

# RECURSOS DE ENERGIA SOLAR NÃO CONTABILIZADOS NO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL

Paulo Cesar da Costa Pinheiro – pinheiro@demec.ufmg.br  
Universidade Federal de Minas Gerais UFMG, Departamento de Engenharia Mecânica

**Resumo.** A energia é o vetor do desenvolvimento da sociedade, e a energia solar é a principal fonte de energia do planeta terra. O Brasil é um país tropical, e a energia solar incidente sobre seu solo (15 trilhões de MWh/ano) corresponde a 20.000 vezes a sua produção anual de petróleo. Diversos usos da energia solar fazem parte de nossas vidas de uma forma tão natural que é desprezado na contabilidade do consumo e uso de energia. No Brasil, a energia solar é utilizada de forma direta em muitas atividades e não contabilizada no Balanço Energético [EPE-BEN 2008], consistindo numa geração virtual de energia. Este trabalho visa fazer uma avaliação preliminar da energia solar utilizada em diversos segmentos da economia brasileira.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Coletor solar, Balanço Energético Brasileiro.

## 1. INTRODUÇÃO

### O Guardador De Rebanhos

Alberto Caeiro (Fernando Pessoa), 1911

O mistério das cousas? Sei lá o que é mistério!  
O único mistério é haver quem pense no mistério.  
Quem está no sol e fecha os olhos,  
Começa a não saber o que é o sol  
E a pensar muitas cousas cheias de calor.  
Mas abre os olhos e vê o sol,  
E já não pode pensar em nada,  
Porque a luz do sol vale mais do que os pensamentos  
De todos os filósofos e de todos os poetas.  
A luz do sol não sabe o que faz  
E por isso não erra e é comum e boa.

O Brasil é um país tropical com alto índice de insolação, com quase todas as suas regiões recebendo mais de 2.200 horas de insolação. A energia solar incidente sobre o solo brasileiro (15 trilhões de MWh/ano) corresponde a 20.000 vezes a sua produção anual de petróleo, ou 50.000 vezes o consumo nacional de energia elétrica (2007). Apesar desta grande disponibilidade energética, diversos usos da energia solar estão presentes em nossas vidas de uma forma tão natural que é desprezado na contabilidade do consumo e uso de energia. O Balanço Energético Brasileiro [EPE-BEN 2008] contabiliza, sobretudo, a energia utilizada de forma intensiva ou que passa pelas etapas de comercialização Tab.1. O uso da energia solar é realizado de forma distribuída, universal e gratuita, e a quantidade total não é contabilizada. No Brasil, a energia solar é utilizada de forma direta em muitas atividades e não contabilizada no Balanço Energético [EPE-BEN 2008], consistindo numa geração virtual de energia.

**Tabela 1.** Evolução da Oferta Interna de Energia ( $10^3$  tep).

IDENTIFICAÇÃO	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>Energia Não Renovável</b>	<b>102.893</b>	<b>107.137</b>	<b>109.275</b>	<b>112.376</b>	<b>117.655</b>	<b>116.828</b>	<b>113.728</b>	<b>120.103</b>	<b>121.350</b>	<b>124.464</b>	<b>129.102</b>
Petróleo e Derivados	82.561	86.346	87.417	86.743	87.975	85.284	81.069	83.648	84.553	85.545	89.239
Gás Natural	6.495	6.813	7.761	10.256	12.548	14.838	15.512	19.061	20.526	21.716	22.199
Carvão Mineral e Derivados	12.673	12.455	12.705	13.571	13.349	13.005	13.527	14.225	13.721	13.537	14.356
Urânio (U3O8) e Derivados	1.164	1.522	1.391	1.806	3.783	3.700	3.621	3.170	2.549	3.667	3.309
<b>Energia Renovável</b>	<b>77.790</b>	<b>78.442</b>	<b>79.958</b>	<b>78.239</b>	<b>76.272</b>	<b>81.118</b>	<b>88.206</b>	<b>93.642</b>	<b>97.314</b>	<b>101.880</b>	<b>109.656</b>
Hidráulica e Eletricidade (*)	27.461	28.444	28.623	29.980	26.282	27.639	29.477	30.804	32.379	33.537	35.505
Lenha e Carvão Vegetal	21.668	21.265	22.130	23.060	22.443	23.545	25.973	28.203	28.468	28.589	28.628
Derivados da cana-de-açúcar	25.378	25.284	25.235	20.761	22.916	24.980	27.093	28.775	30.147	32.999	37.847
Outras Renováveis (**)	3.283	3.449	3.970	4.439	4.631	4.954	5.663	5.860	6.320	6.754	7.676
<b>TOTAL</b>	<b>180.683</b>	<b>185.578</b>	<b>189.233</b>	<b>190.615</b>	<b>193.927</b>	<b>197.946</b>	<b>201.934</b>	<b>213.744</b>	<b>218.663</b>	<b>226.344</b>	<b>238.758</b>

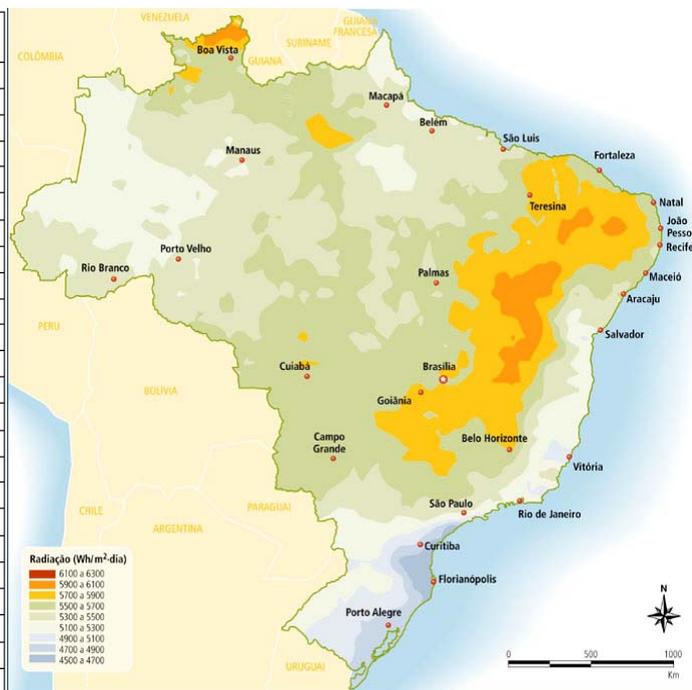
Fonte: Balanço Energético Nacional, 2008 [EPE-BEN 2008].

