a energia solar e eólica. Para isso, foram estabelecidas as seguintes metas com o intuito de garantir que o objetivo seja alcançado:

- a) implementação de uma rede de coleta de dados meteorológicos, ambientais e de recursos solar e eólico;
- b) desenvolvimento de uma base de dados que integre informações sócio-econômicas, dados climático-ambientais e de disponibilidade de recursos solar e eólico;
- c) disponibilização do acesso à base de dados ao público de modo que seja possível a realização de pesquisas por meio de associação das diversas variáveis disponíveis com a finalidade de produzir informações em conformidade com a necessidade do usuário;
- d) formação de recursos humanos por meio de treinamento técnico e formação acadêmica tais como desenvolvimento de pesquisas de mestrado e doutorado.

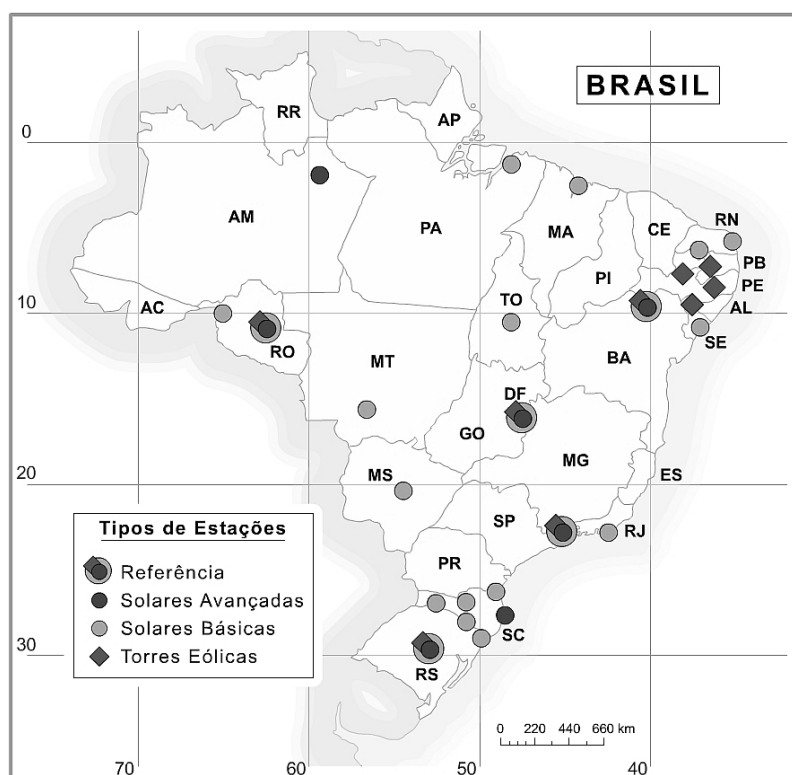
### 2.1 Rede de coleta de dados em superfície

A primeira meta do SONDA é o estabelecimento de uma rede de alta confiabilidade para a coleta de dados meteorológicos solares e eólicos em superfície. Os dados obtidos com o uso desta rede poderão ser utilizados como “verdade terrestre” em etapas de desenvolvimento, implementação, refinamento e validação de modelos computacionais desenvolvidos para estimar os recursos energéticos solar e eólico com o uso de informações obtidas por satélites meteorológicos ou modelos meteorológicos de meso-escala.

Além disso, a base de dados gerada pela rede SONDA possibilitará o desenvolvimento de estudos e pesquisas sobre impactos sobre os recursos solar e eólico (variabilidade, incertezas, tendências) em função de ações antropogênicas e de suas conseqüentes mudanças climáticas.

A Figura 1 mostra a localização de todas as estações de superfície da rede SONDA. A Tabela 1 apresenta uma breve descrição de cada uma das estações que estão classificadas em quatro categorias: (a) estações de **REFERÊNCIA**, (b) estações **SOLARIMÉTRICAS COMPLETAS**, (c) estações **SOLARIMÉTRICAS BÁSICAS** e (d) estações **EÓLICAS**. A Tabela 2 mostra a configuração mínima para cada uma das categorias.

