

# IMPACTOS E OPORTUNIDADES PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO

**MESSAGE** 

Mariana Império

Junho de 2016



Esse material objetiva a capacitação acerca das metodologias empregadas no projeto "Opções de mitigação de emissões de GEE em setores-chaves do Brasil". Portanto, seu conteúdo não expressa resultados do projeto.



### Índice

- 1. Contextualização e a ferramenta MESSAGE
- Modelos Setoriais
- Integração do MSB8000 com modelos setoriais e com a modelagem econômica
- 4. Cenários de linha de base e baixo carbono
- 5. Considerações finais



## Contextualização e apresentação do MESSAGE



- /// Definição:
  - /// Desenvolvimento previsto de possíveis eventos
- /// Dentro do nosso contexto:
  - /// Cenário: análise dos efeitos de estados futuros possíveis
    - /// Estado: Consumo energético, emissões, perfil de consumo
- /// Inerentemente relacionado à conjunto de premissas
  - /// "Futuros possíveis"
- /// Conjunto de cenários podem avaliar incertezas no presente
  - /// Exemplo: novas políticas, novas tecnologias



- Objetivo: criar conjunto de informações sobre estados futuros
- /// Aplicações:
  - /// Auxiliar o planejamento
  - /// Verificar efeitos de possíveis atividades atuais e/ou futuras (CP ou LP)
  - /// Auxiliar elaboração de instrumentos (política, mercado, ambiental...)
- /// Aplicação: utilizado de forma relativa, não de forma absoluta
  - /// Resultados são comparados dentro de um mesmo referencial
- /// Importante definir a base de comparação (referencial)



- /// Cenário Referencial: base de comparação dos cenários alternativos
- /// Cenários Alternativos: demais visões de futuro
  - /// Diferenciam-se do referencial (ex: premissas)
- Linha de Base: ponto de partida da análise
  - /// Maior consenso ou aceitação sobre premissas básicas
  - /// Geralmente conservador
  - /// Pode ser o Referencial



- /// Business-as-usual (BAU): "passado explica o futuro"
  - /// Menor influência das premissas
  - /// Menor esforço técnico para elaboração
  - /// Em certos casos, pode não fazer sentido algum
- /// Mitigação / Baixo Carbono: cenários com esforços de redução de emissões de GEE
  - /// Representam os cenários alternativos (Baixo Carbono e Baixo Carbono com Inovação)

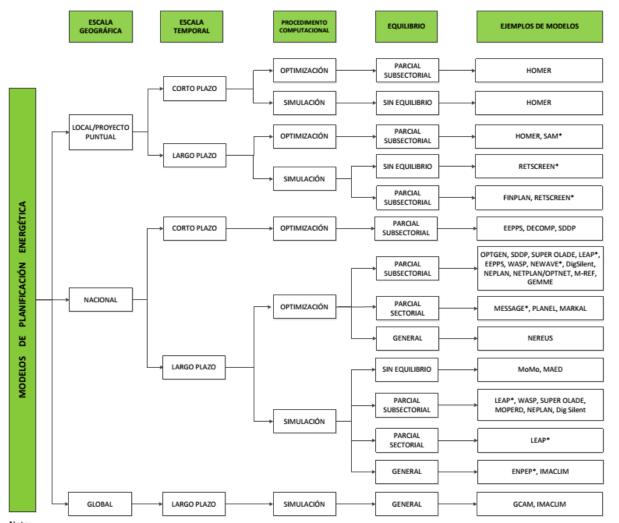


### Modelagem

- Como decidir qual modelo utilizar?
  - /// Objetivo da análise e escopo de avaliações
  - /// Nível de complexidade e detalhamento
    - Escala temporal (dia, ano), escala geográfica (nacional, mundial)
  - /// Nível de esforço computacional
  - /// Equilíbrio
    - /// Parcial: visão parcial dos agentes econômicos
    - /// Geral: comportamento de uma economia com diversos setores interagindo
  - /// Etc



## Árvore de Decisão (Schaeffer et al., 2014):



olade

Nota:

\* : El camino seguido para llegar a la selección de estos modelos será detallado a continuación:

10 10/17/2017



## Modelos: Oferta x Demanda

- <u>Demanda</u>: projetam a demanda de serviço energético e/ou energia
  - /// Utilizam drivers (PIB, População, Demografia, Idade, etc)
  - /// Oferta é exógena
  - /// Ex: Econométricos, Paramétricos, Mistos
- /// Oferta: projetam o atendimento de um conjunto de demandas
  - /// Competição
  - /// Demanda é exógena
  - /// Ex: Otimização, Simulação

