

# **SEMINÁRIO PERSPECTIVAS DA ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL**

*Desenvolvimento da Energia Nuclear em Nível Mundial e Evoluções da Segurança, pós-Fukushima*

**Ronaldo Fabrício**

Vice-Presidente Executivo

**Rio de Janeiro, 12 de setembro de 2014**

**kWh/habitante: 2010****Mundo: 2.892**

Alemanha	7.217	Finlândia	16.484	República Checa	6.323
Argentina	2.904	França	7.756	Romênia	2.392
Brasil	2.485	Grécia	5.245	Rússia	6.460
Chile	3.301	Irlanda	6.023	Sérvia	4.358
Colômbia	1.012	Itália	5.384	Suécia	14.939
Croácia	3.808	Noruega	25.177	Suíça	8.216
Dinamarca	6.329	Países Baixos	7.011	Turquia	2.474
Equador	1.055	Paraguai	1.134	Ucrânia	3.550
Eslováquia	5.164	Peru	1.106	Uruguai	2.763
Eslovênia	6.520	Polônia	3.783	Venezuela	3.287
Espanha	6.155	Portugal	4.929		
Estados Unidos	13.361	Reino Unido	5.741		

# OPÇÕES TÉRMICAS NACIONAIS

(usinas a serem implantadas)

Combustível	Volatilidade de preços	Emissão de CO2	Oferta nacional	Preço (R\$/MWh)
CARVÃO	Estável nacional	Sim muita	Limitada Localizada	140 - 145
BIOMASSA	Estável nacional	Não	Limitada Localizada	100 - 120
GÁS NATURAL	Volátil commodity	Sim pouca	Limitada Requer transporte	130 - 150
PETRÓLEO	Volátil commodity	Sim muita	Limitada Requer transporte	>> 150
NUCLEAR Angra 3	Estável nacional	Não	Ampla Transporte fácil	135 - 140



NUCLEAR POWER REACTORS IN THE WORLD (end of 2013)

Group and Country	In Operation		Long-term Shut Down Reactors		Under Construction		Electricity Supplied by Nuclear Power Reactors in 2013	
	Number of Units	Total MW(e)	Number of Units	Total MW(e)	Number of Units	Total MW(e)	TW.h	Percent of Total Electricity
Hungary	4	1889					14.5	50.7
Romania	2	1300					10.7	19.8
Russian Federation	333	23643			10	8382	161.7	17.5
Slovakia	4	1815			2	880	14.6	51.7
Slovenia	1	688					5.0	33.6
Ukraine	15	13107			2	1900	78.2	43.6
<b>Africa</b>								
South Africa	2	1860					13.6	5.7
<b>Middle East South Asia</b>								
India	21	5308			6	3907	30.0	3.5
Iran, Islamic Republic of	1	915					3.9	1.5
Pakistan	3	690			2	630	4.4	4.4
United Arab Emirates					2	2690		
<b>Far East</b>								
China	20	15977			29	28774	104.8	2.1
Japan	48	42388	1	246	2	1325	13.9	1.7
Korea, Republic of	23	20721			5	6370	132.5	27.6
<b>World Total (*)</b>	<b>434</b>	<b>371733</b>	<b>2</b>	<b>692</b>	<b>72</b>	<b>69367</b>	<b>2358.6</b>	<b>11.0</b>

## ESTIMATES OF POPULATION GROWTH BY REGION (\*)

Country Group	2013		2020		2030		2050	
	Million Inhabitants	Growth Rate (%a) 2000 - 2013	Million Inhabitants	Growth Rate (%a) 2000 - 2013	Million Inhabitants	Growth Rate (%a) 2000 - 2013	Million Inhabitants	Growth Rate (%a) 2000 - 2013
North America	360	0.93	374	0.56	402	0.71	447	0.53
Latin America	607	0.98	652	1.03	702	0.73	751	0.34
Western Europe	491	0.45	504	0.37	515	0.21	520	0.05
Eastern Europe	391	-0.28	389	-0.07	381	-0.21	356	-0.34
Africa	1106	2.31	1278	2.09	1562	2.03	2192	1.71
Middle East and South Asia	1936	1.66	2119	1.30	2357	1.07	2679	0.64
South East Asia and the Pacific	438	0.90	488	1.55	526	0.75	564	0.35
Far East	1798	0.49	1852	0.42	1878	0.14	1798	-0.22
World Total	7127	1.52	7656	1.03	8323	0.84	9307	0.56

(\*) Projection figures are the arithmetic average between the low and high estimates.

