

5th International Workshop - Advances in Cleaner Production

São Paulo - Brazil - 22th to 24nd, May, 2015

**Aporte para a matriz elétrica do Brasil em 2050 - descentralizada,
mais limpa, eficiente e renovável**

Douglas Wittmann, Prof. Dr.

Instituto de Energia e Ambiente – IEE da Universidade de São Paulo – USP

dwit@usp.br

Academic Work

QUESTÃO

No Brasil, na produção de energia elétrica, há um cenário de agrave, por escassez de energia afluyente na produção hídrica, exigindo maior acionamento térmico.

Para o futuro, usinas predominantemente a fio d'água, que estão sendo inseridas, estarão pronunciando ainda mais essa necessidade.

Por força da estruturação térmica, sobrarão mais emissões de GEEs e consumo de recursos fósseis por unidade de energia elétrica produzida.

- **É possível promover alinhamento da Industria de Energia Elétrica no Brasil com busca de desenvolvimento sustentável para o país? Como?**

OBJETIVO

- **Apresentar um cenário futuro alternativo, eleito 2050, de fornecimento de energia elétrica, balizado na aceleração do uso das fontes renováveis, premissa postulada como alinhamento à busca de desenvolvimento sustentável para o país.**



MÉTODOS DO ESTUDO

Na elaboração geral do estudo:

- **Pesquisa; Análise; e Síntese;** a partir da exploração, em caráter **dedutivo**, de dados secundários, com base bibliográfica – livros, documentos, artigos, eventos e entrevistas publicadas;

Na análise e tratamento dos dados levantados:

- **Pensamento e Abordagem Sistêmicos.** O método advem da **Teoria de Sistemas – TS** (MAXIMIANO, 2006). A aplicação de **pensamento sistêmico** trata cada assunto complexo pelo entendimento do mecanismo de inter-relação das diferentes partes que o compoem; e **abordagem sistêmica** trata o assunto fazendo uso das diferentes disciplinas que ao assunto estão relacionadas e necessárias. Aplica-se, aqui, o método, em caráter **dedutivo** na sistematização de dados secundários, e **indutivo** na sistematização de dados próprios obtidos.

No alcance dos objetivos propostos, o método utilizado consiste na aplicação de **cinco indicadores** eleitos durante a investigação (WITTMANN, 2014):

- (1) **Participação das fontes renováveis na Oferta de energia elétrica: Energia renovável / Energia total;**
- (2) **Eficiência na Oferta: Energia útil / Energia total do sistema elétrico;**
- (3) **Perdas técnicas: Energia elétrica consumida / Energia elétrica produzida;**
- (4) **Emissões de GEEs: tCO₂ / Energia elétrica produzida;**
- (5) **Participação da autoprodução, coprodução e geração distribuída / Energia elétrica total produzida.**



SISTEMATIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

Cenário presente:

- Dados levantados do **Balanco Energético Nacional 2013** (EPE-BEN, 2013).
- A esse balanço são incorporados, a partir de levantamento no **Plano Decenal de Energia de 2022** (EPE-PDE, 2013), acréscimos referentes aos empreendimentos contratados e em implantação, os quais representam acréscimos assumidos até por volta de 2018. Esse acréscimo significa a parte da expansão já definida.

A somatória, da capacidade existente, com a expansão já contratada e em expansão, dá, então, origem à matriz que serve de base de referência para a expansão, a seguir, projetada neste estudo.

Significa que a expansão, a seguir proposta, não interfere com o sistema existente, nem com o escopo de construção em andamento e o contratado, referentes ao ano 2012 e com extensão até por volta de 2018.

Cenário futuro:

Como base de dados futuros são utilizadas duas Notas Técnicas da Empresa de Pesquisa Energética - EPE:

- **Cenário Econômico** (EPE-CE, 2014) e **Demanda de Energia** (EPE-DE, 2014); dois dos cinco documentos previstos, pela EPE para compor o Plano Nacional de Energia 2050 em definitivo.