## Modelos Energéticos: Otimização

- /// Resultado ótimo: encontra a "melhor" solução
  - /// Identificar soluções que maximizem ou minimizem uma função objetivo, sujeito à restrições
- /// Soluções de mínimo custo / maior lucro de sistema energéticos
- /// Alocação eficiente dos recursos
- /// Restrição principal: atender demanda
  - /// Restrições adicionais podem representar limitações físicas, tecnológicas, econômicas ou de mercado
  - /// As restrições também servem para tornar o espaço de soluções possíveis mais realista
- /// Desvantagens:
  - ✓ Soluções de canto → representatividade da solução
  - Geralmente não detecta falhas de mercado



## A ferramenta MESSAGE



#### **MESSAGE**

# Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts

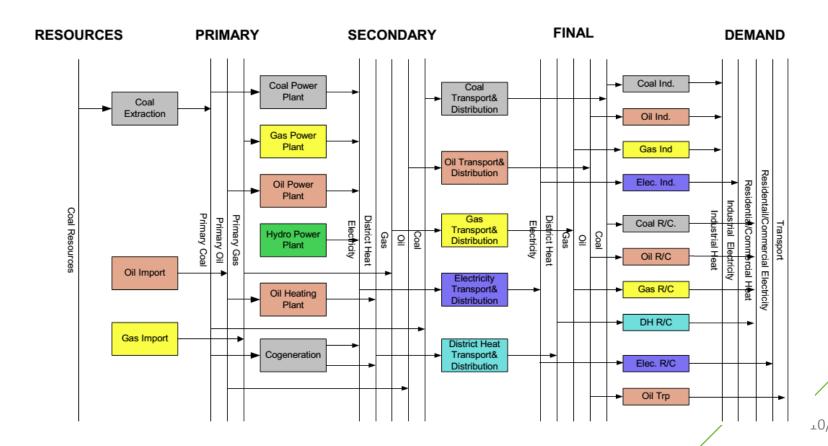
- /// Ambiente de <u>otimização</u> por <u>programação linear</u>
- /// Originalmente desenvolvido pelo IIASA (Áustria)
- /// Aplicado para setores energéticos nacionais e global há décadas
- /// Aplicável para balanços de energia e/ou massa

Instrumento	o Detalhamento	Procedimento Computacional	Equilíbrio	Área geográfica	Prazo
MESSAGE	Bottom-up	Otimização	Parcial	Global/nacional /regional	Médio e longo prazos



#### **MESSAGE**

- /// Aplicado ao sistema energético
- /// Estruturação por cadeias e insumos energéticos





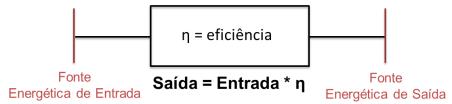
#### **MESSAGE**

- /// Horizonte de tempo: definido pelo usuário
- Complexidade estrutural: definida pelo usuário
- /// Taxa de desconto: única para todos os setores
- /// Modelo de otimização intertemporal (perfect foresight)
- /// Programação linear
- /// Restrições:
  - /// Atender demanda;
  - /// Limitações físicas (fluxo/estoque);
  - /// Limitações tecnológicas (potencial técnico, econômico, comercial)





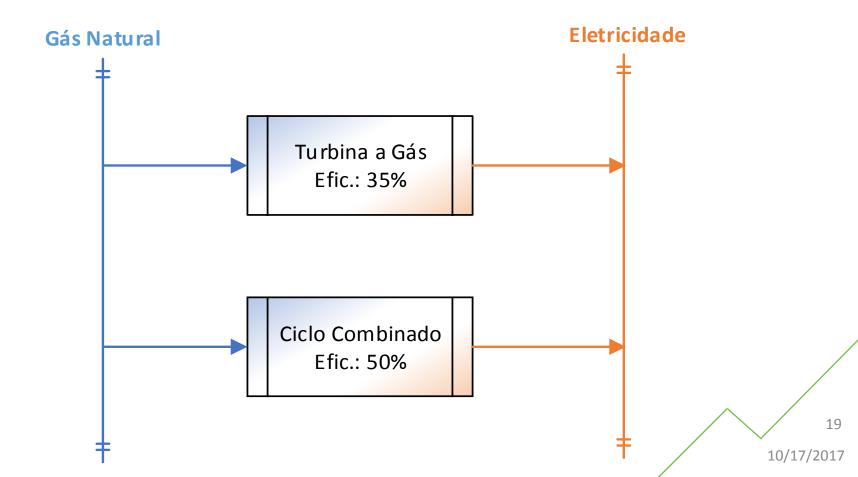
/// Tecnologias:



