



Universidade Federal do Rio de Janeiro

Os Veículos Elétricos Híbridos Plug-in como uma forma de maximizar a Integração da Energia Renovável Variável nos Sistemas de Energia: O Caso da Geração Eólica no Nordeste do Brasil

Alexandre Szklo, Bruno Soares Borba and Roberto Schaeffer

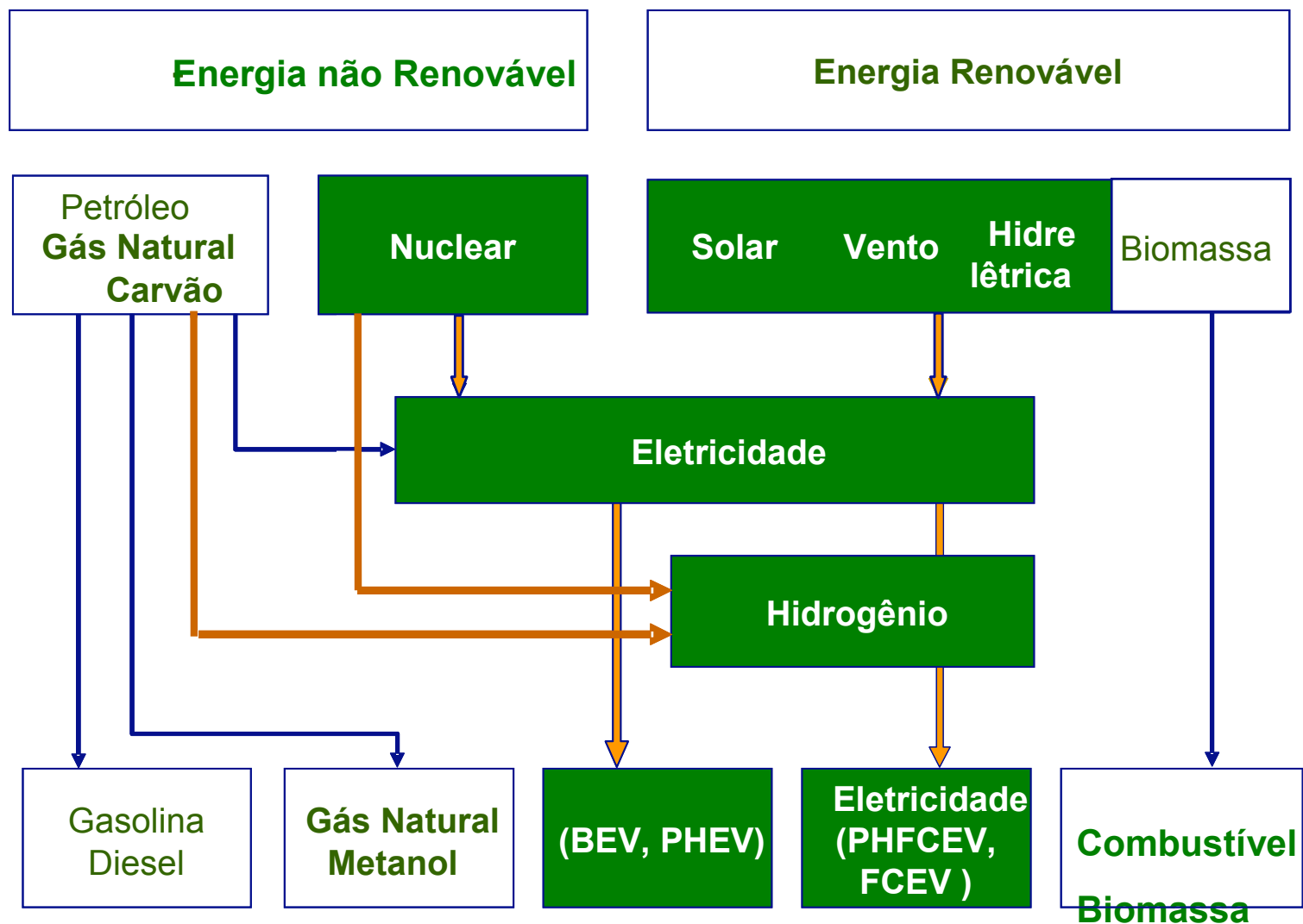


**Programa de Planejamento Energético
COPPE / UFRJ**

BNDES, 19 May 2011

Setor de Transportes

Alternativas energéticas para o setor



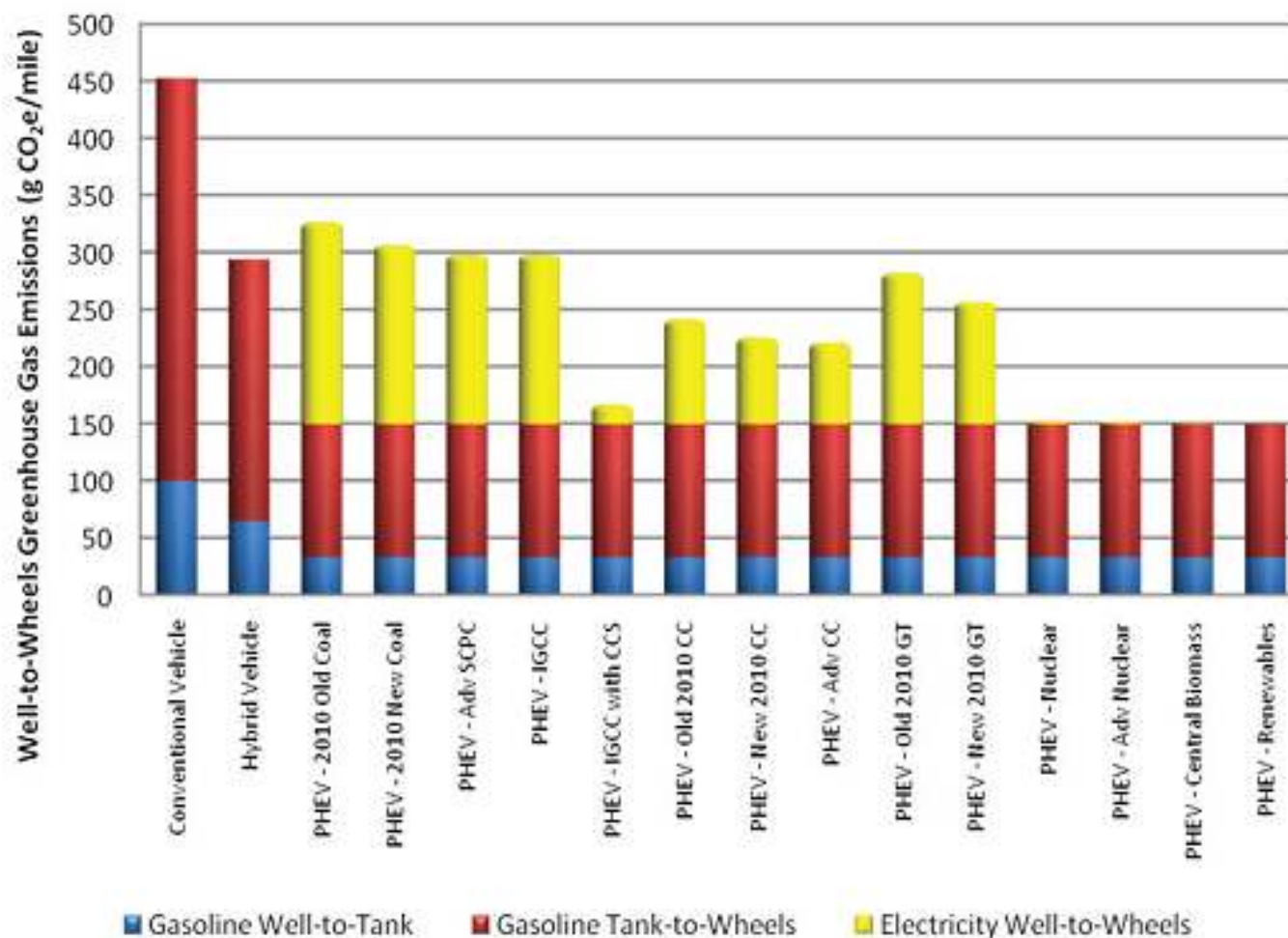
Fonte: EPRI, 2008

Por Que Veículos Elétricos?