TABLE 13. ESTIMATES OF AVERAGE ANNUAL GROWTH RATES DURING THE PERIOD 2013 - 2030 (%)

Country Group	Population	Total Energy	Total Electricity	Nuclear Energy	Nuclear Capacity
North America	0.6	0.0 - 0.3	0.6 - 0.7	-1.1 - 1.3	-1.2 - 1.2
Latin America	0.9	3.3 - 5.2	5.2 - 7.4	3.4 - 8.0	3.0 - 7.6
Western Europe	0.3	1.2 - 1.7	1.4 - 2.3	-2.1 - 1.2	-2.9 - 0.3
Eastern Europe	-0.2	0.8 - 1.9	1.8 - 2.9	2.5 - 5.4	1.6 - 4.5
Africa	2.1	3.7 - 7.0	6.7 - 8.6	0.4 - 10.8	0.0 - 10.3
Middle East and South Asia	1.2	4.7 - 5.4	7.0 - 7.4	10.9 - 15.3	8.6 - 12.9
South East Asia and the Pacific	1.1	2.6 - 2.8	4.3 - 5.1		
Far East	0.3	2.1 - 3.5	2.7 - 4.2	7.8 - 11.4	3.0 - 6.7
<b>World Average</b>	<b>0.9</b>	<b>2.2 - 3.3</b>	<b>3.1 - 4.2</b>	<b>1.6 - 4.9</b>	<b>0.4 - 3.8</b>

TABLE 11. ESTIMATES OF ENERGY AND ELECTRICITY REQUERIMENT PER CAPITA

Country Group	2013		2020		2030		2050	
	Energy Requeriment per Capita (GJ/cap)	Electricity Requeriment per Capita (MW h/cap)	Energy Requeriment per Capita (GJ/cap)	Electricity Requeriment per Capita (MW h/cap)	Energy Requeriment per Capita (GJ/cap)	Electricity Requeriment per Capita (MW h/cap)	Energy Requeriment per Capita (GJ/cap)	Electricity Requeriment per Capita (MW h/cap)
North America	283	12.9	275 - 291	13.1 - 13.2	255 - 268	12.8 - 13.1	231 ± 6	12.7 ± 0.3
Latin America	57	203	74 - 78	3.1 - 3.2	86 - 118	4.8 - 6.8	138 ± 24	9.1 ± 1.8
Western Europe	132	6.5	140 - 145	7.1 - 7.3	154 - 168	7.8 - 9.2	179 ± 11	11.2 ± 1.1
Eastern Europe	145	4.8	162 - 169	5.5 - 5.7	170 - 204	6.6 - 8.0	250 ± 21	10.2 ± 1.1
Africa	26	0.6	27 - 29	0.8 - 0.9	34 - 58	1.3 - 1.8	86 ± 30	3.4 ± 1.2
Middle East and South Asia	36	1.0	42 - 49	1.3 - 1.5	64 - 72	2.7 - 2.9	173 ± 19	7.9 - 0.6
South East Asia and the Pacific	59	2.0	61 - 64	2.3 - 2.3	75 - 78	3.4 - 3.8	172 ± 10	8.2 ± 0.8
Far East	94	3.7	103 - 111	4.3 - 4.9	129 - 162	5.6 - 7.1	231 ± 27	11.8 ± 1.63
World Total	77	3.0	82 - 88	3.3 - 3.6	95 - 116	4.3 - 5.1	167 ± 22	8.2 ± 1.1

(\*) Projection figures are the arithmetic average between the low and high estimates with indicated range.

ESTIMATES OF TOTAL ELECTRICITY GENERATION AND CONTRIBUTION BY NUCLEAR POWER (\*)

Country Group	2013			2020			2030			2050 (a)			
	Total Elect. TW.h	Nuclear		Total Elect. TW.h	Nuclear		Total Elect. TW.h	Nuclear		Total Elect. TW.h	Nuclear		
		TW.h	%		TW.h	%		TW.h	%		TW.h	%	
North America	4663	884.5	19.0	4911	882	18.0	5151	729	14.1	5673	484	8.5	
				4925	936	19.0	5244	1095	20.9		1262	22.2	
Latin America	1413	30.9	2.2	2001	34	1.7	3335	54	1.6	6831	105	1.5	
				2095	43	2.1	4737	114	2.4		474	6.9	
Western Europe	3183	771.1	24.2	3552	748	21.1	4028	538	13.4	5818	268	4.6	
				3680	837	22.7	4721	945	20.0		1056	18.2	
Eastern Europe	1868	329.2	17.6	2136	443	20.7	2524	504	20.0	3637	530	14.6	
				2206	504	22.8	3040	809	26.6		1147	31.5	
Africa	691	13.6	2.0	1058	14	1.3	2069	15	0.7	7417	56	0.8	
				1200	14	1.2	2811	78	2.8		342	4.6	
Middle East and South Asia	1993	38.3	1.9	2835	84	3.0	6245	223	3.6	21133	385	1.8	
				3260	122	3.7	6732	430	6.4		1143	5.4	
South East Asia and the Pacific	866			1113			1771	0	0.0	4640	40	0.9	
				1145			2018	32	1.6		161	3.5	
Far East	6688	291.0	4.4	8029	649	8.1	10586	1036	9.8	21263	1459	6.9	
				9088	874	9.6	13430	1825	13.6		3214	15.1	
World Total	Low Estimate	21365	2358.6	11.0	25635	2854		37509	3099	8.7	76412	3327	4.4
	High Estimate				27599	3330		42733	5328	12.5		8799	11.5