A energia solar não é uma tecnologia única, mas um conjunto de tecnologias. Este trabalho visa detectar várias formas de uso natural da energia solar, e quantificar o valor deste seu uso para que seja analisado em conjunto, ou incluído no Balanço Energético Brasileiro.

O Brasil, com seu território situado em sua maioria em latitudes entre o Equador e o trópico de Capricórnio, apresenta uma grande incidência de energia solar (Tab.2. Fig1). A potência instantânea incidente máxima em qualquer local da Terra é cerca de 1000 W/m<sup>2</sup>. A média anual de energia incidente na maior parte do Brasil varia entre 4 e 5 kWh/m<sup>2</sup>.dia.

**Tabela 2.** Radiação Solar nas Capitais Brasileiras.

Capital	Temperatura Média Anual (°C)*	Radiação Incidente (kWh/m <sup>2</sup> .ano)*	Insolação (horas/ano)**
Aracaju	25,5	1892	
Belém	26,9	1783	2200
Belo Horizonte	21,5	1896	2500
Boa Vista	27,8	1938	
Brasília	21,4	1934	2500
Cuiabá	26,8	1775	
Curitiba	17,6	1656	2000
Florianópolis	20,8	1495	
Fortaleza	26,7	1992	2800
Goiânia	22,7	1928	
João Pessoa	25,7	1968	2800
Macapá	26,8	1714	
Maceió	25,5	1959	
Manaus	27,4	1663	
Natal	25,9	2013	2800
Porto Alegre	20,1	1594	2300
Porto Velho	26,2	1604	
Recife	25,9	1956	2600
Rio de Janeiro	23,7	1602	2100
Salvador	25,1	1830	2600
São Luís	27,4	1929	
São Paulo	23,0	1674	2000
Teresina	28,0	1982	
Vitória	24,4	1675	



Fonte: INMET, \*Quinteros, 2001, \*\*Manual Cumulus.

**Figura 1.** Radiação solar diária no Brasil.

## 2. AQUECIMENTO DE ÁGUA POR COLETORES SOLARES PLANOS

O coletor solar plano é a tecnologia solar mais representativa, e utiliza a energia solar para aquecer água entre 40 e 60°C, basicamente para uso residencial. Apenas 0,4% dos domicílios brasileiros utilizam (2005) energia solar para aquecimento de água [Procel, 2007]. Apesar da pequena utilização dos coletores solares no Brasil (Tab. 3) em relação ao mercado mundial, o setor conta com aproximadamente 140 fabricantes (30 com selo do Inmetro). A produção brasileira de coletores solares tem crescido anualmente mais de 10% (Fig. 2). Em dezembro de 2006 [MME], existiam 661.322 sistemas de coletores solares instalados, com uma área total de 3,1 milhões de m<sup>2</sup>, e em 2007 cerca de 3.673.000 m<sup>2</sup> [Abrava, 2008].

**Tabela 3.** Coletores Solares no Mundo (2005).

Capacidade Instalada		Penetração de Mercado	
País	GWt	País	MWt/ 100 mil hab
China	43,4	Chipre	63,0
Japão	5,5	Israel	52,0
Turquia	5,1	Grécia	19,2
Alemanha	4,0	Áustria	18,8
Israel	3,4	Alemanha	4,8
Brasil	1,6	Brasil	0,9 – (1,2)

Fonte: Faria (Abrava), 2008

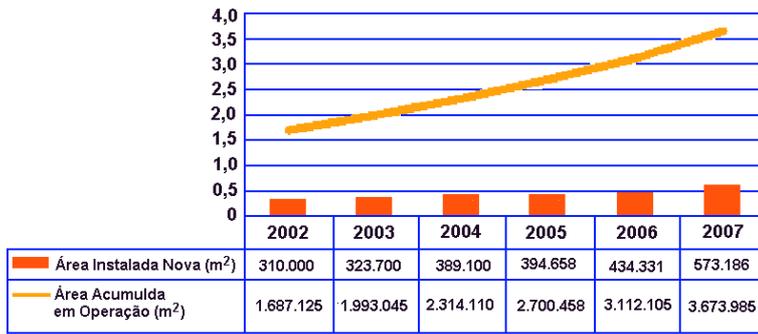


Figura 2. Produção e Área Total Instalada de Coletores Solares no Brasil. Fonte: Abrava, 2008

Considerando uma produção média mensal de energia 80 kWh/m<sup>2</sup>.mês [Procel, 2007] tem-se:

$$\text{Energia Coletores} = 3.673.000 \text{ m}^2 * 80 \text{ kWh/mês} * 12 \text{ meses/ano} = 3.526 \text{ GWh/ano}$$

### 3. PRE-AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA BANHO

O Brasil é um país de perfil único, onde cada habitante tem o hábito de tomar em média um banho diário (Prado, 1991). O banho dura em média 7 minutos [Prado, 1991], ou 7 minutos e 45 segundos [Ilha, 1991]. Devido ao baixo custo de aquisição e facilidade de instalação, o chuveiro elétrico se difundiu, estando presente em 2005 em 73,1% dos domicílios brasileiros Tab. 4 [Procel, 2007]. Seu uso é predominantemente no horário de ponta do sistema elétrico (18h as 21h). Segundo o Procel 80,9 % dos domicílios brasileiros aquecem a água do banho de alguma forma, e 18,2% não a aquecem. 73,5 % dos sistemas de aquecimento utilizam a energia elétrica como fonte de aquecimento e 5,9% o gás (Fig.3) Apenas 0,4% utilizam energia solar. O chuveiro elétrico corresponde a 99,6% dos sistemas que usam eletricidade como fonte de aquecimento. Dos domicílios que utilizam gás para aquecimento, 57,6% utilizam gás canalizado e 42,4% GLP.