- Representação dos elementos
  - /// Eficiência
  - /// Capacidade histórica instalada
  - /// Custos (investimento, O&M fixo e variável)
  - /// Fator de capacidade
  - /// Vida útil
  - /// Tempo de construção

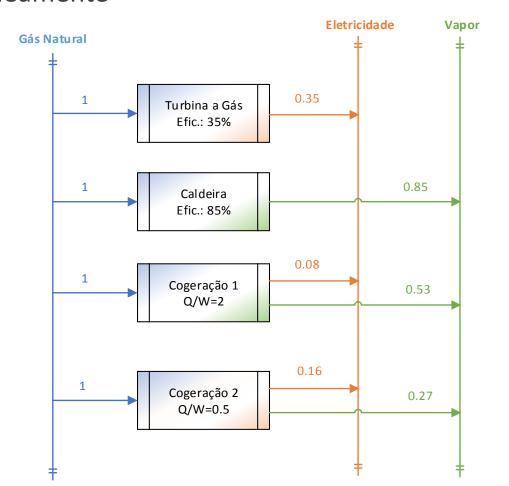


Exemplo: duas tecnologias que disputam para atender a mesma demanda (output)





/// Exemplo: um input atendendo a mais de uma demanda (output) simultaneamente





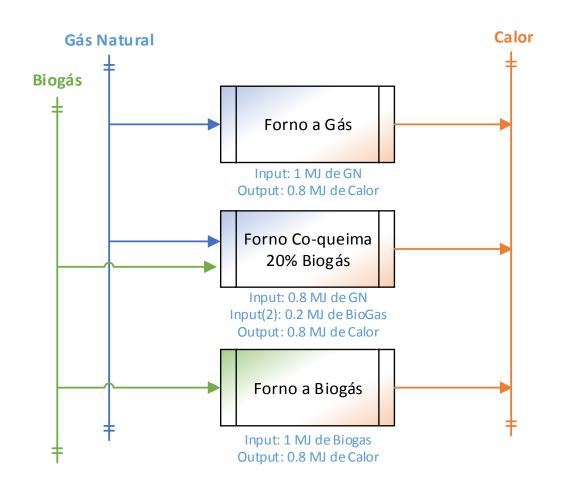


21

10/17/2017

#### **MESSAGE:** Estrutura

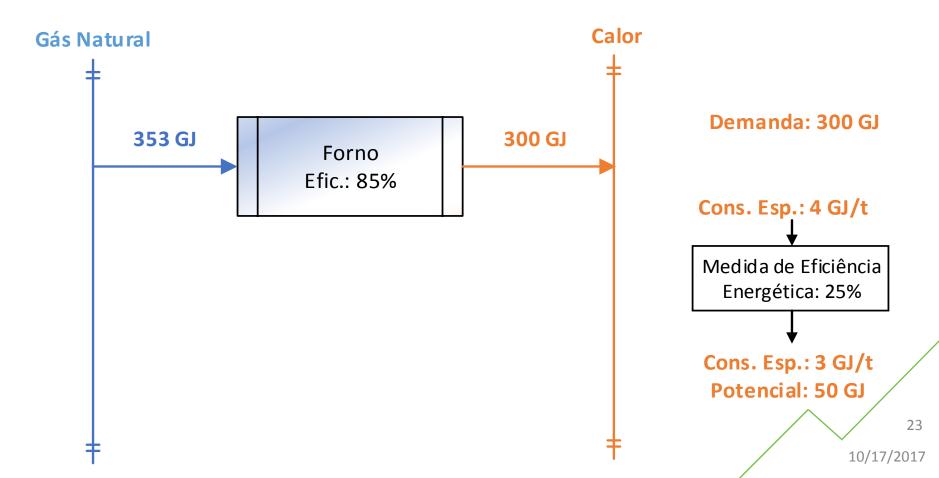
Exemplo: dois inputs atendendo a uma demanda (output) simultaneamente