* A pesquisa se embasou também na análise da bibliografia existente sobre o binômio energia e sustentabilidade – diferentes tipos de documentos elaborados por autores e organizações nacionais e internacionais, em forma de publicações, resoluções, relatórios e eventos. Relação completa em Wittmann, 2014.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

PROSPECÇÃO DE UM CENÁRIO FUTURO MAIS SUSTENTÁVEL – ELEITO 2050



BALANÇO DE CARGA**Tabela 1.** Balanço de carga prospectado para o cenário de 2050.

#	Dados fixados	Valor	Unidade	Referência
No lado da demanda				
1	População	2,2635	x 10 ⁷ habitante	IBGE (2014)
2	Intensidade	7,182	MWh / habitante / ano	EPE-DE (2014)
3	Demanda prevista	1.625,65	TWh / ano	= #1 x #2
No lado da oferta				
4	Oferta necessária	1.625,65	TWh / ano	= #3
5	Perdas técnicas	10	% (de # 4)	Atribuído, a partir de EPE-DE (2014)
6	Ganhos de eficiência	20	% (de # 4)	Atribuído, a partir de EPE-DE (2014)
7	Autoprodução	10	% (de # 4)	Atribuído, a partir de EPE-DE (2014)
8	Oferta prevista	1.300,52	TWh / ano	= #4 + #5 – #6 – #7

Tem-se da tabela 1 o valor de referência projetado para equilíbrio, em 2050, entre oferta e demanda de energia elétrica, em 1.300,52 TWh.



PROSPECÇÃO DAS FORMAS DE OBTENÇÃO DA OFERTA FRENTE À DEMANDA

A prospecção consiste, conforme Wittmann (2014) em:

- 1) acelerar a participação das fontes renováveis – R;
- 2) obter eficiência termodinâmica por melhoria entre energia útil e energia total do sistema elétrico;
- 3) reduzir perdas técnicas;
- 4) evitar emissões de GEEs; e
- 5) descentralizar a oferta a partir de auto produção, coprodução e geração distribuída.

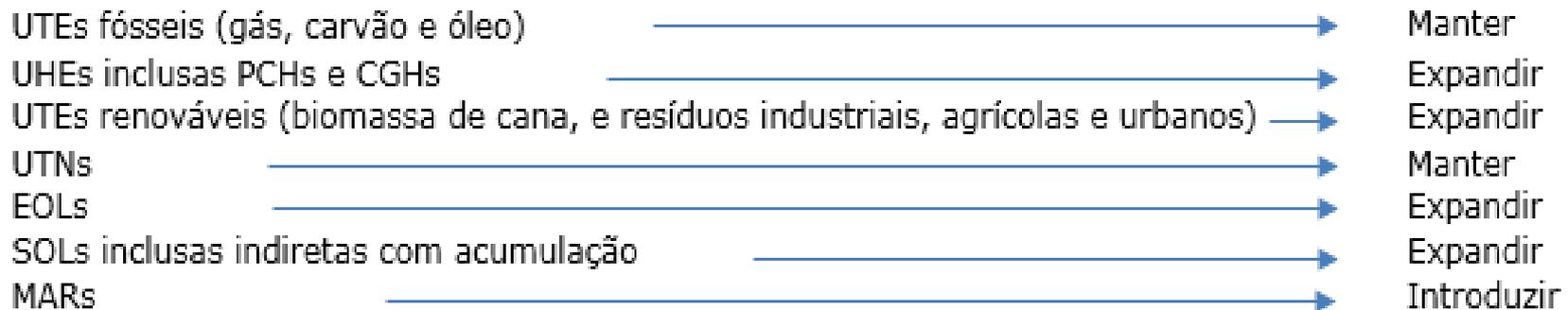


Figura 1. Árvore de decisões utilizada no gerenciamento da expansão da oferta.