Tabela 4. Penetração do Chuveiro Elétrico no Brasil (2005)

	Domicílios com Chuveiro Elétrico	Número de Chuveiros por Residência
Norte	4,0 %	0,02
Nordeste	30,3 %	0,55
Centro-Oeste	85,1 %	1,04
Sudeste	90,7 %	1,10
Sul	98,6 %	1,17
BRASIL	73,1 %	0,91

Fonte: Procel/Eletronbras, 2007.

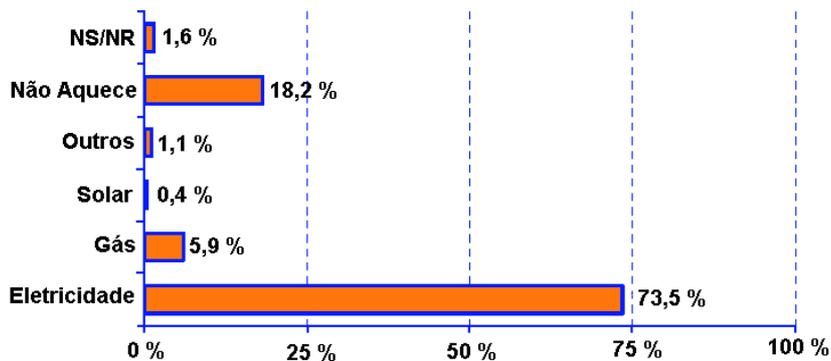


Figura 3. Fontes de Aquecimento de Água para Banho Residencial [Procel, 2007]

Cerca de 6% de todo o consumo nacional de eletricidade (377.234 GWh em 2007, EPE) e 26% do consumo residencial (90.881 GWh em 2007, EPE) é consumido nos chuveiros elétricos [Procel, 2007]. O consumo médio do chuveiro elétrico é estimado em 70 kWh/mês [Procel, 2007].

A temperatura ambiente média do Brasil é 25°C, enquanto a temperatura média mundial é 15°C. Este ganho de temperatura em relação à média mundial é devido ao aquecimento solar ambiente (aquecimento indireto). Assim, todo uso de água aquecida possui um preaquecimento médio de 10°C devido à energia solar.

Os chuveiros elétricos tipicamente elevam a temperatura de 25 a 40°C (T=15°C). Considerando que o meio ambiente preaquece esta água de 10°C, o consumo de energia no preaquecimento desta água é:

Consumo de eletricidade nos Chuveiros Elétricos: 0,26% \* 90.881 GWh/ano = 23.630 GWh/ano

**Energia Preaquecimento Chuveiro Elétrico = 10°C/15°C \* 23.630 GWh/ano = 15.750 GWh/ano**

Os 18,2% que não aquecem a água para tomar banho o fazem, sobretudo, na região Norte-Nordeste, devido ao fato da água já estar aquecida naturalmente. Na Europa a água é distribuída a uma temperatura média inferior a 15°C, o que impede de se tomar banho sem aquecimento. Nas diretivas Européias (75/440 de 16 de Junho de 1975 e 80/778 de 15 de Julho de 1980), foi estabelecido o valor recomendável de 12°C [Mulot, 2002].

**Energia no Banho Frio = 18,2% / 73,5% \* 23.630 GWh/ano = 5.850 GWh/ano**

#### 4. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos, ou células fotovoltaicas, usam materiais semicondutores para converter a radiação solar diretamente em eletricidade. Desde 1998, o mercado de energia solar mundial tem crescido anualmente cerca de 35%. Em 2006 a produção mundial de painéis fotovoltaicos chegou a 1200 MW e a capacidade total instalada 6.500 MW.

No Brasil, o uso dos sistemas fotovoltaicos se intensificou a partir de 1992, inicialmente com a implantação de projetos de cooperação internacional com a Alemanha (Projeto Eudorado) e Estados Unidos (DOE). A implantação do PRODEEM em 1994 (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios, MME), a queda dos preços internacionais, e a consciência ecológica tornaram os sistemas fotovoltaicos uma alternativa para o fornecimento de energia elétrica em áreas isoladas não atendidas pelos serviços de distribuição. Até 2002 o PRODEEM instalou 8.742 sistemas com potência total 5,2 MWp (Tab. 3), e tem como meta atender 100.000 comunidades e a instalação de 35 MWp. O governo do Estado da Bahia, através do Programa de Eletrificação Solar - CAR instalou no período de 1998 a 2000 10.302 sistemas fotovoltaicos nos domicílios rurais do estado. Segundo o IEE-USP no Brasil existem 12 MWp em sistemas fotovoltaicos instalados em comunidades isoladas e outros 80 kWp integrados à rede elétrica [FAPESP, 2003]. A geração de energia fotovoltaica instalada no Brasil é estimada em 20 MW (Zilles, 2010).