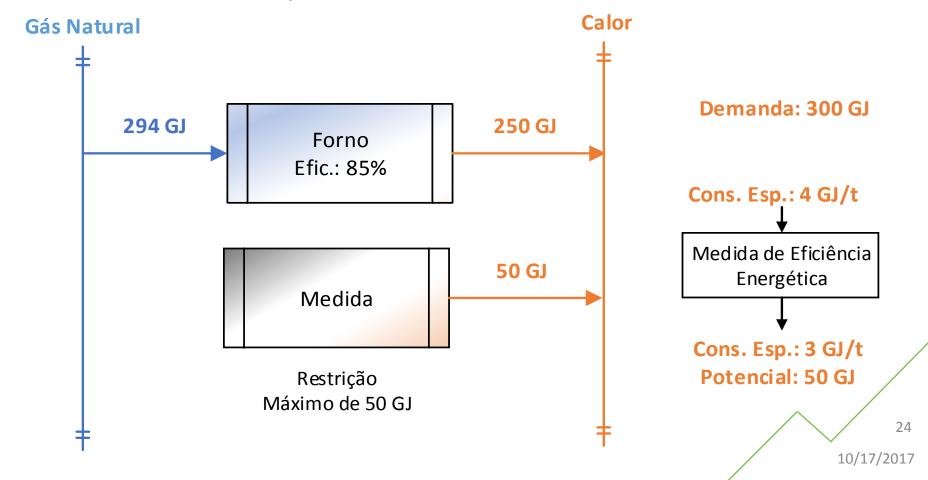


/// Exemplo: medida de redução do consumo específico (reduz demanda de calor)



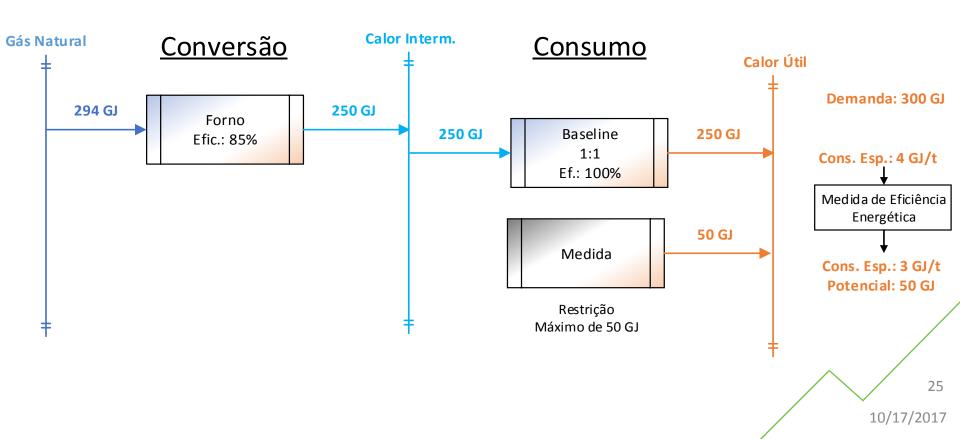


/// Exemplo: medida de redução do consumo específico (reduz demanda de calor)





/// Exemplo: medida de redução do consumo específico (reduz demanda de calor)



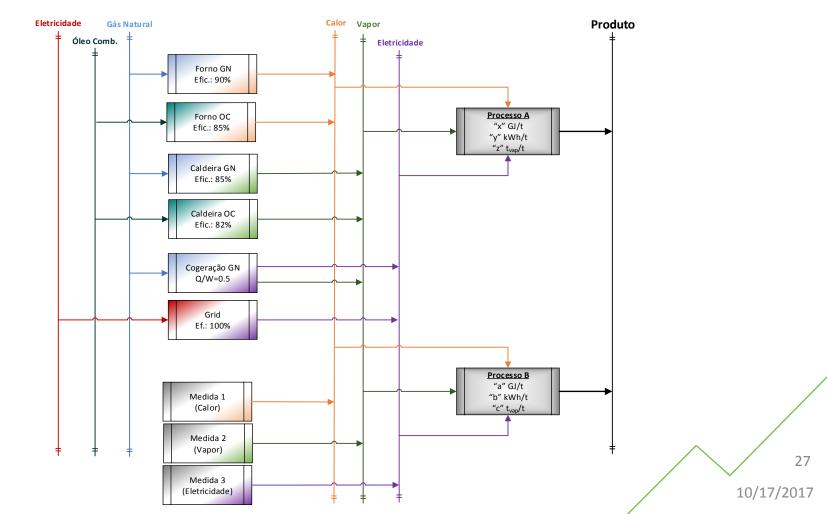


#### /// Divisão:

- <u>Conversão</u>: substituição de combustível, aumento de eficiência (fornos, caldeiras)
  - /// Conversão de um energético em uma utilidade (calor, vapor, eletricidade)
- <u>Consumo</u>: redução do consumo (ex: isolamento de linhas, substituição de motores/equipamentos elétricos)
  - /// Não possui input
  - Output é limitado pelo potencial, determinado pela aplicação da medida (ano a ano)
- /// Processo: substituição de processos
  - /// Competição para atender demanda de produto.