LÓGICA OPERACIONAL

Sistema híbrido (hídrico, térmico, eólico, solar e maremotriz), com as UHEs operando em regime regulado pelas demais fontes, com comando tanto em função da sazonalidade anual, como da diária temporal – horários com concentração de maior demanda instantânea:

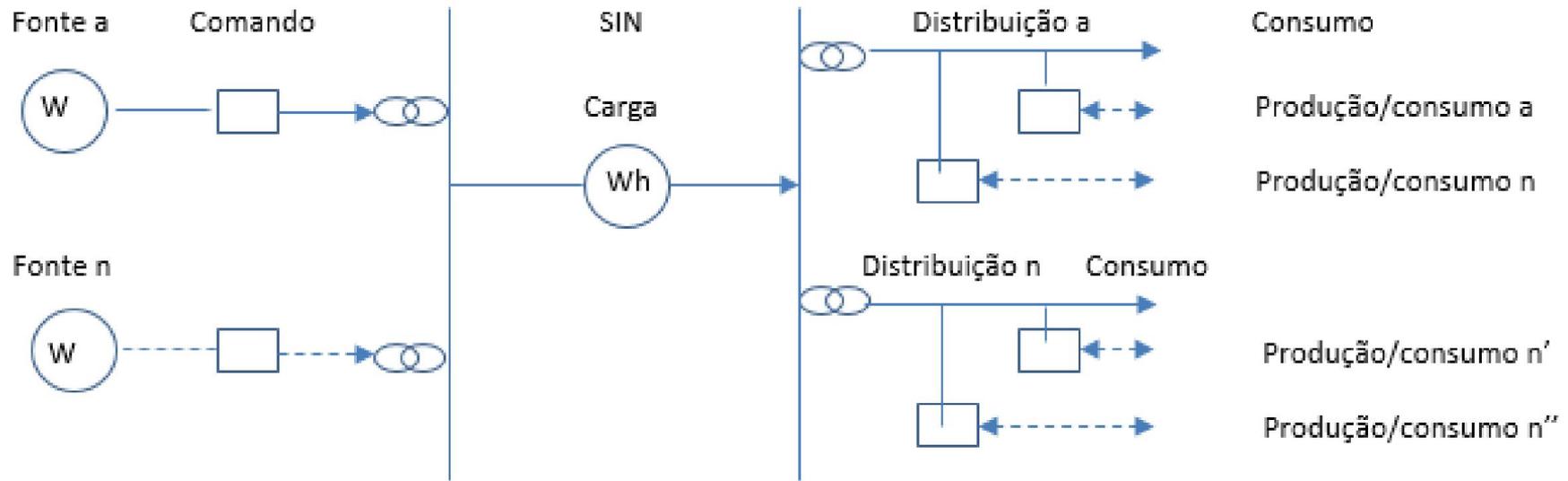


Figura 2. Diagrama unifilar simplificado.



FATORES DE CAPACIDADE- FCs

Frente à oferta resultada da tabela 1, faz-se necessário estabelecer os valores de potência instalada – W, que satisfaçam o equilíbrio das cargas – Wh, ilustrado no diagrama da figura 2, o que implica em fixar valores médios de FCs, aplicáveis a cada fonte:

Tabela 2. Fatores de capacidade fixados

#	Fonte de produção	Fator de capacidade FC	Referência
1	UHEs	0,55	EPE-BEN (2014)
2	PCHs e CGHs	0,57	EPE-BEN (2014)
3	UTES fósseis (gás, carvão e óleo)	0,14	EPE-BEN (2012)
4	UTES a biomassa (cana de açúcar e resíduos industriais, agrícolas e urbanos)	0,60	Carvalho (2009)
5	UTNs	0,85	EPE-PNE (2007)
6	EOLs existentes até 2013	0,32	EPE-BEN (2014)
7	EOLs futuras	0,47	ONS (2014)
8	SOLs diretas	0,18	EPE-GS (2012)
9	SOLs indiretas (com acumulação)	0,70	Teske et al (2010)
10	MARs	0,20	Calculado



BASE DE DADOS DE REFERÊNCIA PARA A EXPANSÃO ATÉ 2050

A somatória, da capacidade existente, com a expansão já contratada e em expansão, dá, então, origem à matriz que serve de base de referência para a expansão projetada neste estudo:

Tabela 3. Reunião da base de dados de referência para o projeto da expansão até 2050.