A única usina fotovoltaica registrada na ANEEL é a Usina de Araras, no município de Nova Mamoré, Rondônia, em operação desde abril de 2001. É um sistema híbrido solar-diesel, com 3 motores diesel de 54 kW e 320 painéis fotovoltaicos de 64 W, perfazendo uma capacidade nominal de 20,48 kW e ocupando um área de cerca de 300 m<sup>2</sup>.

Considerando 0,1 kWh/mês para cada 1Wp instalado, a geração de energia elétrica no Brasil através de sistemas fotovoltaicos é:

**Geração = 12 MWp \* 0,1 kWh/mês.Wp \* 12 meses = 24 GWh/ano**

#### 5. AQUECIMENTO AMBIENTAL

A quantidade de energia utilizada para aquecimento ambiental no Brasil é praticamente zero, devido ao clima tropical. Entretanto, na união européia, o consumo de energia para aquecimento ambiental representa 52 % do consumo total de energia dos edifícios do setor de serviços e mais de 57 % do setor residencial [STOYKOVA, 2002, PAAR, 2003]. No Canadá o consumo é cerca de 63,8% do consumo residencial, na Nova Zelândia 34%, e na China 30% [TONOOKA, 2003].

Os Estados Unidos possuem 111,1 milhões de domicílios, dos quais somente 1,2 milhões não possuem sistema de aquecimento ambiental, 109,1 milhões utilizam aquecimento ambiental e 0,8 milhões possuem, mas não utilizam, com um consumo médio de 43,9 milhões Btu/domicílio.ano (12,8 MWh/domicílio.ano) [EIA-DOE, 2005] (10,1 MWh/ano.domicílio, EIA-DOE, 2001). Este consumo de energia é similar ao de vários outros países desenvolvidos.

O Brasil possui 56,3 milhões de residências [IBGE, 2007]. Considerando um consumo de energia para aquecimento ambiental, metade do utilizado nos Estados Unidos e Europa têm-se:

**Energia Aquecimento Ambiental = 6,0 MWh/domicílio.ano \* 56,3 x 10<sup>6</sup> domicílios = 337.800 GWh/ano**

Um cálculo preciso da demanda de energia anual, necessária para o aquecimento, assegurando níveis habitáveis de conforto, pode ser realizado por meio da metodologia de graus-dia durante o ano. Os graus-dias são um parâmetro usado para calcular a energia necessária para aquecimento de ambientes. O número de graus-dias é calculado para cada dia subtraindo-se a temperatura média diária da temperatura de referência (normalmente 18°C). O valor de cada dia é acumulado para cada mês e o valor de cada mês é acumulado para o valor anual. A quantidade de energia necessária para aquecimento de ambientes pode ser considerada como proporcional a este valor. O método graus-dias é um método simples e apropriado para análise de energia, se o uso da edificação e a eficiência do equipamento de aquecimento são

constantes. Por esta metodologia, os dias que apresentam temperaturas médias acima do valor de base não são considerados, pois o valor não pode ser negativo, entretanto este é o valor do aquecimento obtido pela energia solar.

## 6. SECAGEM DE ROUPAS

No Brasil no setor residencial, praticamente toda roupa é seca ao ar livre, e somente uma pequena parcela da população utiliza os serviços das lavanderias onde a secagem é feita de forma artificial. Diferentemente, nos países temperados, na maioria das vezes é necessário um dispositivo eletro/mecânico para a secagem das roupas.

As secadoras de roupa são um dos eletrodomésticos mais consumidores de eletricidade, com consumo entre 1,8–5,0kW. Nos Estados Unidos 60% dos domicílios possuem secadoras elétricas de roupas e 20% secadoras a gás natural [EIA-DOE, 2001], sendo as secadoras responsáveis por cerca de 5,8% do consumo elétrico doméstico nos Estados Unidos [DEANS, 2001, EIA-DOE, 2001]. O consumo nos EUA é cerca de 1,079 MWh/domicílio.ano [EIA-DOE, 2001], e no Canadá 0,914 MWh/domicílio.ano [NRCAN, 2001 e 2003].

A eficiência das secadoras de roupas é medida pelo Energy Factor (EF). As normas Americanas estabelecem um EF mínimo de 3,01 lb/kWh para as secadoras elétricas e 2,67 lb/kWh para as secadoras a gás (Tab. 6).

**Tabela 6.** Consumo de Energia para Secar a Roupa:

Tipo de Secadora	Fator de Energia (EF)	
	lb roupa molhada / kWh	kg roupa molhada / kWh
Eletricidade	3,01	1,36
Gás	2,67	1,21

Fonte: <http://www.consumerenergycenter.org/home/appliances/dryers.html>

Considerando o mesmo consumo energético para o Brasil:

**Energia Secagem de Roupas: 0,914 MWh/ano.domicílio \* 56,3 x 10<sup>6</sup> domicílios = 51.450 GWh/ano**

Deve-se lembrar que os EUA e Canadá fizeram um grande programa de economia de energia, e o consumo das secadoras de roupa diminuiu cerca de 18% entre 1990 e 2003 [NRCAN, 2003]. O Brasil, como país em desenvolvimento, seguramente iria utilizar tecnologias mais obsoletas e de maior consumo energético.

## 7. PRODUÇÃO DE SAL

A produção de sal pode ser realizada por evaporação solar ou forçada da água do mar, ou por extração em minas de sal (sal-gema). Mundialmente o sal-gema é o mais explorado, pois em algumas regiões é encontrado em grande quantidade e as condições climáticas não interferem na produção. A produção mundial de sal, englobando todos os tipos, totalizou 210 milhões de toneladas/ano, onde se destacam como principais produtores os Estados Unidos, China, Alemanha, Índia e Canadá (Tab. 8).