- Forma de reduzir as emissões atmosféricas (principalmente CO₂) e aumentar a segurança do abastecimento do setor de transporte.
- Outros benefícios:
 - ✓ Operação silenciosa
 - ✓ Ausência ou baixa emissão no escapamento
 - ✓ Maior eficiência do tanque à roda
- Tarifação inteligente:
 - ✓ Diminuição no ciclo das plantas de energia (ou evitar start-ups adicionais do gerador, o que de outra forma reduziria a eficiência global)
 - ✓ Aumentar o fator de capacidade das plantas de carga de base

Emissões associadas

Emissões por ciclo de vida



Year 2010 comparison of PHEV 20 GHG emissions when charged entirely with electricity from specific power plant technologies (12,000 miles driven per year).

Comparação ano 2010 das emissões de Gases de Efeito Estufa PHEV 20 quando carregados totalmente com eletricidade proveniente de tecnologias específicas de usinas energéticas (12.000 milhas percorridas anualmente).

Fonte: EPRI, 2009

Modos de recarga

Método	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (kW)
Nível 1	127 CA	12 - 16	1,5 - 2,0
Nível 2 (baixa)	220 CA	12 - 16	2,5 - 3,5
Nível 2 (alta)	220 CA	< 80	< 18
Nível 3 (CA)	6003 □		15 - 96
Nível 3 (CC)	600 CC		< 240

- Nível 1 – Sistema de energia residencial padrão
- Nível 2 – Algumas mudanças podem ser necessárias
- Nível 3 – Em estudo. Alta potência envolvida além da capacidade atual dos transformadores de distribuição para as áreas residenciais e mesmo para algumas áreas comerciais

Tempo de Recarga

Veículo	Autonomia (km)	Energia (kWh)	Horas		
			Nível 1	Nível 2	Nível 3
			1,9 kW	7,7 kW	150 kW
PHEV	10	1,11	0,58	0,14	0,01
PHEV	20	2,22	1,17	0,29	0,01
PHEV	50	5,56	2,92	0,72	0,04
EV	100	16,67	8,77	2,16	0,11
EV	200	33,33	17,54	4,33	0,22
EV	300	50,00	26,32	6,49	0,33
EV	400	66,67	35,09	8,66	0,44
EV	500	83,33	43,86	10,82	0,56

Impacto sobre o Sistema Elétrico Brasileiro

Em termos de Energia

% de BEV na frota real*	BEV na Frota	Distância por ano (km)	Desempenho (km/kWh)	Energia (GWh)	% Consumo Brasil 2009**
10	2548000	15,000	6,0	6,370	1,6%
20	5096000	15,000	6,0	12,740	3,2%
50	12740000	15,000	6,0	31,850	8,0%
70	17836000	15,000	6,0	44,590	11,1%
100	25480000	15,000	6,0	63,700	15,9%

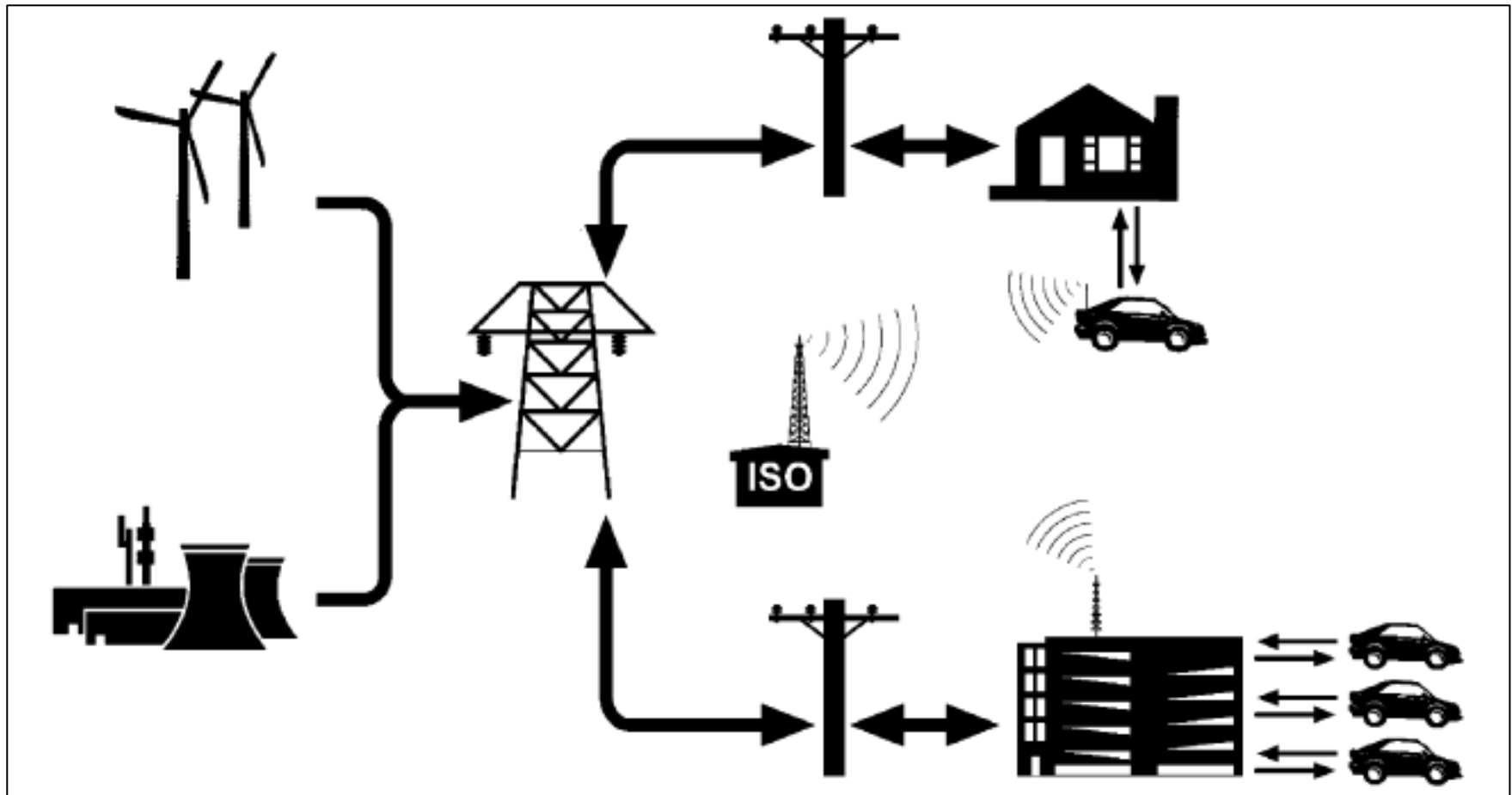
* Considerando uma frota de 25 milhões de LDVs (ANFAVEA, 2009)

** Considerando um consumo anual de eletricidade de 400 TWh (EPE, 2010)

➤ Do ponto de vista energético, o impacto seria aceitável

Veículo à Malha (V2G)