Fonte	Capacidade				
	Instalada			Produção	
	Existente até 31.12. 2012 (MW)	Adicional contratado e em implantação (MW) (A)	Total resultante até por volta de 2018 (MW)	FC	Produção (TWh / ano)
UHEs (B)	84.833	19.484	104.317	0,55	502,5993
PCHs	4.899	1.056	5.955	0,57	29,7345
UTES fósseis	17.373	3.766	21.139	0,14	25,9249
UTES renováveis	8.617	1.801	10.418	0,60	54,7570
UTNs	2.007	1.405	3.412	0,85	25,4058
EOLs existentes	1.805	-	1.805	0,32	5,0598
EOLs futuras	-	13.059	13.059	0,47	53,7665
SOLs diretas (C)	1,35	0	1,35	0,18	0,0021
SOLs de acumulação	-	0	-	0,70	0
MARs	0	0	0	0,20	0
Total	119.535,35	40.571	160.106,35	0,50 (D)	697,2499



PROSPECÇÃO DAS FONTES DE OBTENÇÃO DA OFERTA FRENTE À DEMANDA (itens 1 a 8):**Tabela 4.** Repotenciação de usinas hidroelétricas - UHEs, item 1 considerado na expansão.

Quantidade de UHEs	Acréscimo de potência instalada	FC médio	Acréscimo de produção resultante
67 reabilitáveis	3.473,47 (MW)	0,55	16,7352 (TWh / ano)

Tabela 5. Expansão de UHEs, item 2 considerado na expansão.

Acréscimo total de potência instalada (MW)	FC médio	Acréscimo total de produção resultante (TWh/ano)
44.984,08	0,55	216,7333

Tabela 6. Expansão de pequenas centrais hidroelétricas - PCHs, item 3 considerado na expansão.

Acréscimo total de potência instalada (MW)	FC médio	Acréscimo total de produção resultante (TWh/ano)
6.927	0,57	34,5879

Usinas termoelétricas – UTEs, fósseis, item 4 a ser considerado na expansão:

Com vistas ao objetivo de minimização de consumo de reservas fósseis e de emissões de calor e de GEEs, as UTEs movidas por fontes fósseis não são contempladas com expansão neste estudo.



PROSPECÇÃO... (itens 1 a 8)...**Tabela 7** – Expansão de UTEs renováveis, item 5 considerado na expansão.

Acréscimo total de potência instalada (MW)	FC médio	Acréscimo total de produção resultante (TWh/ano)
36.000	0,60	189,2160

Usinas termonucleares – UTNs, item 6 a ser considerado na expansão:

Em razão da polêmica entre estudiosos; dos riscos associados; e dos problemas ainda não resolvidos quanto ao decaimento e ao destino dos rejeitos radiativos; as UTNs não são contempladas com expansão neste estudo.

Tabela 8 – Expansão de centrais eólicas – EOLs, item 7 a ser considerado na expansão.

Acréscimo total de potência instalada (MW)	FC médio	Acréscimo total de produção resultante (TWh/ano)
28.000	0,47	115,2816



PROSPECÇÃO... (itens 1 a 8)...**Tabela 9** – Expansão de centrais solares – SOLs, itens 8 e 9 a serem considerados na expansão.

Acréscimo total de potência instalada (MW)	FC médio	Acréscimo total de produção resultante (TWh / ano)
Item 8; SOLs diretas – PFs 98.000	0,18	154,5264
Item 9; SOLs indiretas – PAs 2.800	0,70	17,1696

Tabela 10 – Expansão de UHEs maremotrizes – MARs, item 10 a ser considerado na expansão:

Acréscimo total de potência instalada (MW)	FC médio	Acréscimo total de produção resultante (TWh / ano)
34	0,20	0,0596



REUNIÃO DOS DADOS OBTIDOS

O escopo da expansão (tabelas 4 a 10) é reunido e adicionado aos valores existentes, contratados e em construção (tabela 3), resultando na oferta total prospectada:

Tabela 11 - Somatória da oferta existente, com a expansão prospectada para 2050.