Notes:

(\*) The nuclear generation data presented in this table and the nuclear capacity data presented in Table 3 cannot be used to calculate average annual capacity factors for nuclear plants, at Table 3 presents year-end capacity and not the effective capacity average over the year.

(a) Projection figures for total electricity generation are the arithmetic average between the low and high estimates.

## ACIDENTE DE FUKUSHIMA

- A ENERGIA NUCLEAR SEMPRE FOI UM DOS PILARES DA PRODUÇÃO DE ENERGIA DO JAPÃO (28,9%). A PREVISÃO ERA AUMENTAR ESTA PARTICIPAÇÃO PARA 40% ATÉ 2017.
- PASSADO UM ANO DO ACIDENTE, A MAIORIA DOS PAÍSES DECIDIRAM MANTER A ENERGIA NUCLEAR NA SUA MATRIZ A EXCESSÃO DA ALEMANHA, SUÍÇA E BÉLGICA.
- A FRANÇA QUE TEM 74,1% DA SUA PRODUÇÃO DE ENERGIA PROVENIENTE DA GERAÇÃO NUCLEAR DETERMINOU UMA INSPEÇÃO SOBRE SEGURANÇA E RECOMENDOU UM INVESTIMENTO SUBSTANCIAL PARA AUMENTAR A SEGURANÇA DAS USINAS EXISTENTES .

➤ DA MESMA FORMA OUTROS PAÍSES TEM REALIZADO "STRESS TEST" PARA GARANTIR A SEGURANÇA NO CASO DE EVENTOS NATURAIS EXTREMOS. CHINA, FINLÂNDIA, FRANÇA, ÍNDIA, RÚSSIA, CORÉIA DO SUL, EMIRATES UNIDOS, ESTADOS UNIDOS E REINO UNIDO ENTRE OUTROS, ESTÃO PROSSEGUINDO A CONSTRUÇÃO DE NOVAS USINAS NUCLEARES COM A REAVALIAÇÃO DA SUA SEGURANÇA.

➤ ATUALMENTE 435 USINAS ESTÃO EM OPERAÇÃO EM 31 PAÍSES, 62 USINAS ESTÃO EM CONSTRUÇÃO EM 14 PAÍSES.

- É IMPORTANTE FRISAR QUE A INDÚSTRIA DE USINAS NUCLEARES É ALTAMENTE REGULADA EM TODOS OS SEUS ASPECTOS DESDE O PROJETO, CONSTRUÇÃO, ATÉ A OPERAÇÃO. QUALQUER MODIFICAÇÃO NAS USINAS É OBJETO DE ANÁLISES EXTENSIVAS, DOCUMENTAÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE.
- EM FUNÇÃO DESTES ACONTECIMENTOS O NÍVEL PROJETADO DE FUTURAS USINAS NUCLEARES SOFREM UMA REDUÇÃO.
- ESTA REDUÇÃO CONTUDO, AUMENTOU O INTERESSE PELOS "PEQUENOS REATORES MODULADOS".