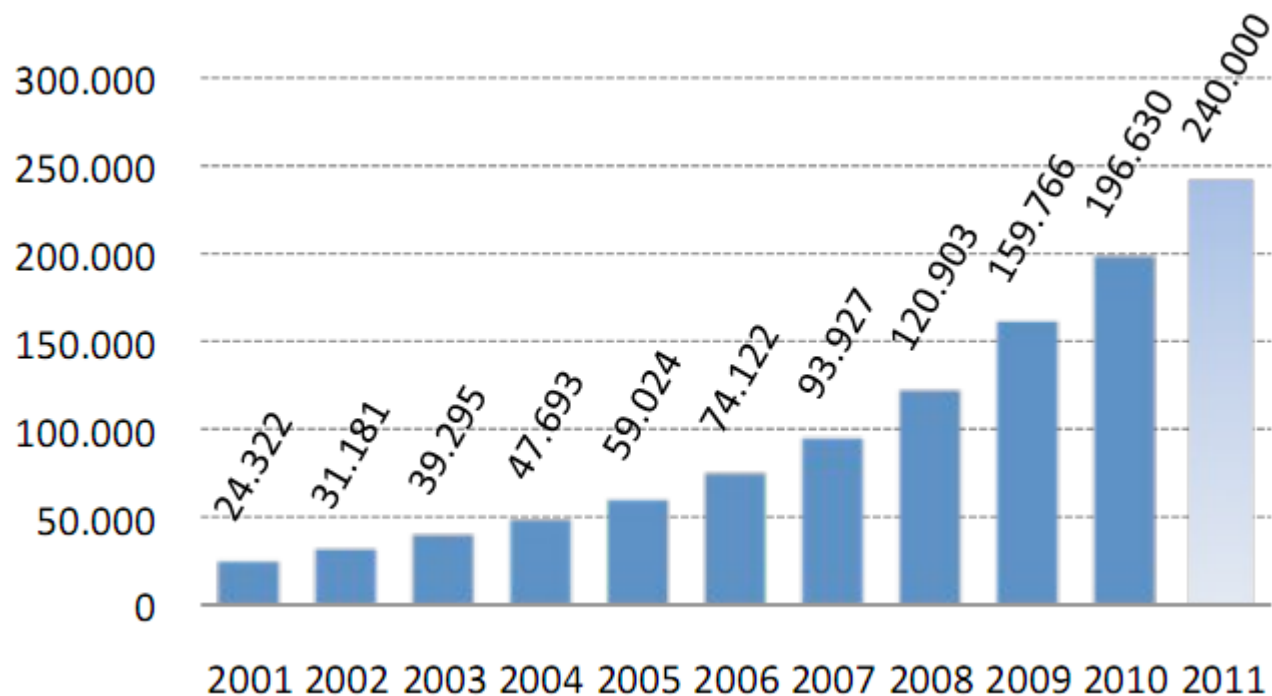
Esquema



Fonte: TOMIC e KEMPTON, 2007

Por que Energia Eólica?

- Ao longo da última década, a geração de energia eólica se expandiu muito em inúmeros países devido à sua capacidade de renovação, aos custos em declínio e à ausência de poluição local e global
- A capacidade de energia eólica total instalada no mundo saltou oito vezes entre 2001 e 2010, passando de 24 GW para 196 GW



Fonte: WWEA, 2011

Impactos da Energia Eólica

- As turbinas eólicas aplicam sistemas baseados muitas vezes na eletrônica da potência
- A energia primária (vento) não é controlável e flutua estocasticamente
- O tamanho típico das turbinas eólicas é muito menor do que o de uma usina convencional



Impactos da penetração da energia eólica nos sistemas de energia:

1.Os impactos locais da energia eólica ocorrem perto das turbinas e/ou parques eólicos: controle de tensão, corrente de fuga, distorções harmônicas e flicker. Estes efeitos são influenciados pelo tipo de turbinas eólica aplicada

2.Os grandes impactos do sistema nos sistema de energia incluem o desequilíbrio entre carga e geração, a geração de potência reativa e o controle de frequência reduzida. Esses problemas estão fortemente relacionados com o nível de penetração no sistema como um todo

Como Integrar a Energia Eólica?

P. Denholm, M. Hand / Energy Policy 39 (2011) 1817–1830

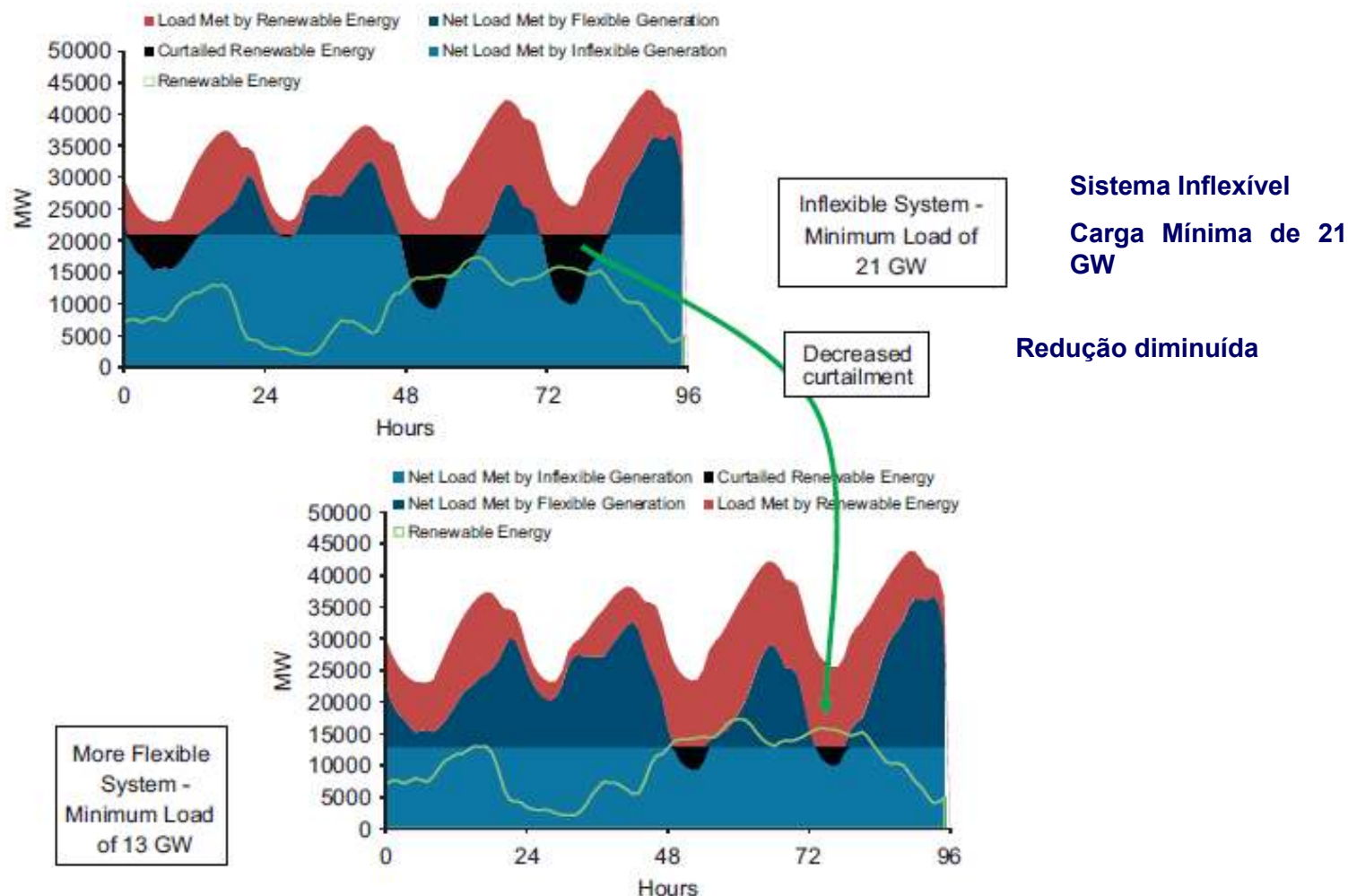


Fig. 3. Impact of system flexibility on curtailed energy.