A categoria **REFERÊNCIA** possui cinco estações que estão configuradas para produzir uma ampla gama de dados de “verdade terrestre” a serem utilizados primariamente no desenvolvimento, melhoramento, implantação e validação de modelos computacionais para estimar os recursos energéticos solares a partir de dados de satélite ou eólicos a partir de outras metodologias (WAsP, MesoMap, modelos de meso-escala, etc.). Pela sua configuração, estas estações se prestam também para estudos mais amplos, de caráter climático e ambiental, tais como estudos sobre mudanças climáticas, impactos ambientais, poluição, etc. Importante lembrar que tais estações poderão ser também muito úteis na validação de outras metodologias de interpretação e correção óptica de imagens de satélite de sensoriamento remoto da Terra e da atmosfera, como por exemplo aquelas provenientes da série de satélites sino-brasileiros CIBERS. A localização destas estações foi realizada de modo a representar as principais áreas climáticas e ambientais do Brasil: o semi-árido do nordeste, a região amazônica, o planalto central e a região sul e sudeste do país. Estas estações já integram a rede mundial AERONET (**A**Erosol **R**obotic **N**etwork - [http://aeronet.gsfc.nasa.gov/photo\\_db/site\\_index.html/](http://aeronet.gsfc.nasa.gov/photo_db/site_index.html/)) de fotômetros solares e estão sendo submetidas para passarem a integrar também a rede BSRN (**B**aseline **S**olar **R**adiation Network - <http://bsrn.ethz.ch/>).



**Figura 1.** Mapa de localização de todas as estações da rede SONDA.

As duas estações na categoria **SOLARIMÉTRICAS COMPLETAS** já fazem parte da rede BSRN e seguem procedimentos estritos de padronização, manutenção e qualificação de dados para atender os requisitos estabelecidos pela “World Meteorological Organization” (WMO) para a rede solarimétrica. Ambas as estações realizam medidas de irradiação solar global, direta e difusa; radiação fotosinteticamente ativa (PAR); iluminância e dados meteorológicos básicos (pressão, temperatura, umidade relativa e precipitação). A categoria **SOLAR BÁSICA** conta atualmente com seis estações em operação: Caicó(RN), Campo Grande(MS), Cuiabá(MT), Lebon Regis(SC), Sombrio(SC) e Joinville(SC). Duas estações ainda se encontram na fase de projeto, enquanto as demais deverão estar em operação até meados de 2005. As estações desta categoria não fazem aquisição de irradiação solar direta. Apesar de os procedimentos da WMO estabelecidos para as estações BSRN não serem completamente adotados para estas estações, os dados medidos nestas estações são de grande qualidade e desempenham papel importante na medida em que contribuem para ampliar a área do território nacional dotada do suporte operacional de “verdade terrestre” para dados de satélite e também contribuem para avaliação do desempenho dos modelos computacionais de transferência radiativa em condições atmosféricas e ambientais extremas tais como aquelas encontradas no sertão nordestino (ou na região amazônica) onde a persistência de céu claro (ou céu encoberto) dificulta a determinação do parâmetro de índice de cobertura efetiva de nuvens, normalmente empregado por esses modelos. As estações desta categoria também serão de grande importância no estudo e desenvolvimento de uma parametrização para a influência dos aerossóis de queimada na disponibilidade de radiação solar na superfície durante a estação seca (maio a outubro). As regiões central e amazônica são apontadas por estudos anteriores como aquelas que recebem maior irradiação solar no Brasil apesar de apresentarem a maior quantidade de focos de queimadas determinados com uso de satélites (Colle e Pereira, 1998; Setzer *et al.*, 1994). A confiabilidade desses resultados pode estar prejudicada uma vez que os modelos de transferência radiativa em uso nos dias de hoje ainda

não levam em consideração a contribuição desses aerossóis na determinação da transmitância atmosférica (Martins, 2001, Pereira *et al.*, 2000).