#	Fonte	R/ N	Potência instalada existente (MW)	Acréscimo potência instalada (MW)	Total potência instalada (MW)	Produção existente (TWh)	Acréscimo produção (TWh / ano)	Total oferta de produção (TWh / ano)
1	Repotenciação de UHEs	R	-	3.437,47	3.437,47	-	16,7352	16,7352
2	Expansão de UHEs	R	104.317	44.984,08	149.301,08	502,5993	216,7333	719,3326
3	Expansão de PCHs	R	5.955	6.927	12.882	29,7345	34,5879	64,3224
4	Manutenção de UTEs fósseis	N	21.139	0	21.139	25,9249	0	25,9249
5	Expansão de UTEs renováveis	R	10.418	36.000	46.418	54,7570	189,2160	243,9730
6	Manutenção de UTNs	N	3.412	0	3.412	25,4058	0	25,4058
7	Expansão de EOLs	R	14.864	28.000	42.864	58,8263	115,2816	174,1079
8	Expansão de SOLs Diretas - PFs	R	1,35	98.000	98.001,35	0,0021	154,5264	154,5285
9	Introdução de SOLs Indiretas – PAs	R	-	2.800	2.800	-	17,1696	17,1696
10	Introdução de MARs	R	-	34	34	-	0,0596	0,0596
	Totais		160.106,35	220.182,55	380.288,90	697,2499	744,3096	1.441,5595

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A oferta prospectada (1.441,5595 TWh/ano; tabela 11) atende o valor mínimo necessário à demanda (1.300,52 TWh/ano; tabela 1).

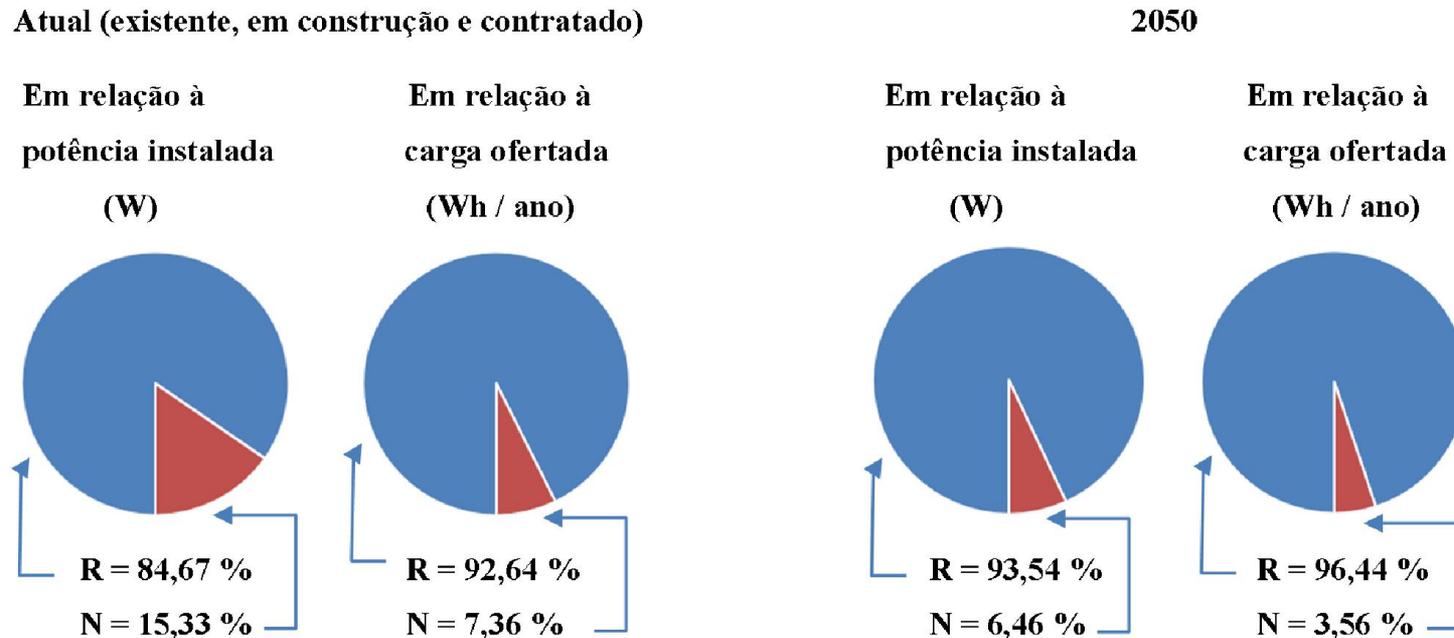
Valores maiores ou menores poderiam ter resultado, em função de diferentes correções de critérios que fossem utilizadas, frente aos adotados na pesquisa.