Impacto da flexibilidade do sistema na energia reduzida

Penetração da Energia Eólica

- A variabilidade da energia eólica pode afetar o equilíbrio entre a

ge
ex
en

Vamos testar o uso de uma frota de táxis PHEV no nordeste do Brasil como forma de estimular a

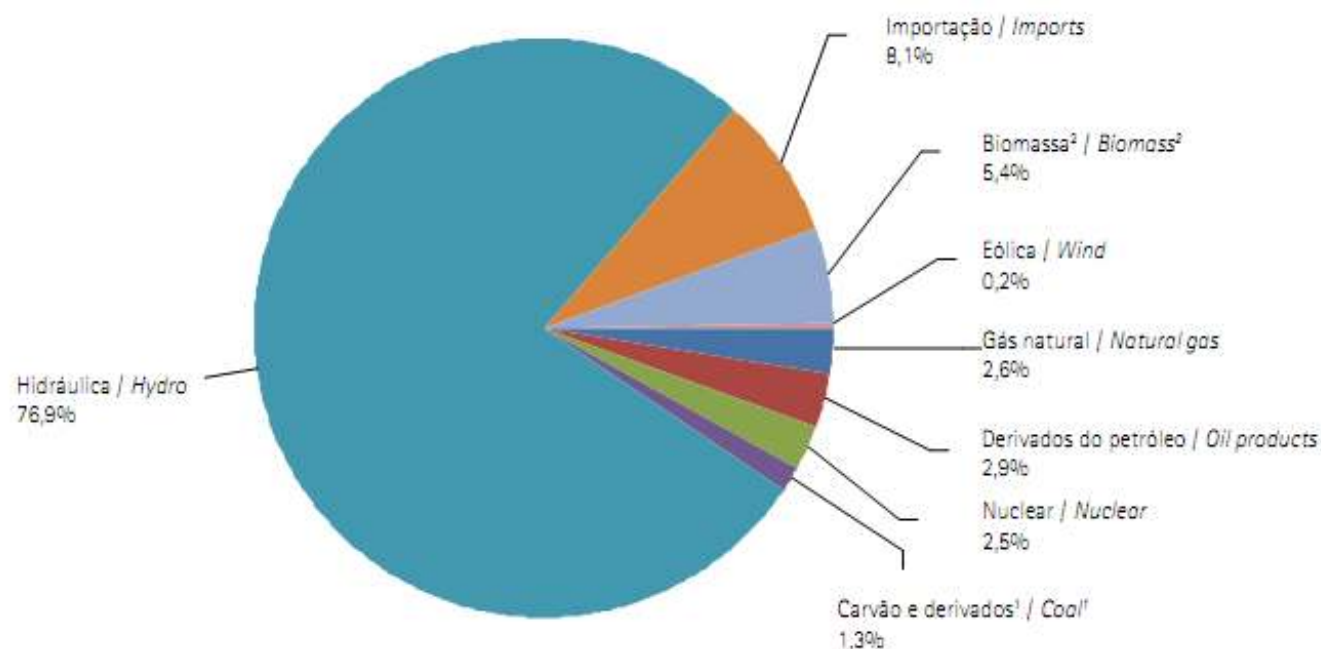
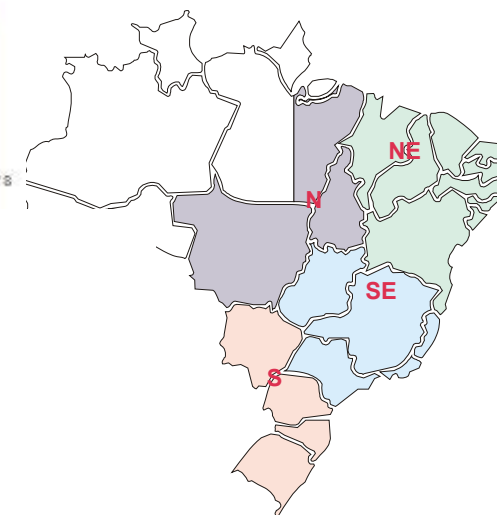
- eletrificação dos veículos e adiar os custos de redes inteligentes. O tempo de carga da bateria desses veículos poderia ser facilmente controlado usando-se,

ho
até

por exemplo, a gestão das frotas

Nordeste do Brasil dependerá cada vez mais das usinas inflexíveis, devido ao projeto de construção usinas nucleares e hidrelétricas a fio d'água

Sistema de Energia Elétrica do Brasil



Notas/ Notes:

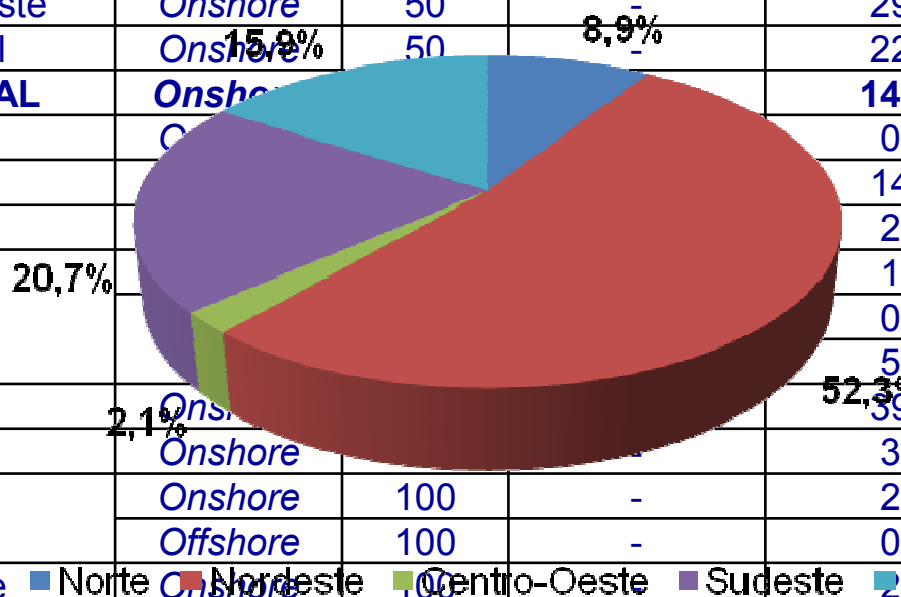
1 Inclui gás de coqueria / Includes coke gas.

2 Biomassa inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações / Biomass includes firewood, sugar cane bagasse, black liquor and other wastes.