**Tabela 8.** Produção Mundial de Sal (10<sup>6</sup> t)

País	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2004	2005
EUA	37,0	36,4	36,1	39,3	39,8	42,2	42,3	41,5	41,3	45,0	45,6	45,1	46,5	45,9
China	20,0	24,1	28,1	29,5	29,7	29,8	29,0	30,8	22,4	28,1	31,3	32,0	37,1	38,0
Alemanha	15,7	14,9	12,7	12,7	10,5	15,2	15,9	15,8	15,7	15,7	15,7	15,8	16,0	18,7
Índia	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	12,5	14,5	14,3	12,0	14,5	14,5	14,5	15,0	15,5
Canadá	11,3	12,0	11,2	10,9	11,7	11,0	12,2	13,3	13,3	12,7	11,9	12,5	14,1	13,3
México	7,14	7,5	7,4	7,5	7,5	7,7	8,5	7,9	8,4	8,2	8,9	8,6	8,2	8,2
Austrália	7,23	7,8	7,7	7,7	7,7	8,1	7,9	8,8	8,9	10,0	8,8	8,0	11,2	10,0
França	6,61	6,5	6,1	7,0	7,5	7,5	7,9	7,1	7,0	7,0	7,0	7,1	7,0	7,0
Brasil	5,37	4,9	5,3	6,2	6,0	5,8	5,4	6,5	6,5	6,9	6,0	7,0	6,6	7,3
Inglaterra	6,43	6,8	6,1	6,8	7,0	6,7	6,6	6,6	6,6	5,8	5,8	5,7	5,8	5,8
Resto Mundo	45,59	60,6	53,8	41,0	53,1	52,5	53,8	54,4	59,1	58,0	58,5	57,7	40,5	40,3
Total	183,0	191,0	184,0	187,0	190,0	199,0	201,0	207,0	200,0	211,0	214,0	214,0	208,0	210,0

Fonte: DNPM, Sumário Mineral Brasileiro 2006.

O Brasil encontra-se em oitavo lugar no ranking dos maiores produtores de sal, representando 3,5% da produção mundial. A produção total Brasileira em 2005 foi de 7.297 mil toneladas, dos quais 5.739 mil toneladas de sal marinho e 1.559 mil toneladas de sal-gema (Tab. 9). Uso do sal: 31% para o consumo humano e produção animal, 23% para o setor químico e 46 % para os demais setores (refrigeríficos, curtumes, charqueadas, indústrias têxtil e farmacêutica, prospecção de petróleo, tratamento d'água). O sal-gema é quase todo utilizado na fabricação de soda cáustica. O Rio

Grande do Norte é o principal produtor nacional, com 5.345 mil t produzidas, correspondendo a quase 73% da produção total de sal e, de aproximadamente, 93% da produção nacional de sal marinho.

**Tabela 9.** Produção Brasileira de Sal Marinho (10<sup>6</sup> t)

Discriminação			2003	2004	2005
Produção	Sal marinho	t	5.144.000	5.205.968	5.738.483
Importação	Sal marinho	t	2.476	8.407	25.507
Exportação	Sal marinho	t	571.249	486.539	804.122
Consumo Aparente	Sal marinho	t	4.575.227	4.727.836	4.959.868

Fonte: DNPM, Sumário Mineral Brasileiro 2006.

O sal marinho no Brasil é produzido quase que exclusivamente via utilização de energia solar para evaporação da água. A produção de sal de cozinha por evaporação solar não é a principal forma de produção nos países "desenvolvidos". Nos Estados Unidos, maiores produtores mundiais (45 milhões ton/ano), apenas 5,5 milhões de toneladas são produzidos por via solar. O restante da produção divide em extração de sal em rocha em minas subterrâneas e evaporação mecânica, ou seja, ebulição de salmoura saturada em "vacuum pans", outras formas de energia, estas contabilizadas no balanço energético dos EUA.

No Brasil, a produção de 5,7 milhões de toneladas/ano é realizada por energia solar, que não é contabilizada no balanço energético. Considerando uma salinidade de 35 ppt (3,5 g/kg água), e a entalpia de evaporação 2441 kJ/kg, a energia necessária para produzir o sal marinho no Brasil é de:

$$\begin{aligned} \text{Produção} &= 1 / 0,035 \text{ kg sal/kg água} * 5,7 \text{ milhões toneladas sal/ano} * 2441 \text{ kJ/kg água} \\ &= 495\text{E}12 \text{ kJ/ano} = 137.500 \text{ GWh/ano} \end{aligned}$$

## 8. SECAGEM DE LENHA

O Brasil é um grande produtor e consumidor de madeira. A produção nacional em 2007 de madeira em tora somou 121.520.350 m<sup>3</sup>, sendo a maior parte (86,5%) proveniente de florestas cultivadas e o restante (13,5%) coletado em vegetações nativas (16.388 mil m<sup>3</sup>) [IBGE, 2008]. Segundo a FAO, a produção Brasileira em 2007 foi 244.962 mil m<sup>3</sup>. Segundo o BEN-2008 a produção de madeira em 2007 foi de 96.527 mil toneladas, cerca de 14% do consumo brasileiro de energia.

A utilização da lenha no setor industrial pode ser de forma direta (combustão de lenha e resíduos) ou de forma indireta (produção de carvão vegetal). A lenha utilizada no setor residencial especialmente na cocção de alimentos, é originária de matas nativas: mata atlântica, caatinga e cerrado. Além da lenha energética existe um grande consumo de lenha para a produção de celulose, móveis, construção civil etc.