**Tabela 1.** Dados básicos de todas as estações da rede SONDA.

<b>Categoria</b>	<b>Localização</b>	<b>ID</b>	<b>Latitude/ Longitude</b>	<b>Altitude (m)</b>
<b>Referência</b>	Brasília/DF	BRB	15°36' S/47°42' O	1023
	São Martinho da Serra/RS	SMS	29°26' S/53°49' O	489
	Ouro Preto d'Oeste/RO	OPO	10°52' S/61°58' O	200
	Petrolina/PE	PTR	09°04' S/40°19' O	387
	Cachoeira Paulista/SP	CPA	22°39' S/45°00' O	574
<b>Solar Completa</b>	Florianópolis/SC	FLN	27° 36' S/48°30' O	12
	Balbina /AM	BAB	01°55' S/59°25' O	230
<b>Solar Básica</b>	Aracaju/SE	AJU	10°54' S/37°04' O	4
	Caicó /RN	CAI	06°28' S/37°05' O	176
	Natal/RN	NAT	05°50' S/35°12' O	50
	Cuiabá/MT	CBA	15°33' S/56°04' O	185
	Campo Grande/MS	CGR	20°26' S/54°32' O	677
	Campos Novos/SC	CPN	in project	
	Chapecó/SC	XAP	27°04' S/52°36' O	700
	Joinville/SC	JOI	26°15' S/48°51' O	48
	Lebon Regis/SC	LEB	26°59' S/50°42' O	1036
	Sombrio/SC	SBR	29°05' S/49°48' O	15
	São Luiz/MA	SLZ	02°35' S/44°12' O	40
	Palmas/TO	PMA	10°10' S/48°21' O	216
	Belém/PA	BEL	01°28' S/48°27' O	
	Nova Mamoré/RO	NOM	10°18' S/65°11' O	91
Região dos Lagos/RJ		in project		
<b>Eólica</b>	Rio de Janeiro		in project	
	Santa Catarina		in project	
	Piranhas/PE	PIR	9° 37' S/37° 46' O	203
	Belo Jardim/PE	BJD	8° 22' S/36° 25' O	718
	Triunfo/PE	TRI	7° 49' S/38° 07' O	1123
	São João do Cariri/PB	SCR	7° 22' S/36° 31' O	486

A categoria **EÓLICA** tem como função principal fornecer dados de vento (velocidade e direção) para serem utilizados na comparação com modelos climáticos e na validação de mapas eólicos. As estações são compostas por torres verticais de 50m de altura com instrumentos para medida de temperatura, de direção e velocidade de vento a 25m e 50m de altura em relação ao solo. Instrumentação semelhante está presente nas estações de referência. Das seis estações apresentadas na Tabela 2, quatro já se encontram em operação e as duas restantes estão em fase de importação da instrumentação.

Os dados obtidos em cada uma das estações são transferidos via rede ou telefonia para a central de coleta de dados localizada no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) em Cachoeira Paulista. Os dados qualificados gerados por todas as estações da rede SONDA estão sendo arquivados seguindo procedimentos específicos que visam garantir o controle de qualidade e a confiabilidade dos dados. O banco de dados será brevemente disponibilizado para acesso ao público em diversas mídias (website, ftp, CD, etc.). Além disso, o website disponibilizará ferramentas GIS para análise e associação das informações sobre os recursos solar e eólico com as de infraestrutura, sócio-econômicas, topográficas e climático-ambientais com o objetivo oferecer cenários de potenciais de aproveitamento desses recursos renováveis de maneira a fomentar o uso de fontes renováveis de energia e para o suporte ao planejamento e processos decisórios sobre investimento na área energética.