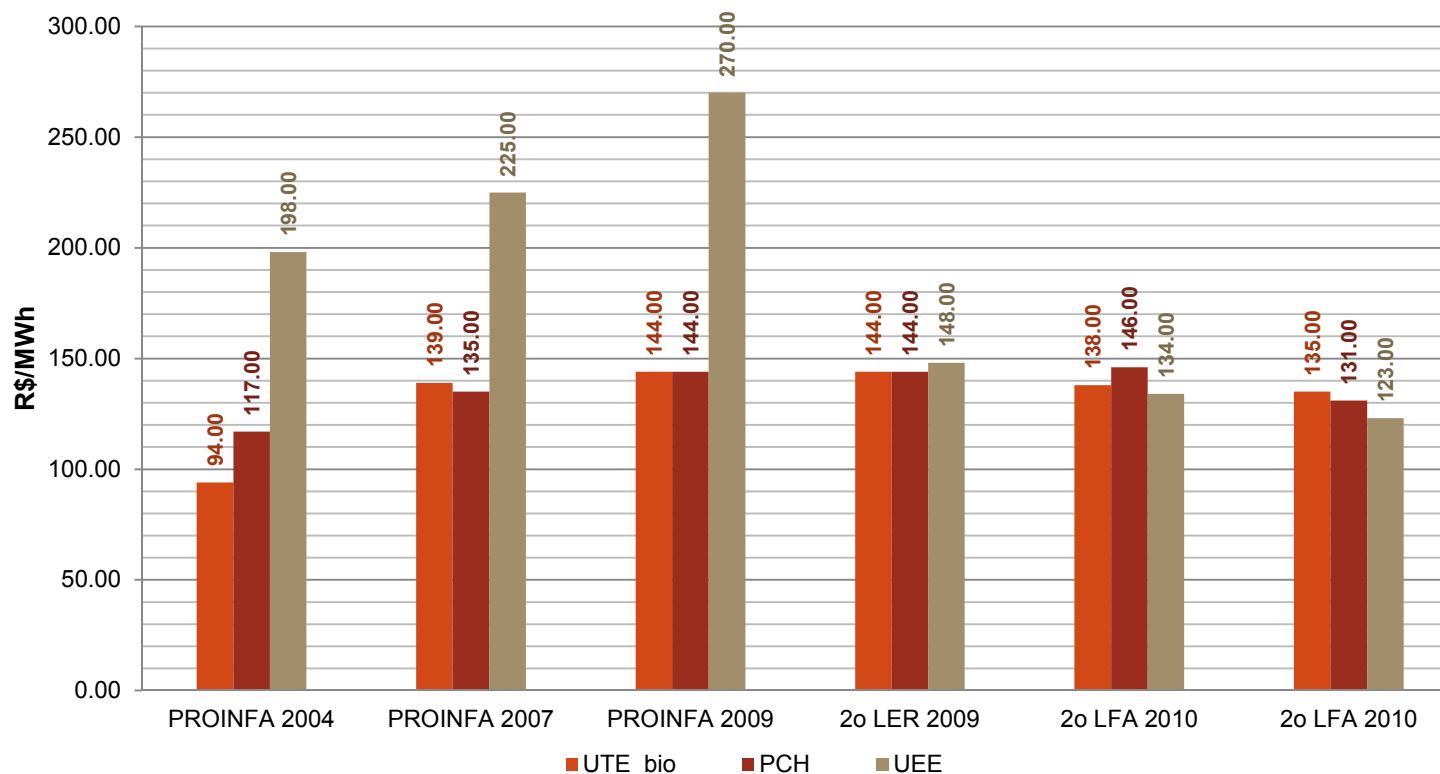
Potencial da Energia Eólica

Região		Onshore/ offshore	Altura (m)	Profundidade (m)	Potência instalável (GW)	Fator de capacidade (%)
Brasil (Atlas do Potencial Eólico Brasileiro)	Norte	Onshore	50	-	12,84	20,0 – 30,0%
	Nordeste	Onshore	50	-	75,05	20,0 – 30,0%
	Centro-Oeste	Onshore	50	-	3,08	20,0 – 30,0%
	Sudeste	Onshore	50	-	29,74	20,0 – 30,0%
	Sul	Onshore	50	-	22,76	20,0 – 30,0%
	TOTAL	Onshore			143,47	20,0 – 30,0%
Alagoas		Onshore	50	-	0,65	21,7 – 30,3%
Bahia		Onshore	50	-	14,46	25,0 – 32,0%
Ceará		Onshore	50	-	24,9	22,0 – 32,0%
Espírito Santo		Onshore	50	-	1,14	23,0 – 30,0%
Minas Gerais		Onshore	50	-	0,41	24,8 – 31,5%
Paraná		Onshore	50	-	5,55	24,6 – 31,9%
Rio de Janeiro		Onshore	100	-	39,04	24,6 – 31,8%
Rio de Janeiro		Offshore	100	-	0,34	31,0 – 37,7%
		Offshore	100	-	2,81	34,6 – 40,2%
Rio Grande do Norte		Onshore	100	-	0,34	32,1 – 39,9%
Rio Grande do Sul		Onshore	100	-	115,2	24,0 – 33,0%
Sul e Sudeste offshore (cálculo para o aerogerador GE 3.6s)		Offshore	80	0 - 10	19,74	24,0 – 33,0%
		Offshore	80	0 - 20	27	>40%
		Offshore	80	20 - 50	75	>40%
		Offshore	80	50 - 100	114	>40%
		TOTAL	80	0 - 100	216	>40%