Em uma árvore viva, dependendo da espécie, da estação do ano e da localização da árvore, o teor de umidade da madeira verde varia de 60 a 200% [TYREE, ZIMMERMANN, 2002]. A umidade na madeira verde se apresenta sob três formas: água de constituição (fixada no protoplasma das células vivas); água de impregnação ou de adesão (que satura a parede das células) e água livre ou de capilaridade (que enche os canais do tecido lenhoso). Após o corte, exposta meio ambiente, a madeira perde umidade. Inicialmente é evaporada a água livre ou de capilaridade. O fim da evaporação da água de capilaridade é chamado de ponto de saturação das fibras. O ponto de saturação, em geral, corresponde a teores de umidade entre 20% e 30%. Neste ponto a madeira é denominada meio seca. Abaixo deste ponto a madeira contém somente a água de impregnação e de constituição. Continuando a secagem, a evaporação prossegue com menor intensidade, até a madeira atingir um ponto de equilíbrio, que depende da umidade e temperatura atmosférica, assim é chamada seca ao ar. A madeira seca ao ar apresenta teores de umidade entre 10% e 30%.

Diferentemente dos procedimentos adotados para a determinação do teor de umidade dos combustíveis, onde a umidade é expressa em função da massa do material inicial, úmido (base úmida), o teor de umidade da madeira é usualmente expresso em função de sua massa seca (base seca).

$$\text{Umidade (bs)} = \frac{M_{\text{inicial}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{seca}}}$$

**Tabela 10.** Teor de Umidade Inicial.

Madeira	Umidade Inicial (% bs)	
Eucalyptus cloeziana	63,9	68,1
Eucalyptus grandis	102,3	94,0
Eucalyptus pilularis	86,3	63,6
Eucalyptus citriodora	62,6	---
Eucalyptus urophylla	96,2	---
Madeira de Cerrado	---	93,5
Fonte	Oliveira, 2005	Martins, 2001

Considerando a entalpia de evaporação 2441 kJ/kg água, que 90% da madeira utilizada no Brasil seja seca naturalmente, que a umidade inicial seja 75% (bs) e a umidade final 25% (bs), e o fator de conversão 390 kg/st para uma lenha com umidade 25% (conforme o BEN 2008, COBEN 04/88):

$$\text{Energia Secagem Lenha} = 2441 \text{ kJ/kg} * 0,90 * 121.520.350 \text{ m}^3 * (0,75-0,25)/1,25 * 390 \text{ kg/m}^3 = 41.646 * 10^{12} \text{ kJ}$$

$$\text{Energia Secagem Lenha} = 41.646 * 10^{12} \text{ kJ} * 1 \text{ Wh}/3,6 \text{ kJ} = 11.570 \text{ GWh/ano}$$

## 9. SECAGEM DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

Secagem é o processo comercial mais utilizado para a preservação da qualidade dos produtos agrícolas. Estes produtos são secos até um teor de umidade, de modo que possa ser armazenado em condições ambientais por mais de 3 anos, sem a perda de suas propriedades nutricionais e organolépticas [ROSSI e ROA 1980]. A secagem também possibilita que a colheita seja feita mais cedo, permitindo um planejamento da colheita, reduções das perdas ocasionadas por insetos, pássaros, roedores e condições climáticas.

Do ponto de vista do teor de umidade inicial, os produtos agrícolas podem ser divididos em quatro grupos:

- Umidade inicial muito alta (80-90%): frutas, batata, fumo em folhas, resíduos vegetais e animais, etc
- Umidade inicial alta (60-80%): café, mandioca, etc
- Umidade inicial intermediária (35-60%): cacau, amendoim, etc
- Umidade inicial baixa (15-35%): cereais, leguminosas e oleaginosas

A secagem consiste em geral na diminuição desta umidade inicial para algo em torno de 14-11%.

O calor latente de vaporização da água de produtos agrícolas está inversamente relacionado com seu teor de água, podendo ser adotado, de modo geral, o valor de 2.930,20 kJ/kg para produtos com teor de água entre 15 e 35% b.u. e 2.720,20 kJ/kg para produtos entre 35-60% b.u. [HALL, 1980].

A quantidade de umidade retirada (kg água/kg produto seco) durante o processo de secagem ( $m_{\text{umidade}}$ ) em função da umidade inicial ( $U_{\text{inicial}}$ ) e da umidade final ( $U_{\text{final}}$ ) em base úmida (bu) é dada por:

$$M_{bs} = \frac{U_{\text{inicial}} (\%bu)}{100 - U_{\text{inicial}} (\%bu)} - \frac{U_{\text{final}} (\%bu)}{100 - U_{\text{final}} (\%bu)}$$

A quantidade de umidade retirada do grão nas condições de armazenamento (kg água / kg produto armazenado):

$$M_{bu} = \frac{M_{bs}}{1 + M_{bs}}$$

**Tabela 11.** Energia Necessária para Secagem de Alguns Produtos Agrícolas.

Cultura	Umidade inicial Média (% bu)*	Umidade de Armazenagem (% bu)*	Energia para atingir umidade armazenagem kJ/kg produto seco	Safra 2008** (t)	Energia requerida na secagem (MJ)
Soja	20	11	328,8	59.916.830	19.702.177.773
Milho	30	13	639,5	59.017.716	377.39.064.110
Arroz	25	13	455,2	12.100.138	5.507.700.873
Feijão	20	13	267,8	3.460.867	926.726.206
Trigo	20	13	267,8	5.886.009	1.576.113.381
Sorgo	20	11	328,8	1.965.865	646.426.416
Amendoim	45	7	1159,5	296.600	343.901.628
Café	65	11	1725,1	2.790.858	4.814.461.119
Cacau	50	7	1306,9	208.386	272.342.108
TOTAL					71.528.913.615

Fonte: \*Rossi e Roa, 1980. \*\* IBGE, 2008a

Segundo ROSSI e ROA [1980], cerca de 80% da produção nacional é seca utilizando a secagem solar tradicional.

$$\text{Energia Secagem Produtos Agrícolas} = 0,80 * 71.500.000.000 \text{ MJ} = 57.200.000.000 \text{ MJ}$$

$$\text{Energia Secagem Produtos Agrícolas} = 57.200.000.000 \text{ MJ} * 1 \text{ kWh}/3,6 \text{ MJ} = 15.900 \text{ GWh/ano}$$

No Brasil os grãos são colhidos, em média, com 20% de umidade, enquanto nos Estados Unidos estes são colhidos com umidade de 28-30% [ROSSI e ROA, 1980], o que implica em uma diferença de aproximadamente 10% na umidade. Esta diferença pode ser atribuída à secagem natural ocorrida na própria planta, o que implica em um menor

gasto energético para a secagem posterior. Este valor também pode ser somado à energia não computada no balanço energético brasileiro devido à secagem de grãos.