**Tabela 2.** Configuração mínima de cada categoria de estações na rede SONDA.

Sensores	Categoria			
	Referência	Solar Completa	Solar Básica	Eólica
Fotômetro Solar (LIDAR)	x			
Imageador do céu	x			
Rastreador Solar	x	x		
Radiação Global (piranômetro)	x	x	x	
Radiação Difusa (piranômetro)	x	x	x	
Radiação Direta (pirheliômetro)	x	x		
Ondas Longas	x	x		
Radiação PAR	x	x	x	
Iluminância	x	x	x	
Temperatura	x	x	x	
Umidade Relativa	x	x	x	
Pressão	x	x	x	
Pluviômetro	x	x	x	
Anemômetro à 10m	x	x	x	
Anemômetro at 25m	x			x
Anemômetro at 50m	x			x
Temperatura at 1m	x			
Temperatura at 25m	x			x
Temperatura at 50m	x			x

## 2.2 Base de dados integrada

O desenvolvimento da base de dados integrada teve como principal objetivo tornar possível a sobreposição de informações que permitam o desenvolvimento da análise de cenários que permitam a avaliação da viabilidade de investimentos e projetos envolvendo o uso de energia solar e eólica. A Tabela 3 apresenta as informações disponibilizadas para acesso público no website da rede SONDA ([www.cptec.inpe.br/sonda](http://www.cptec.inpe.br/sonda)) e as restrições a cada informadispôvel. Além dos dados climático-ambientais coletados em todas as estações da rede SONDA, o usuário encontra os mapas de irradiação solar mensal (global, direta, difusa, em plano inclinado e PAR) produzidos com o uso do modelo de transferência radiativa BRASIL-SR. O mapa eólico brasileiro desenvolvido pelo CRESESB/CEPEL (Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito/Centro de Pesquisas em Energia Elétrica) (Amarante *et al.*, 2001) também está disponível para consulta, assim como dados estatísticos elaborados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) sobre diversas variáveis

sócio-econômicas. As informações sobre a infraestrutura obtidas junto às instituições responsáveis também estão disponíveis, mas apresentam níveis de restrição ao acesso em conformidade com as instruções do provedor das informações.

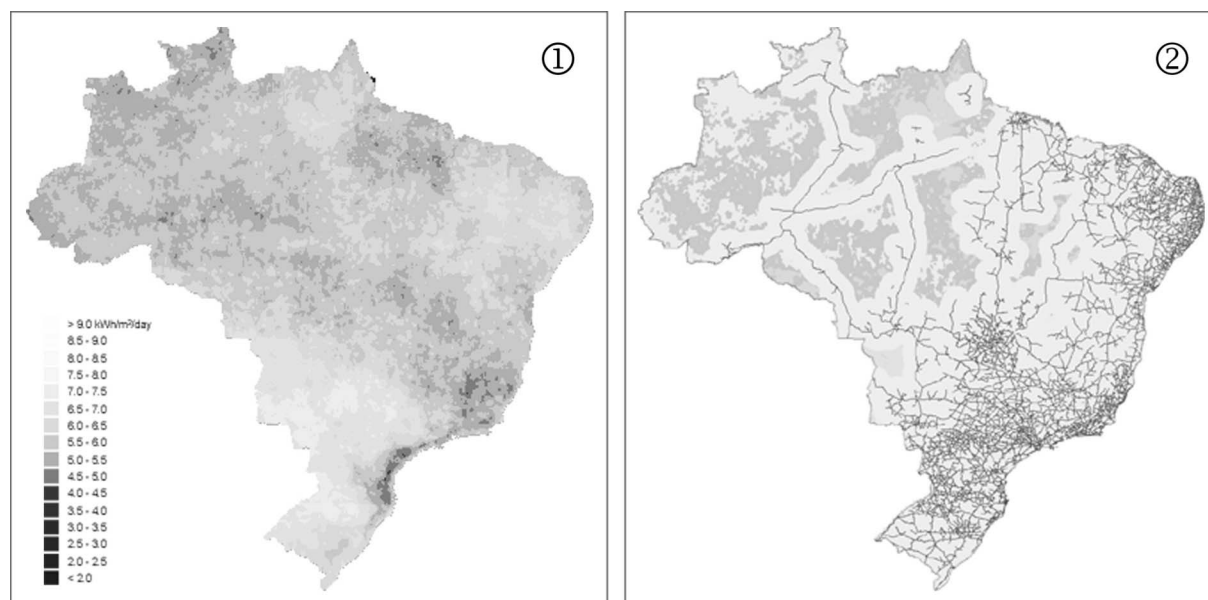
**Tabela 3.** Dados disponibilizados para acesso público no website da rede SONDA. As fontes das informações não geradas pela rede SONDA estão claramente informadas no website bem como as instruções para as citações dos dados em trabalhos e publicações.