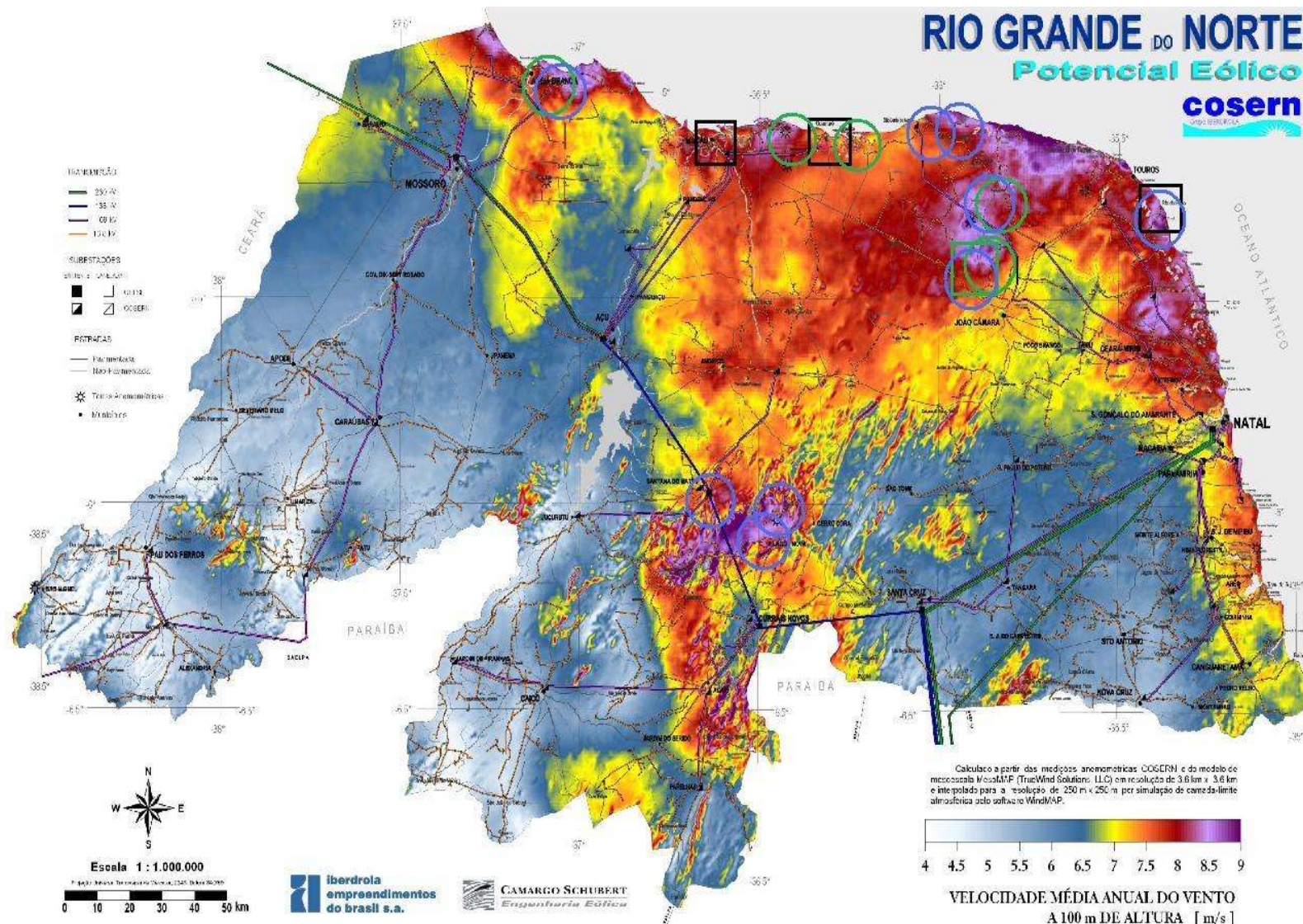


Leilão da Energia Eólica

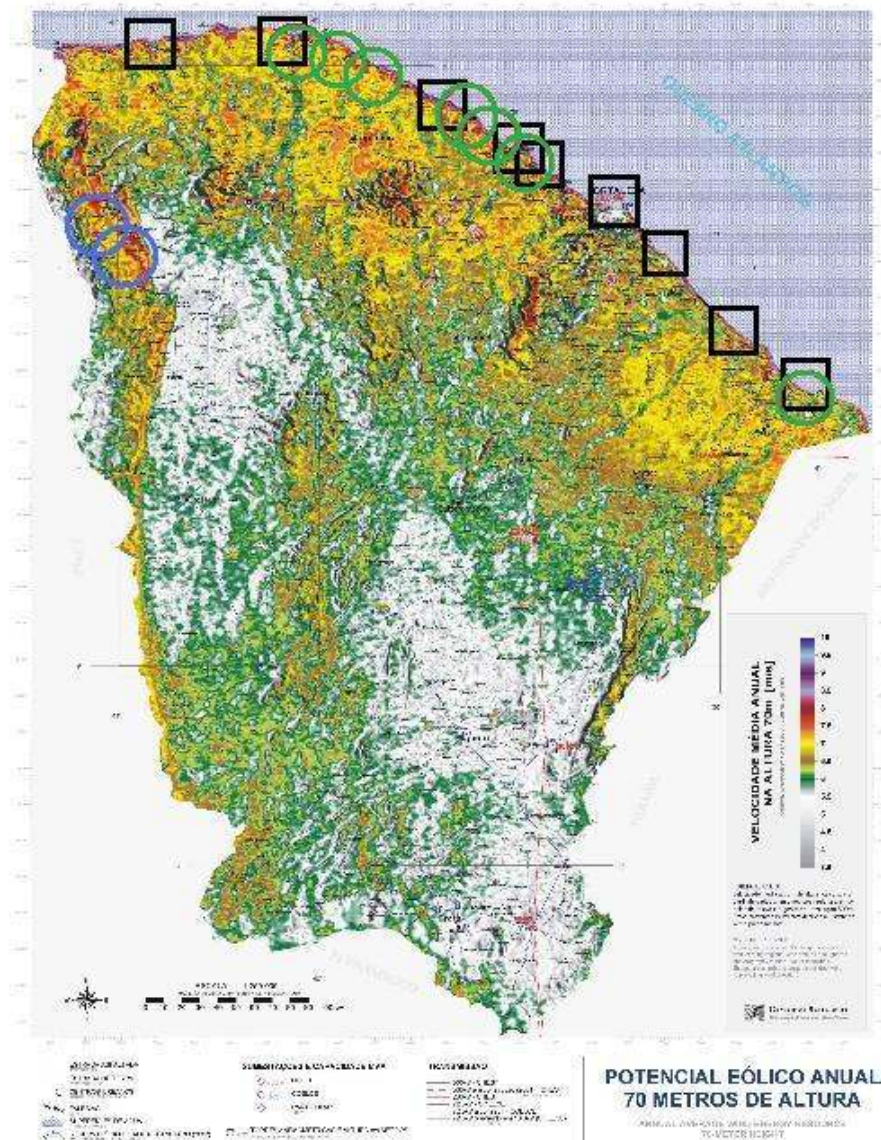
- Capacidade Instalada em 2011: 926,9 MW
- Capacidade Instalada em 2013: 3800 MW
- Diminuição dos preços de licitação
- Mais de 50% da nova capacidade contratada (1.721,6 MW) estará localizada no Rio Grande do Norte