O ponto central reside na avaliação de que é possível estabelecer-se uma meta de expansão da oferta de energia elétrica baseada em fontes renováveis e menores emissões de GEEs.



AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS...

Relações entre uso de fontes renováveis e não renováveis:

**Figura 3.** Relações percentuais entre o uso de fontes renováveis – R, e não renováveis – N

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS...

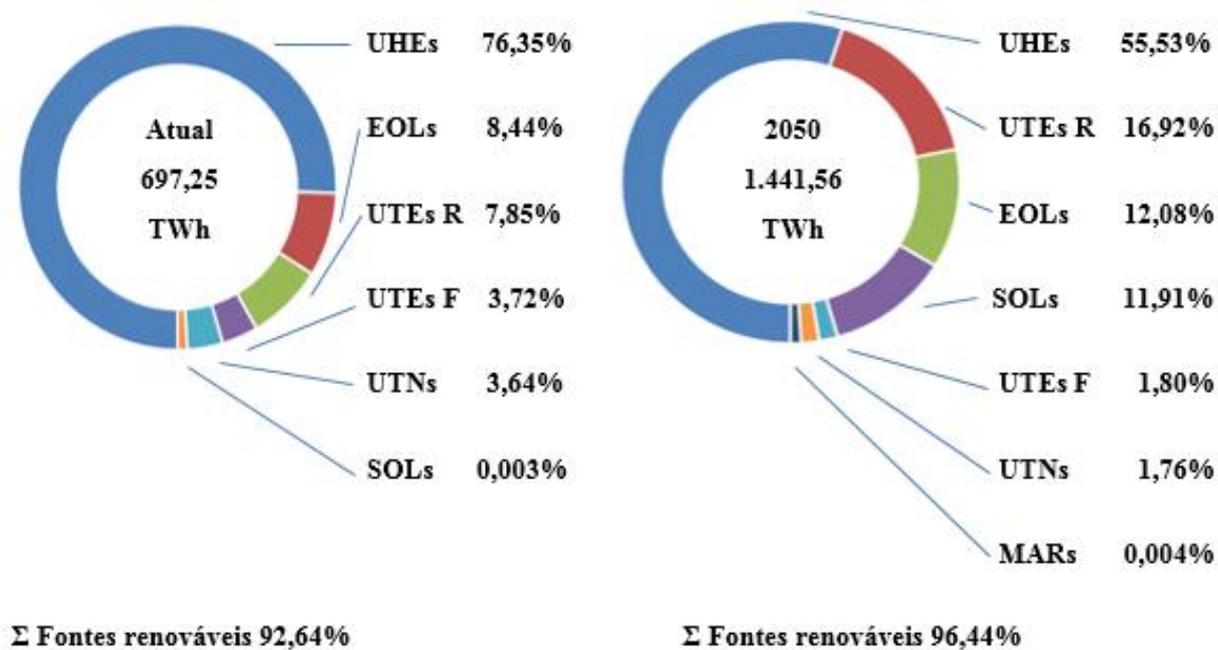


Figura 4. Comparativo entre a matriz de produção (Wh) atual e de 2050.