<b>Id</b>	<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>	<b>Restrição de acesso</b>	<b>Restrição de uso</b>
01	Climático-ambiental	Altitude	Sem restrições	Citação da fonte
02	Climático-ambiental	Uso do Solo	Sem restrições	Citação da fonte
03	Climático-ambiental	Umidade Relativa	Sem restrições	Citação da fonte
04	Climático-ambiental	Albedo de superfície	Sem restrições	Citação da fonte
05	Climático-ambiental	Temperatura	Sem restrições	Citação da fonte
06	Climático-ambiental	Visibilidade	Sem restrições	Citação da fonte
07	Recurso Solar	Irradiação Solar Global	Sem restrições	Citação da fonte
08	Recurso Solar	Irradiação Solar Difusa	Sem restrições	Citação da fonte
09	Recurso Solar	Irradiação Solar Direta	Sem restrições	Citação da fonte
10	Recurso Solar	Irradiação Solar PAR	Sem restrições	Citação da fonte
11	Recurso Solar	Irradiação Solar no plano inclinado	Sem restrições	Citação da fonte
12	Recurso eólico	Velocidade do Vento	Sem restrições	Citação da fonte
13	Recurso eólico	Densidade de potência eólica	Sem restrições	Citação da fonte
14	Recurso eólico	Parâmetro de Weibull (K)	Sem restrições	Citação da fonte
15	Recurso eólico	Classe de potência do Vento	Sem restrições	Citação da fonte
16	Recurso eólico	Potência do Vento em uma direção	Sem restrições	Citação da fonte
17	Hidrologia	Lagos, reservatórios, principais rios	Sem restrições	No restrictions
18	Áreas Protegidas	Parques, reservas e estações ecológicas	Sem restrições	Citação da fonte
19	Áreas Protegidas	Florestas, Áreas de proteção ambiental	Sem restrições	Citação da fonte
20	Administrativos	Limites Municipais	Sem restrições	Sem restrições
21	Administrativos	Limites Estaduais	Sem restrições	Sem restrições
22	Administrativos	Fronteiras Nacionais	Sem restrições	Sem restrições
23	Administrativos	Instalações (hospitais, escolas)	Sem restrições	Sem restrições
24	Hidrologia	Rios, riachos	Sem restrições	Sem restrições
25	Hidrologia	Áreas de alagamento	Sem restrições	Sem restrições
26	Infraestrutura/Transporte	Ferrovias em uso	Somente consulta	Restrito ao INPE
27	Infraestrutura/Transporte	Ferrovias planejadas	Somente consulta	Restrito ao INPE
28	Infraestrutura/Transporte	Rodovias em construção	Somente consulta	Restrito ao INPE
29	Infraestrutura/Transporte	Rodovias sem pavimentação	Somente consulta	Restrito ao INPE
30	Infraestrutura/Transporte	Rodovias em pavimentação	Somente consulta	Restrito ao INPE
31	Infraestrutura/Transporte	Rodovias pavimentadas	Somente consulta	Restrito ao INPE
32	Infraestrutura/Transporte	Rodovias planejadas	Somente consulta	Restrito ao INPE
33	Infraestrutura/Energia	Gasoduto Brasil-Bolívia	Citação da fonte	Restrito ao INPE
34	Infraestrutura/Energia	Gasodutos	Citação da fonte	Restrito ao INPE
35	Infraestrutura/Energia	Oleodutos	Citação da fonte	Restrito ao INPE
36	Infraestrutura/Energia	Linhas de Transmissão	Citação da fonte	Restrito ao INPE
37	Infraestrutura/Energia	Plantas de Geração de Energia Elétrica	Sem restrições	Citação da fonte
38	Infraestrutura/Energia	Sub-estações	Citação da fonte	Restrito ao INPE
39	Infraestrutura/Transporte	Aeroportos	Sem restrições	Sem restrições
40	Infraestrutura/Energia	Refinarias de Petróleo	Citação da fonte	Restrito ao INPE
41	Infraestrutura/Energia	Terminais de Gás e Petróleo	Citação da fonte	Restrito ao INPE
42	Infraestrutura/Energia	Unidade de Processamento de Gás Natural	Citação da fonte	Restrito ao INPE
43	Administrativos	Cidades	Sem restrições	Sem restrições