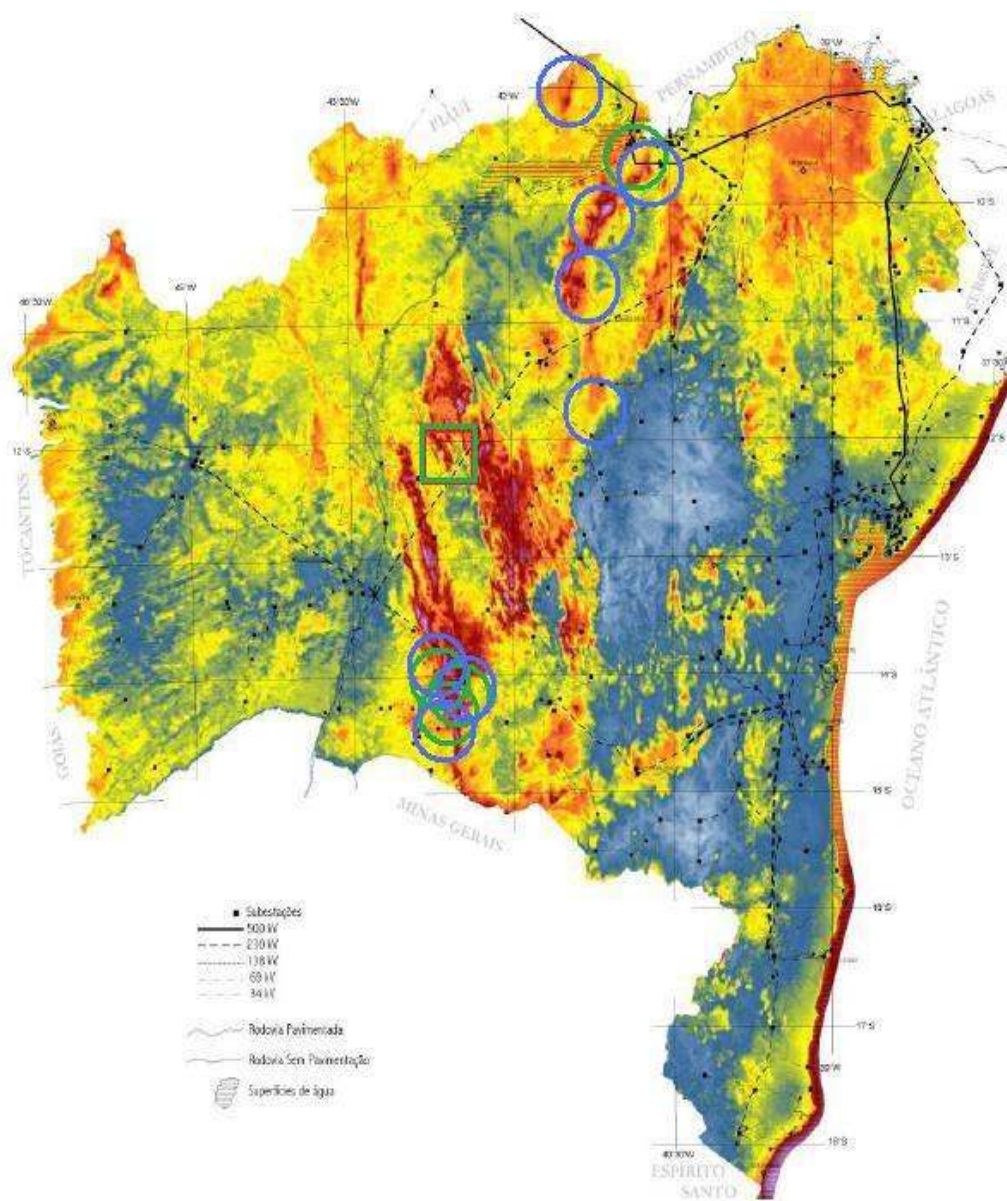
Potencial da Energia Eólica



Potencial da Energia Eólica



Potencial da Energia Eólica



ESTADO DA BAHIA Atlas do Potencial Eólico



Potencial Eólico
a 70m de Altura



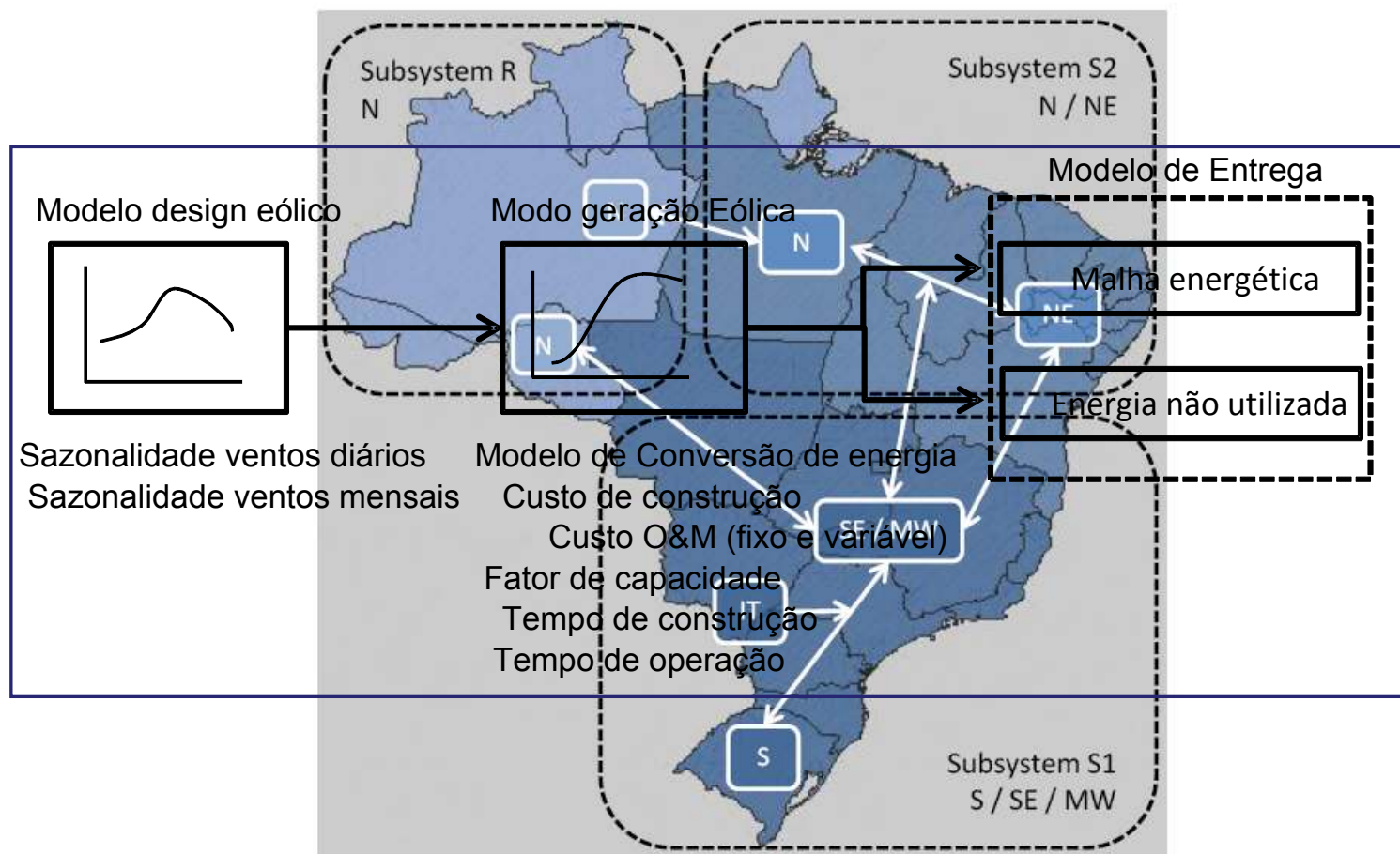
Escala 1 : 4.000.000
Projeção Universal Transversa de Mercator - Zona 18B

Sistema de Energia Elétrica do Brasil

1. Penetração da energia eólica no Brasil até 2019:
 - ✓ 544 MW/ano (PDE / EPE)
2. A expansão das UHEs a fio d'água nas regiões Nordeste e Norte:
 - ✓ Projetos Belo Monte, Santo Antônio e Jirau
3. Planos de construção de usinas nucleares no Nordeste (fase inicial de estudo):
 - ✓ Os planos do governo prevêem a construção de duas usinas nucleares no Nordeste, com aproximadamente 1.000 MW cada, e há também a possibilidade de mais quatro usinas nucleares com a mesma capacidade antes de 2030
4. Tendência para menor flexibilidade operacional no sistema de energia do Nordeste
 - ✓ De acordo com a EPE, a expansão da capacidade de armazenamento das usinas hidrelétricas no horizonte de 2019 será de 11%, contra um aumento na capacidade instalada de 61%

Estudo de Caso

Integração dos PHEVs com Parques Eólicos em larga escala no Nordeste do Brasil



Notes: N – North, S – South, SE – Southeast, NE – Northeast, MW – Midwest, IT – Itaipu Hydroelectric Station.

Estudo de Caso

Características da geração de energia no MESSAGE

	Custo Investimento US\$/kW	Custo O&M variável US\$/MWh	Custo O&M fixo US\$/kW	Fator de Capacidade
Hidroelét grande (>300 MW)	2,091	-	64.58	*
Hidroelét média (>30 MW<300MW)	2,513	-	58.43	*
Hidroelét pequena (<30 MW)	2,936	-	52.28	*
Gás natural de ciclo aberto	450	0.41	-	0.90
Gás Natural de ciclo combinado	850	0.41	12.65	0.85
Carvão	2,530	3.57	24.30	0.70
Nuclear	4,000	0.42	56.44	0.85
Bagaço contrapressão 22 Bar	2,885	10.62	-	0.90
Bagaço CEST	2,712	10.22	-	0.90
Bagaço BIG GT	3,995	21.53	-	0.80
Vento	1,810	-	41.62	0.35
RSU	7,050	-	211.50	0.74
Diesel	1,000	7.99	-	0.95
Fuel oil	1,070	10.84	-	0.85

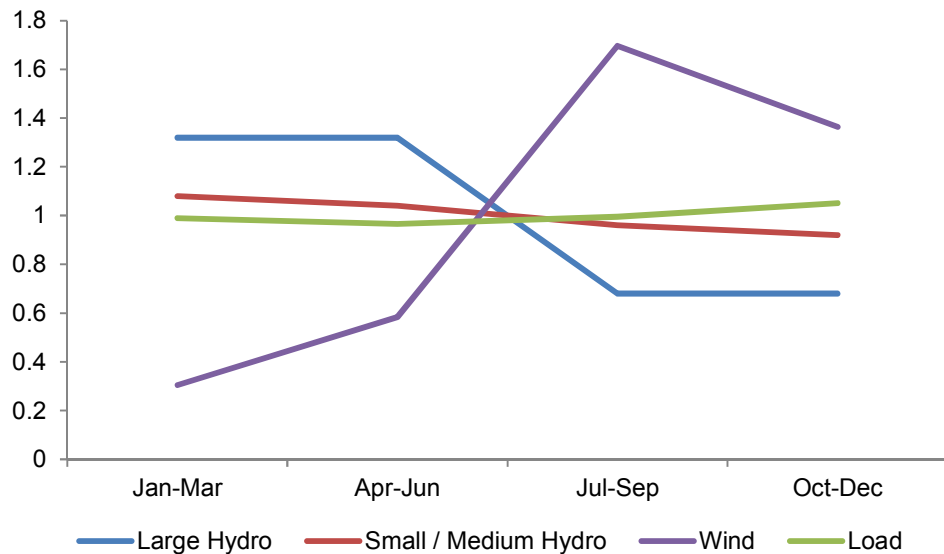
* Os fatores de capacidade de geração hidrelétrica estão mostrados no próximo slide

Câmbio	MW	Data Operação
S1 → S2	5,000	Presente
S1 → R	500	Presente
S2 → S1	5,300	Presente
S2 → R	1,500	2015
R → S1	5,600	2015
R → S2	6,000	2015

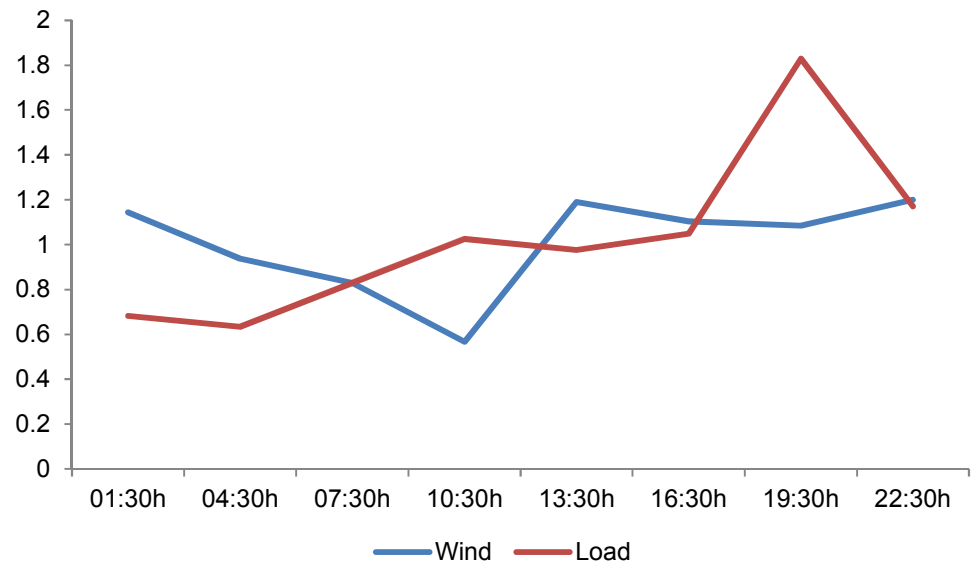
Estudo de Caso

Sazonalidade no Subsistema S2

Sazonalidade mensal – Energia hidro e eólica



Sazonalidade horária – Energia eólica e Carga



Resultados

Capacidade instalada projetada no subsistema S2 (MW)