RELAÇÕES ENTRE CUSTOS

Tabela 12 – Relações entre custos de produção atuais e resultantes em 2050

Fonte	R/N	Custo médio de produção	Matriz de produção atual		Matriz de produção prospectada para 2050	
			Participa// na matriz de produção	Custo médio ponderado resultante	Participa// na matriz de produção	Custo médio ponderado resultante
		(R\$ / MWh)	(%)	(R\$ / MWh)	(%)	(R\$ / MWh)
UHEs	R	118,40	76,35	90,40	55,53	65,75
UTES fósseis	N	245,35	3,72	9,13	1,80	4,42
UTES renováveis	R	101,75	7,85	7,99	16,92	17,22
UTNs	N	138,75	3,64	5,05	1,76	2,44
EOLs	R	137,00	8,44	11,56	12,08	16,55
SOLs	R	137,00	0,003	0,0041	11,91	16,32
MARs	R	118,40	0	0	0,004	0,005
Totais resultantes	-	-	100	124,13	100	122,70

ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA

Obtida da complementação sazonal entre afluência de energia natural hídrica, de produção eólica, e de períodos de safras de cana de açúcar:

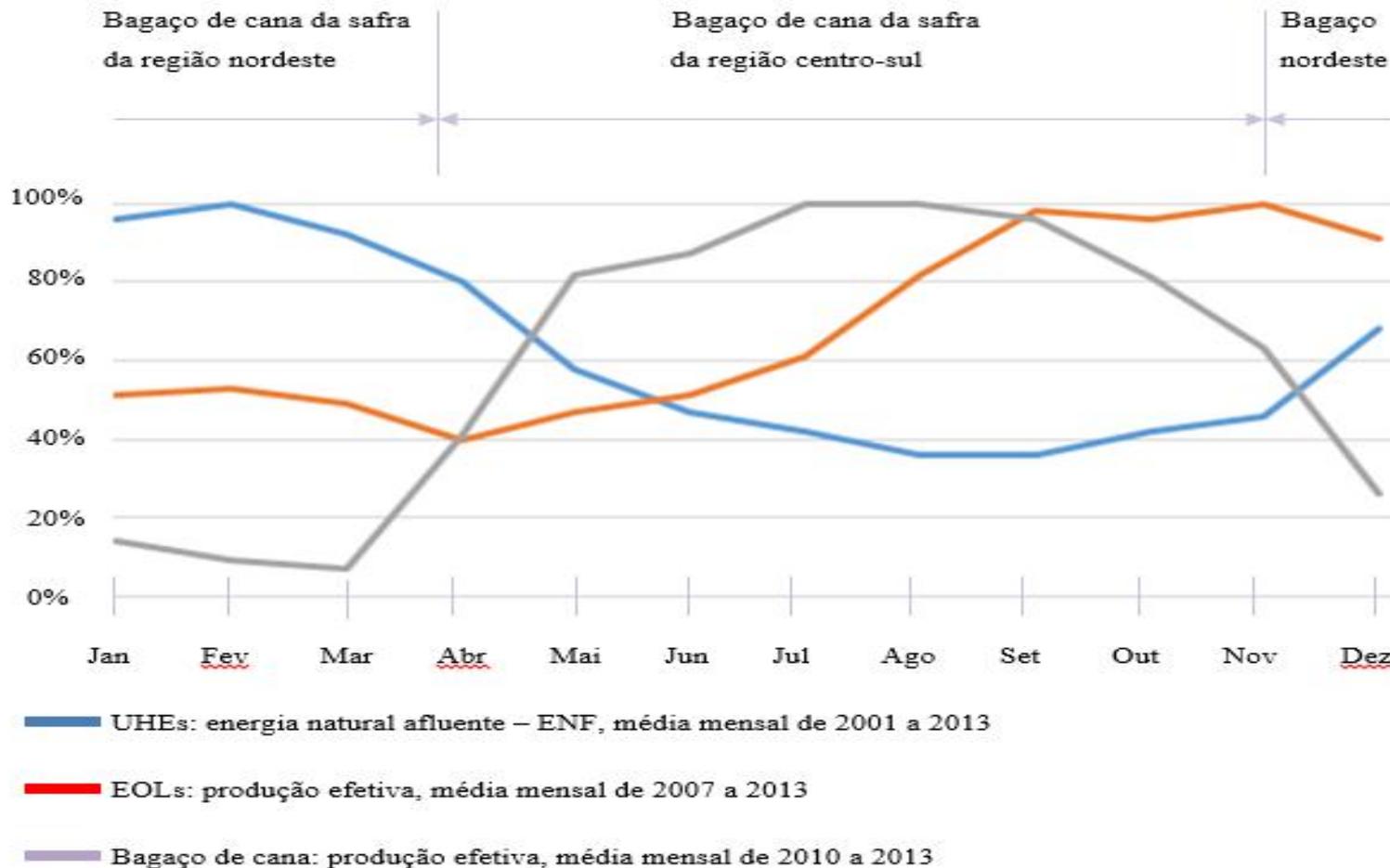


Figura 5. Curvas entre energia afluyente (UHES), produção efetiva de EOLs, e de bagaço de cana.



CONCLUSÃO

A prospecção, aqui realizada, apresenta possível obter um cenário futuro, 2050, com maiores participações de fontes renováveis, menor participação da fonte hídrica, e menores participações de emissões de gases de efeito estufa e de consumo de óleo combustível.

Sem necessariamente incorrer em aumento nos custos de produção.

Um sistema descentralizado, híbrido, com maior expansão das fontes térmicas renováveis, eólica e solar, maior participação de produção independente – cogeração, autoprodução, e geração distribuída – e menor carga na rede de transmissão, comparativamente ao cenário atual.

Ganho de desenvolvimento, qualidade de vida e saúde para a sociedade.

Mas, para atingir-se o idealizado, esse melhor futuro depende de que estratégias de transição sejam traçadas e implementadas desde agora.



REFERÊNCIAS CITADAS