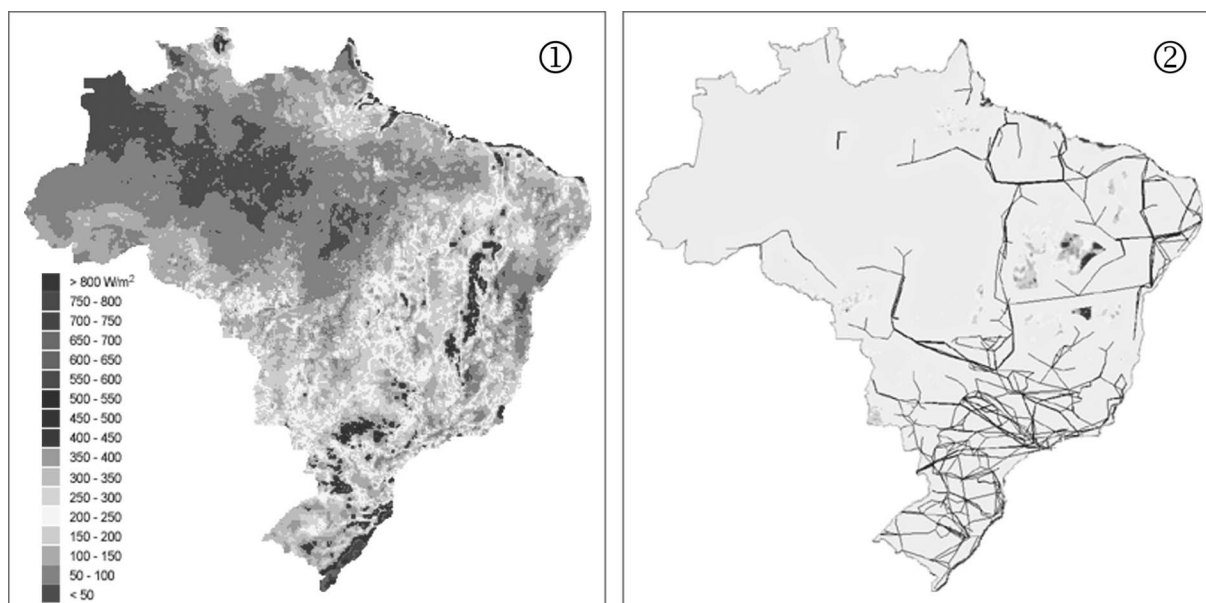
O acesso à base de dados é feito através de um servidor que utilizará o pacote MAPSERVER que permite ao usuário a seleção de uma ou mais variáveis de interesse a serem apresentadas de forma gráfica. As Figuras 2 e 3 mostram exemplos dos recursos disponíveis no website. A Figura 2 apresenta o mapa de irradiação solar global para o território brasileiro associado à malha rodoviária brasileira permitindo visualizar as regiões onde a adoção do uso da energia solar se mostra viável em vista de que o acesso de combustível fóssil por transporte rodoviário é precário. A Figura 3 apresenta o mapa de recursos eólicos para o território brasileiro sobreposto ao mapa do sistema de distribuição da energia elétrica (linhas de transmissão de 128kV) permitindo localizar as regiões do território brasileiro onde o uso da energia eólica permitiria reduzir o déficit da oferta de energia elétrica existente no país. Estes são apenas alguns dos exemplos dos cenários que ilustram a utilização da base de dados SONDA. Maiores detalhes sobre a base de dados podem ser obtidos no website do projeto.