## 10. CONCLUSÕES

Não foi objetivo deste trabalho a determinação exata do consumo/produção de energia dos diversos usos não contabilizados da energia solar, mas sim fazer um levantamento preliminar, de modo a ter uma ordem de grandeza da quantidade de energia solar utilizada no Brasil e permitir um melhor conhecimento e planejamento do seu uso. Os valores levantados neste trabalho estão apresentados na Tab. 12.

**Tabela 12.** Uso Não Contabilizado da Energia Solar no Brasil

Uso	GWh / ano	TEP / ano
Coletores Solares	3.526	303.236
Preaquecimento chuveiro elétrico	15.750	1.354.500
Banho Frio	5.850	503.100
Sistemas Fotovoltaicos	24	2.790
Aquecimento Ambiental	337.800	29.050.800
Secagem de Roupas	51.450	4.424.700
Produção de Sal Marinho	137.500	11.825.000
Secagem de Madeira	11.570	995.020
Secagem de Grãos	15.900	1.367.400
<b>Total Brasil</b>	<b>579.370</b>	<b>49.826.546</b>

Conversão: 0,086 TEP/MWh [EPE-BEN 2008]

A oferta total de energia no Brasil em 2008 foi de 238.758.000 tep, dos quais 109.656.000 tep de fontes renováveis [EPE-BEN 2008]. Nestas fontes renováveis não está contabilizada a energia solar. A energia solar é utilizada de uma forma tão natural que não é contabilizada no balanço energético. Este uso da energia solar é importante, representado cerca de 21 % da energia disponível no Brasil. Assim, a matriz energética brasileira é muito mais renovável do que o contabilizado atualmente.

Por outro lado, a contabilização destes recursos solares no balanço energético mostra e ineficiência do uso da energia no Brasil, e o grande desperdício energético

Muitos outros usos da energia solar não foram contabilizados neste trabalho: iluminação, secagem de fumo, frutas, secagem de carne de sol.

E como diz Drummond: “*O sol nos serve, mas não nos obedece*”.

### Agradecimentos

O autor agradece profundamente à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) a concessão de auxílio que permitiram a sua presença III Congresso Brasileiro de Energia Solar.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral = Summary Mineral / Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral; coordenação, Antonio Fernando da Silva Rodrigues. – Brasília: DNPM/DIDEM, 2006, 304 p.  
[http://www.dnpm.gov.br/mostra\\_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1006](http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1006)
- CAEIRO, Alberto (Fernando Pessoa). Poemas Completos de Alberto Caeiro. Ed. Lazuli, 2007, 143p.
- CÂMARA, Carlos Alberto Leopoldo da. Produção de Sal Por Evaporação Solar. Operação e Dimensionamento de Salinas. Ed SN, 1999, 219p.
- COBEN 04/88 - PATUSCO, João Antônio Moreira. NT COBEN 04/88 - Novo Fator para a Conversão da Lenha. 3p., 1988. [http://www.mme.gov.br/html/ben2004/NotasTecnicas/NT\\_COBEN\\_04.pdf](http://www.mme.gov.br/html/ben2004/NotasTecnicas/NT_COBEN_04.pdf)
- DEANS, J. The Modelling of a Domestic Tumbler Dryer. Applied Thermal Engineering, v.21, n.9, 2001, p.977-990.
- EIA-DOE.2001. End-Use Consumption of Electricity 2001.  
<http://www.eia.doe.gov/emeu/recs/recs2001/enduse2001/enduse2001.html>
- EIA-DOE. 2005 Residential Energy Consumption Survey. 2005. <http://www.eia.doe.gov/emeu/recs/>
- ELETROBRÁS / PROCEL - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.. Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e de Hábitos de Consumo. Relatório Ano Base 2005, Junho 2007. Online. Disponível em  
[http://www.eletronbras.gov.br/procel/main\\_10\\_1\\_4\\_b\\_2.htm](http://www.eletronbras.gov.br/procel/main_10_1_4_b_2.htm). Consulta em Abril 2009.
- EPE – BEN 2008. Balanço Energético Nacional 2008: Ano Base 2007. Rio de Janeiro, EPE Empresa de Pesquisa Energética, 244p, 2008. [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2008.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2008.pdf)