/// "Recorte" para o setor industrial





## MESSAGE: Restrições

- # Efeito sobre função objetivo:
  - /// Podem não alterar
  - /// Aumentam a função objetivo (minimização) / Diminuem a função objetivo (maximização)
- /// Objetivo: tornar o modelo mais realista e coerente
  - /// Limitar a seleção do modelo
  - /// Representar falhas de mercado
- /// Complicações: quantificação e sobreposição

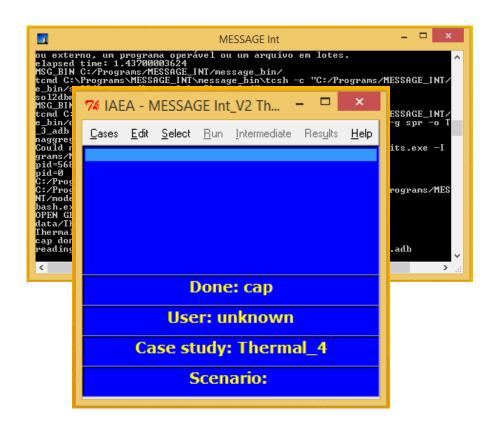


- /// Sempre criar restrições absolutas coerentes com cenários de demanda
- /// Não é necessário criar todas as opções de restrições
  - Em alguns casos, basta um mín ou um máx; Em outros casos, pode não haver restrição alguma
- /// Ex: Se o mínimo é <u>sempre</u> zero, não precisa restrição de mínimo
- /// Para medidas de abatimento:
  - /// Mínimo: não usar a medida (não precisa de restrição)
  - /// Máximo: potencial de aplicação por ano (trajetória até 2050)
- /// As restrições <u>podem</u> ser diferentes na linha de base e baixo carbono
  - /// Linha de base: restringir substituição de combustíveis, mais conservador
  - /// BC: permitir maior flexibilidade de substituição de combustíveis

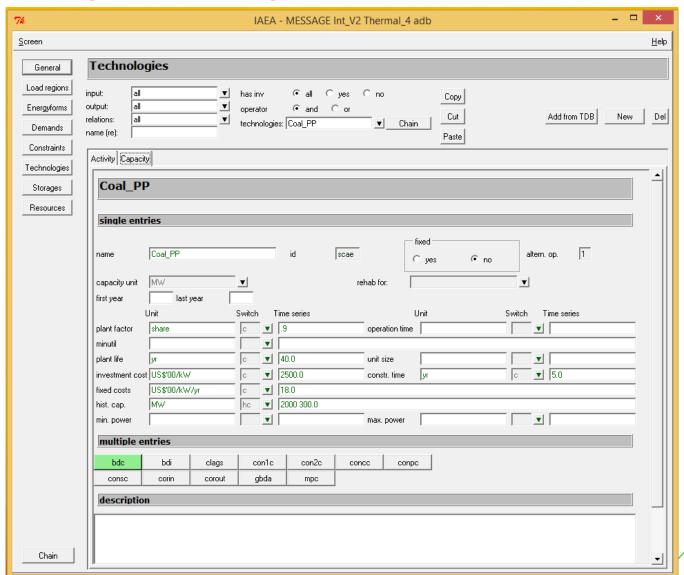


- /// BDI: Restrições sobre a capacidade instalada
- /// BDC: Restrições sobre capacidades em construção
- /// BDA: Restrição sobre o uso de uma tecnologia
- /// Restrições de balanço e *share*:
  - /// 30% de energia renovável
- /// Restrições informativas:
  - /// Utilizar ou não as tecnologias com CCS
- /// Restrições ambientais
- Restrições contábeis: Emissões CO<sub>2</sub>











## **Modelos Setoriais**



#### **Modelos Setoriais**

- /// Objetivo Principal
  - /// Representar o comportamento dos agentes
    - /// Criar cenários setoriais
- /// Resultados típicos
  - /// Demanda de serviços energéticos e insumos
  - /// Demanda de insumos energéticos
    - /// Energia Final
  - /// Perfil tecnológico
  - /// Emissões, em geral sobre-estimadas
  - /// Potenciais e custos de abatimento (em geral sobre-estimados e subestimados, respectivamente).