	2010	2015	2020	2025	2030
Backpressure 22 bar bagasse	398	398	398	398	398
BIG-GT bagasse	0	0	0	0	2,604
Combined-cycle natural gas	1,137	1,137	1,137	1,137	1,137
Open-cycle natural gas	10,762	12,182	12,182	12,182	13,108
Large hydroelectric	18,513	18,513	18,513	18,513	18,513
Medium hydroelectric	1,046	3,535	3,535	5,535	7,535
Small hydroelectric	89	131	180	180	180
Diesel oil	853	853	853	853	853
Nuclear	0	0	2,000	4,000	6,000
Wind	671	4,093	6,000	8,500	11,000
Total	33,469	40,842	44,798	51,298	61,328



cerca de 18% da capacidade instalada total do subsistema

Resultados

Excedente de energia eólica projetado no subsistema S2

Trimestre	GWh/período	2015	2020	2025	2030
Jan/Fev/Mar	1 - 6h	269	462	654	846
	6 - 10h	0	0	0	0
	10 - 18h	0	0	0	0
	18 - 21h	0	0	0	0
	21 - 24h	0	0	0	0
Abril/Maio/Jun	1 - 6h	425	344	707	1,352
	6 - 10h	0	0	0	0
	10 - 18h	0	0	0	0
	18 - 21h	0	0	0	0
	21 - 24h	0	0	0	0
Jul/Ago/Set	1 - 6h	0	0	0	0
	6 - 10h	0	0	0	0
	10 - 18h	0	0	0	0
	18 - 21h	0	0	0	0
	21 - 24h	0	0	0	0
Out/Nov/ Dec	1 - 6h	0	0	0	0
	6 - 10h	0	0	0	0
	10 - 18h	0	0	0	0
	18 - 21h	0	0	0	0
	21 - 24h	0	0	0	0

Resultados

Excedente de energia elétrica no Subsistema S2 e frota de veículos híbridos plug-in necessária para usar esta energia

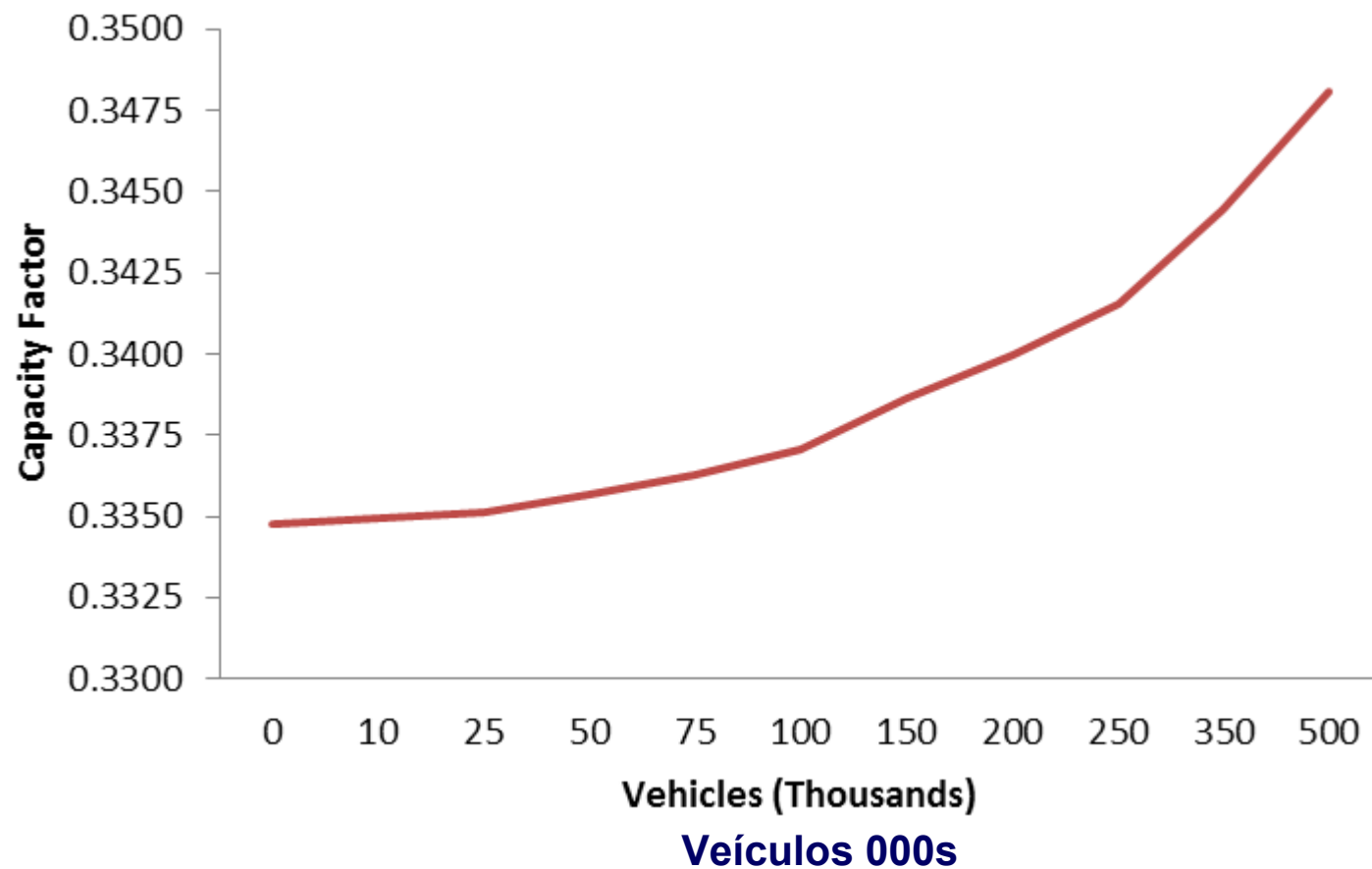
	Excedente energia (GWh)	demanda S2	%	nº de veículos	
	Energy Surplus (GWh)	S2 Demand (TWh)	%	Number of Vehicles	→ PHEV50
2015	695	108	0.6%	521,010	
2020	805	123	0.7%	604,119	
2025	1361	142	1.0%	1,020,426	
2030	2198	159	1.4%	1,648,558	

Em resumo...

1. A geração eólica excedente anual, com coordenação adequada, pode ser usada para abastecer uma frota de PHEVs
2. A recarga da bateria durante as horas noturnas pode ser alcançada através de temporizadores e seria mais fácil de gerenciar com uma frota de táxis
3. Este controle na primeira fase (na próxima década) permitiria a formulação de planos estratégicos para a futura electrificação do setor de transportes, retardando os custos da rede inteligente
4. O excedente de energia ocorreria principalmente entre janeiro e junho
 - ✓ Isto poderia ser uma vantagem devido à complementação com a colheita da cana na região Nordeste, que ocorre entre setembro e março. Isso permitiria o uso de uma frota de veículos híbridos plug-in com motores a etanol
5. Uma frota deste tipo pode ajudar a aumentar o fator de capacidade dos parques eólicos e, assim, estimular a tecnologia no país, reduzir a demanda por combustíveis líquidos e promover a entrada dos PHEVs

Resultados

Fator de Capacidade dos Parques Eólicos com a Entrada dos PHEVs de Alta CONTROLABILIDADE



Obrigado!

Alexandre Szklo – szklo@ppe.ufrj.br

Roberto Schaeffer – roberto@ppe.ufrj.br



Programa de Planejamento Energético
COPPE / UFRJ