CARVALHO, J. F. O Declínio da Era do Petróleo e a Transição da Matriz Energética Brasileira para um Modelo Sustentável. Tese (Doutorado em Energia). Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

EPE-PNE, 2007. Plano Nacional de Energia 2030. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE.

_____-GS, 2012. Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira. Empresa de Pesquisa energética. Rio de Janeiro: EPE

_____-BEN, 2012. Balanço Energético Nacional 2012: ano base 2011. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE.

_____-BEN, 2013. Balanço Energético Nacional 2013: ano base 2012. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE.

_____-PDE, 2013. Plano Decenal de Expansão de Energia 2022 / Ministério de Minas e Energia. (PDE) (Relatório Final). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE.

_____-BEN, 2014. Balanço Energético Nacional 2014: ano base 2013. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE.

_____-CE, 2014. Cenário Econômico 2050. Rio de Janeiro: EPE.

_____-DE, 2014. Demanda de energia 2050. Rio de Janeiro: EPE

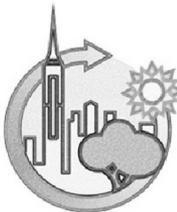
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores, População, Economia. 2014. Disponível em <www.ibge.gov.br>. Acesso em 20.04.2014.

MAXIMIANO, A. C. A., 2006. Teoria Geral da Administração: da Revolução Urbana à Revolução Digital. São Paulo: Atlas.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Portal. <www.ons.org.br>. Acesso em 21.07.2014.

TESKE, S.; ZERVOS, A.; LINS, C. MUTH, J, 2010. Revolução Energética – a caminho do desenvolvimento limpo. Edição brasileira, Ricardo Baitelo, coordenador. São Caetano do Sul: Pigma, 2010.

WITTMANN, D., 2014. A indústria de energia elétrica no Brasil e o desenvolvimento sustentável: uma proposta para o horizonte 2050 à luz da teoria de sistemas. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. São Paulo.



Obrigado!

Douglas Wittmann

dwit@usp.br