#### Modelos Setoriais – Procedimentos

- 1 Descrição e caracterização do setor
  - /// Principais agentes
  - /// Perfil de produção e dados socioeconômicos
  - /// Perfil de consumo energético
    - /// Balanço Energético
  - /// Perfil de emissões de GEE
    - /// Inventários
  - /// Caracterização tecnológica
    - /// Consumo específico, tecnologias empregadas, BAT

#### Modelos Setoriais – Procedimentos

- 2 Iniciar estrutura do modelo
  - Banco de dados e ferramentas
    - /// Informações da 1ª etapa
    - /// Ferramental matemático desejado
  - /// Representar período histórico
    - /// Minimamente é recomendável ajustar o ano base
  - /// Ajustar coeficientes, eficiências, shares e premissas
    - /// Idealmente compatibilizar dados de energia e emissões

#### Modelos Setoriais – Procedimentos

- 3 Usar modelo para construir cenários setoriais
  - /// Identificar variáveis-chave para a evolução do setor
    - /// Produção física, PIB, valor adicionado, população, etc
  - Relacionar com a estrutura do modelo
    - /// Consumo específico, intensidade energética
  - /// Determinar conjunto de premissas
    - /// Evolução tecnológica, perfil de consumo/produção



# Estratégia de integração dos resultados setoriais ao modelo de otimização energética MESSAGE



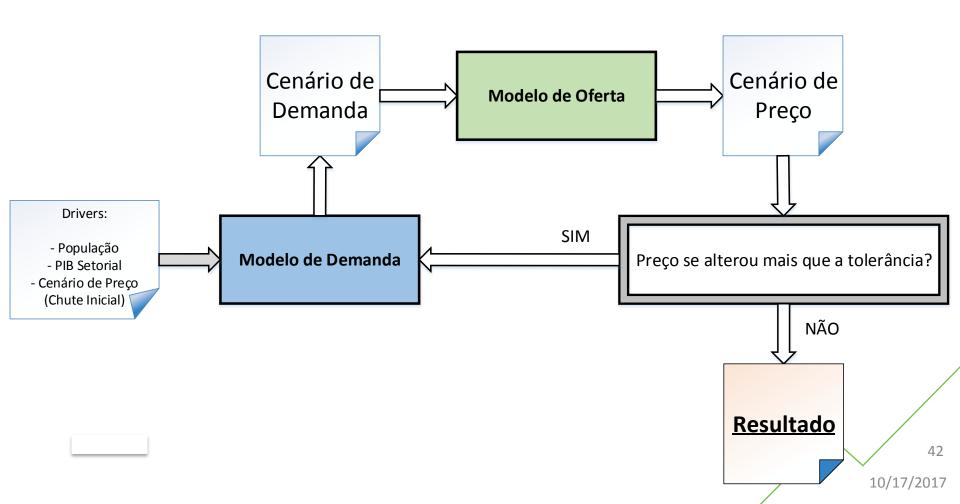
- Objetivo: Garantir consistência macroeconômica e setorial; mensurar o potencial aditivo de mitigação de emissões de GEE.
- /// É necessário adicionar as informações setoriais ao modelo
- Esta etapa pode ser trabalhosa, dependendo do detalhamento selecionado
- /// Formas de integração
  - /// Hard-link: união virtual direta dos modelos sob mesma plataforma
  - /// Soft-link: transposição de resultados entre modelos
- /// Requer recurso iterativo para convergência



- /// Importante manter consistência entre a modelagem setorial e a sua representação no modelo de otimização do sistema energético
- /// Modelos setoriais provêm:
  - /// Demandas (exógenas): produção, serviço energético ou energia final
  - /// Rotas tecnológicas: equipamentos, processos, insumos
  - /// Dados técnicos detalhados: eficiências, custos, rendimentos, restrições