## PEQUENOS REATORES MODULADOS

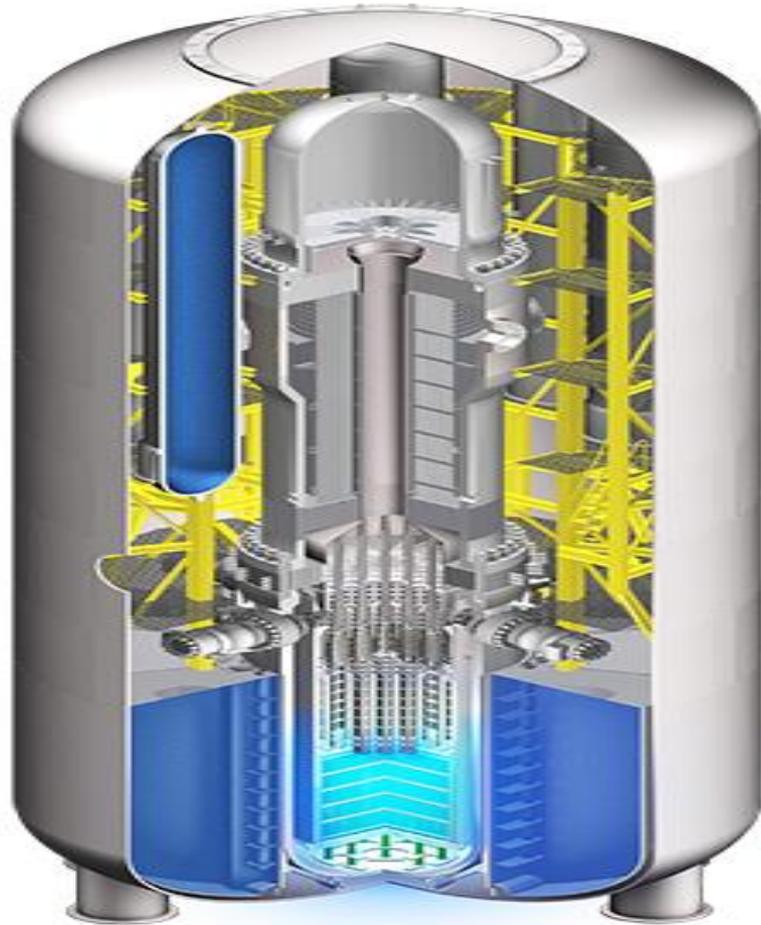
- OS PEQUENOS REATORES MODULADOS (*SMR – Small Modular Reactor*) SÃO PARTE DE UMA NOVA GERAÇÃO DE REATORES CUJOS PROJETOS ESTÃO SENDO REALIZADOS EM VÁRIOS PAÍSES. SEU OBJETIVO É FORNECER UMA ALTERNATIVA ENERGÉTICA FLEXÍVEL E COM MENOR CUSTO.

SÃO DEFINIDOS PELA AIEA COMO AQUELES QUE GERAM MENOS DE 300 MWe, EMBORA A OPINIÃO GERAL É QUE QUALQUER UM QUE GERAR ATÉ 500 MWe PODE SER CONSIDERADO COMO TAL.

OS "SMR" SÃO FABRICADOS EM UMA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL E TRAZIDOS PARA O CANTEIRO TOTALMENTE CONSTRUÍDOS. ELES PERMITEM MENOS ATIVIDADES NO CANTEIRO DE OBRAS, AUMENTO DA EFICIÊNCIA DA ESFERA DE CONTENÇÃO E AUMENTAM A SEGURANÇA DOS MATERIAIS NUCLEARES.

## CARACTERÍSTICAS

- CARACTERÍSTICAS DE SEGURANÇA PASSIVA DESTINADA A DESLIGAR O REATOR AUTOMATICAMENTE E MANTÊ-LO REFRIGERADO SEM AÇÃO HUMANA OU CORRENTE ALTERNADA POR 7 DIAS;
- QUANTIDADES MENORES DE COMBUSTÍVEL, RESULTANDO EM QUANTIDADE DE RADIOATIVIDADE REDUZIDA NO CASO DE UM ACIDENTE;
- REMOÇÃO DE CALOR COM DEPÓSITO DE ÁGUA NO SÍTIO, QUE SE APOIA EM FORÇAS NATURAIS DE EVAPORAÇÃO, CONDESAÇÃO E GRAVIDADE.
- CONTENÇÃO SUBTERRÂNEA



### **Westinghouse SMR Features at a Glance:**

- *Electric Output: >225+ MWe*
- *Reactor Power: 800 MWe*
- *Design Life: 60 years*
- *Fuel Type: 17x17 RFA, <5% enriched UO<sub>2</sub>*
- *Total Site Area: ~15 acres*
- *Passive Safety Systems*
- *Rail, Truck or Barge Shippable*
- *Compact Integral Design*
- *Simplified System Configuration, Standardized, Fully Modular Approach*
- *Minimized Footprint, Maximized Power Output*
- *24 Months between Refueling*

## VANTAGENS

- CARACTERÍSTICAS DE SEGURANÇA AMPLIADAS;
- PESSOAS PARA OPERAÇÃO – REDUÇÃO DO EFETIVO;
- AUMENTAM A NÃO PROLIFERAÇÃO

## ALGUMAS CARACTERÍSTICAS

- SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO USAM A CIRCULAÇÃO NATURAL INDEPENDENDO DE BOMBAS;
- MAIOR "*BURN UP*" DO COMBUSTÍVEL
  
- PAÍSES QUE JÁ FABRICAM OS PEQUENOS REATORES MODULADOS, ARGENTINA (CAREM), ESTADOS UNIDOS, CANADÁ, RÚSSIA , ÁFRICA DO SUL E JAPÃO.