- EPE. Estatística e Análise do Mercado de Energia Elétrica. Boletim Mensal (Mês Base: Dezembro 2007). EPE Empresa de Pesquisa Energética, Ministério das Minas e Energia. 43p, 2008.  
[http://www.epe.gov.br/BoletimMensal/20080505\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/BoletimMensal/20080505_1.pdf). Acessado em Maio 2009. Consulta em Abril 2009.
- FARIA, Carlos Felipe da Cunha (ABRAVA). Cidades Solares. Aquecedores Solares para o Desenvolvimento Sustentável. In: Forum Brasileiro de Energia. Bento Gonçalves, RS, 24 a 27 setembro 2008, Instituto Venturi para Estudos Ambientais, 44p. [http://www.institutoventuri.com.br/energia/palestras/9.Carlos\\_Faria.pdf](http://www.institutoventuri.com.br/energia/palestras/9.Carlos_Faria.pdf)
- FRAIDENRAICH, Naum. Tecnologia Solar no Brasil. Os Próximos 20 Anos. IN: Energia 2020 Sustentabilidade na Geração e Uso de Energia no Brasil: Os Próximos 20 anos. Unicamp, 18 a 20 de Fevereiro de 2002. <http://libdigi.unicamp.br/document/?view=13>
- HALL, Carl W. Drying and Storage of Agricultural Crops. AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, AVI Publishing Company, 1980, 381 p.
- IBGE. 2007. <http://www.ibge.gov.br>
- IBGE. 2008. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2007. 26 de Novembro 2008.  
[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_impresao.php?id\\_noticia=1270](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_impresao.php?id_noticia=1270)
- IBGE-2008a. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. 2008, IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_200904\\_5.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_200904_5.shtm)
- ILHA, M.S.O. Estudo de Parâmetros Relacionados com a Utilização de Água Quente em Edifícios Residenciais. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991, 204p.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. <http://www.inmet.gov.br>. Acessado em Abril 2009.
- MARTINS, Varlone Alves; GOUVEIA, Fernando Nunes; MARTINEZ, Sérgio. Secagem Convencional de Madeira de Eucalipto. Parte I: Eucalyptus cloesiana F. Muell, E. grandis Hill ex Maiden e E. pilularis Sm. Brasil Florestal, v.20, n.70, p.42-47, Junho 2001.
- MULOT, Anne-Claire. L'Augmentation de la Temperature de l'Eau dans les Reseau d'Eau Potable. Office International de l'Eau, ENGREF Centre de Montpellier, Fevereiro 2002, 17p.  
[http://www.engref.fr/Interne/centres/montpellier/documents/syntheses\\_pdf/synth\\_2002\\_pdf/mulot.pdf](http://www.engref.fr/Interne/centres/montpellier/documents/syntheses_pdf/synth_2002_pdf/mulot.pdf)
- NRCAN 2001. Energy Consumption of Major Household Appliances Shipped in Canada - Trends for 1990-2001. Chapter 6 - Electric Clothes Dryer. NRCAN Natural Resources Canada. 2001.  
[http://oe.nrcan.gc.ca/corporate/statistics/neud/dpa/data\\_e/CAMA03/chapter6.cfm?attr=0](http://oe.nrcan.gc.ca/corporate/statistics/neud/dpa/data_e/CAMA03/chapter6.cfm?attr=0).
- NRCAN 2003. Buying and Operating Tips: Clothes Dryers. NRCAN Natural Resources Canada  
<http://oe.nrcan.gc.ca/residential/personal/appliances/clothes-dryers-tips.cfm?attr=4>
- OLIVEIRA, José Tarcísio da Silva; HELLMEISTER, João Cesar; TOMAZELLO Filho, Mario. Variação do Teor de Umidade e da Densidade Básica na Madeira de Sete Espécies de Eucalipto. Revista Árvore, v.29, n.1, p.115-127, 2005.
- PAAR, Angelika; KALLMANN, Kerstin; BENKE, Georg. The European Green Building Programme. Technical Module on Heating. Green Building, 17p.  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/greenbuilding/>  
[http://www.eu-greenbuilding.org/fileadmin/Greenbuilding/gb\\_redaktion/modules/Heating\\_Module\\_GB.pdf](http://www.eu-greenbuilding.org/fileadmin/Greenbuilding/gb_redaktion/modules/Heating_Module_GB.pdf)
- PRADO, R.T.A. Gerenciamento de Demanda e Consumo de Energia para Aquecimento de Água em Habitações de Interesse Social. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991, 261p.
- QUINTEROS, André Ricardo. Aquecimento de Água por Energia Solar. Revista SINERGIA, v.2, 2001.  
<http://www.cefetsp.br/edu/sinergia/andre2.html>
- ROA, Gonzalo, ROSSI, Sílvio José. Secagem e Armazenamento de Produtos Agropecuários com uso de Energia Solar e Ar Natural. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio e Tecnologia, Publicação ACIESP (Academia de Ciências do Estado de São Paulo) n°22, 1980, 295p.
- STOYKOVA, Evelina. Sustainable Building. Sofia Energy Centre, 2002, 92p. <http://www.sec.bg>
- TONOOKA, Y., MU, H., NING, Y., KONDO, Y. Energy Consumption in Residential House and Emissions Inventory of GHGs, Air Pollutants in China. Journal of Asian Architecture and Building Engineering. v.2, p.93-100, 2003.
- TYREE, Melvil T. ZIMMERMANN, Martin H. Xylem Structure and the Ascent of Sap. Springer-Verlag New York, 2ª ed., 2002, 304 p. ISBN: 978-3-540-43354-5
- ZILLES, Roberto. IN: Workshop em Energia Fotovoltaica, Março 2010, FAPESP, São Paulo.

## SOLAR ENERGY RESOURCES NOT ACCOUNTED IN BRAZILIAN NATIONAL ENERGY BALANCE

**Abstract.** *The main development vector of a society is the energy. The solar energy is the main energy source on the planet earth. Brazil is a tropical country and the incident solar energy on its soil (15 trillion MWh / year) is 20,000 times its annual oil production. Several uses of solar energy are part of our lives in a so natural way that it despised in the consumption and use energy balance. In Brazil, solar energy is used directly in many activities and not accounted for in Energy Balance [EPE-BEN 2008], consisting of a virtual power generation. This work aims to make a preliminary assessment of solar energy used in different segments of the Brazilian economy.*

**Key words:** Solar Energy, Solar Collector, Brazilian Energy Balance