### 3. Comentários Finais

O projeto SONDA tem como objetivo gerar dados de campo e estimativas de recursos energéticos solar e eólico obtidos com o uso de modelos computacionais e dados de satélite que apresentem qualidade e confiabilidade adequadas para atender uma demanda crescente de informações nessa área. Isso decorre da maior conscientização em âmbito mundial sobre a necessidade de substituição do uso das fontes convencionais de energia e promover o desenvolvimento sustentável, conforme atesta o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas divulgado pelas Nações Unidas. É também objetivo do projeto a integração das informações geradas a uma base de dados geo-referenciada com informações de infraestrutura, dados sócio-econômicos e dados climático-ambientais a fim de promover o uso de energias renováveis bem como dar suporte ao planejamento e desenvolvimento de projetos de uso dessas fontes de energia.



**Figura 2a.** 1 - Mapa de irradiação solar global para novembro. 2 - Mapa de irradiação associado às rodovias, resultando na visualização dos locais desassistidos por estradas onde há radiação acima de  $5.5 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$



**Figura 2b.** 1 - Mapa de recursos eólicos. 2 - Mapa eólico associado ao sistema de distribuição de energia elétrica (linhas de transmissão de 128kV) permitindo localizar as regiões onde o uso da energia eólica (acima de  $200\text{ W/m}^2$ ) permitiria reduzir o déficit da oferta de energia elétrica existente no país.

### Agradecimentos

O projeto SONDA está sendo desenvolvido graças ao financiamento da FINEP através do processo no. 22.01.0569.00. Agradecimento é devido ao CPTEC/INPE pelo apoio institucional no desenvolvimento do projeto; ao Laboratório de Instrumentação Meteorológica (LIM/CPTEC) que desempenhou papel fundamental na instalação e operacionalização das estações da rede SONDA; e ao Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR/UFSC) colaboração de longa data no desenvolvimento do modelo BRASIL-SR e operação das duas estações BSRN no Brasil. Agradecimentos são devidos aos seguintes companheiros sem os quais muito do trabalho ainda não teria sido completado: Mariza P. S. Echer, Sheila A. B. Silva, Hugo Juarez Corrá e Rafael Chagas.

### Referências

- Amarante, O. A. C.; M.Brower; J. Zack e A. L. de Sá, 2001. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), 45pp.
- IPCC, 2001. **Climate Change 2001** (3 vols). United Nations Intergovernmental Panel in Climate Change. Cambridge University Press, UK. (available from [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)).
- Martins, F. R. **Influência do processo de determinação da cobertura de nuvens e dos aerossóis de queimada no modelo físico de radiação BRASIL-SR**. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) - INPE. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Couto, P., Stuhlmann, R., Colle, S. **Effects of burning of biomass on satellite estimations of solar irradiation in Brazil**. *Solar Energy*, **68**, 1, 91-107, 2000
- Pereira, E. B., and Colle, S. **A energia que vem do Sol**. *Revista Ciência Hoje*, **22**, 130, 25-35, 1997.
- Setzer, A. W.; Pereira, M. C.; Pereira, A. C. **Satellite studies of biomass burning in Amazonia – some practical aspects**. *Remote Sensing Reviews*, **10**, 91- 103. 1994.