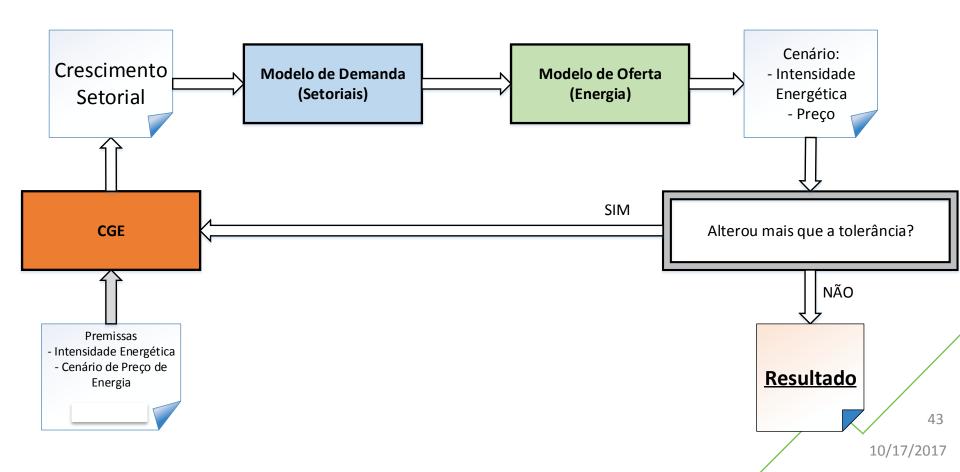


Exemplo: Integração Oferta e Demanda de energia



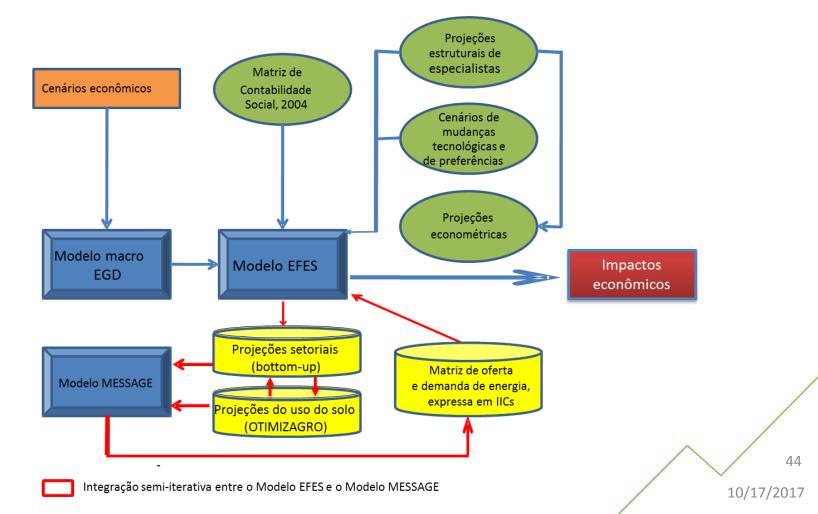


/// Exemplo: Procedimento iterativo modelo econômico e de oferta/demanda de energia



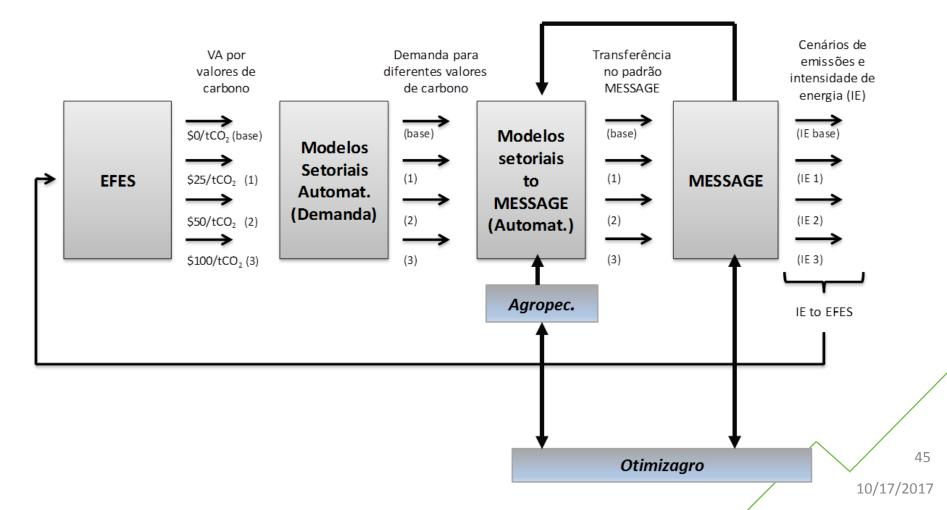


/// Integração soft-link aplicada no projeto

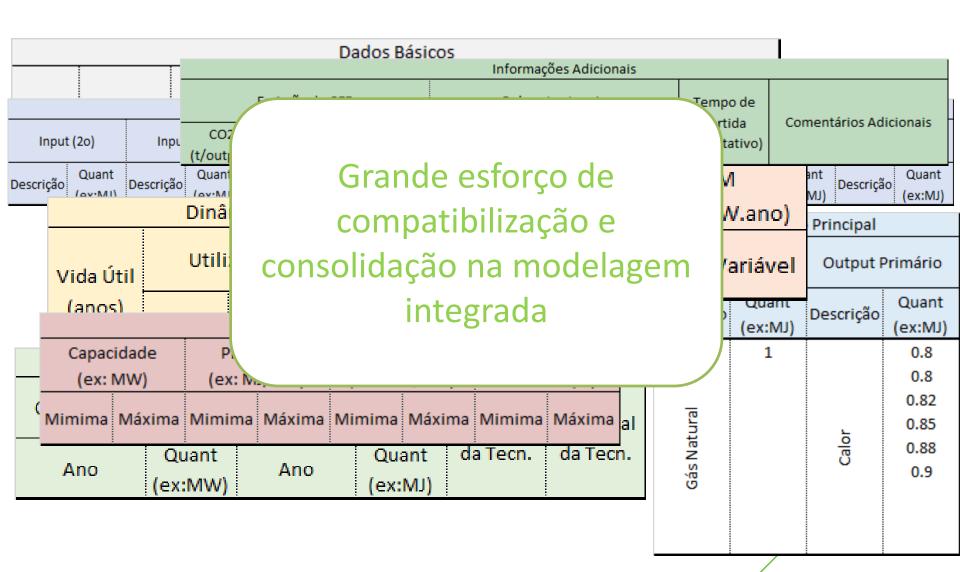




/// Procedimento iterativo de modelagem considerado no projeto







- Desta forma, com a integração de modelos são capturado efeitos:
  - /// Elasticidade-preço: alteração da demanda pelo custo da energia
  - /// Intensidade: redução do PIB
  - /// Estruturais: setores são afetados diferenciadamente
  - /// Eficiência Energética
  - /// Tecnológicos: curva de oferta com maior detalhe
    - Especialmente para o setor elétrico

- Conforme procedimento iterativo, os resultados da modelagem do sistema energético e do setor de AFOLU devem retornar à modelagem econômica
- Modelo energético pode prover diversas informações:
  - /// Consumo energético e intensidades energética
  - /// Emissões setoriais e intensidade de carbono
  - /// Crescimento do setor de energia
  - /// Custo de insumos energéticos
  - /// Estimativa dos investimentos na expansão e operação do sistema energético



/// EFES – Modelos Setoriais – MSB8000 – Ex: Transportes

	A4	‡ ⊗ ⊘ (* fx 0101										
	A	В	C	D	2	į.	G	H	L	J	K	L
1	Valor adic	ionado										
2	R\$ milhõe:	s de 2013										
3				2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
34	0326	Máquinas para escritório e equipamentos de informática	S31	5,920	5,923	6,482	7,443	8,317	9,093	9,772	10,350	10,834
35	0327	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	S32	23,379	26,351	31,682	39,701	47,965	56,403	65,107	74,195	83,784
36	0328	Material eletrônico e equipamentos de comunicações	S33	8,186	8,434	9,831	12,413	14,846	17,044	19,019	20,804	22,435
37	0329	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico	S34	14,192	17,587	24,251	36,375	48,662	60,070	70,338	79,529	87,847
38	0330	Automóveis, camionetas e utilitários	S35	18,031	20,631	24,645	30,185	36,398	43,359	51,121	59,717	69,172
39	0331	Caminhões e ônibus	S36	6,589	7,426	8,555	9,764	11,318	13,254	15,607	18,421	21,763
40	0332	Peças e acessórios para veículos automotores	S37	31,984	32,475	35,890	41,977	49,137	57,391	66,849	77,648	89,936
41	0333	Outros equipamentos de transporte	S38	13,900	16,865	20,873	25,910	32,191	39,985	49,709	61,907	77,202
42	0334	Móveis e produtos das indústrias diversas	S39	32,664	29,133	27,213	26,670	26,458	26,531	26,829	27,292	27,861
43	0401	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	S40	146,977	162,168	182,797	209,633	234,516	257,056	276,969	294,127	308,467
44	0501	Construção	S41	276,266	296,843	331,333	371,260	413,459	458,026	504,186	550,824	597,525
45	0601	Comércio	S42	595,594	647,499	711,172	783,258	861,894	944,211	1,027,575	1,110,055	1,190,021
46	0701	Transporte, armazenagem e correio	S43	227,891	247,807	271,998	300,406	329,440	357,936	385,053	410,235	433,062
47	0801	Serviços de informação	S44	163,344	181,797	210,469	249,964	289,495	328,650	367,052	404,408	440,341
48	0901	Intermediação financeira e seguros	S45	341,293	387,003	450,729	533,965	621,413	711,494	802,657	893,694	983,306
49	1001	Serviços imobiliários e aluguel	S46	368,990	369,942	377,361	390,116	413,425	444,146	479,894	519,346	561,190
50	1101	Serviços de manutenção e reparação	S47	50,826	56,064	62,294	69,907	77,338	84,330	90,681	96,290	101,096
51	1102	Serviços de alojamento e alimentação	S48	89,005	101,159	118,692	143,294	166,635	188,412	208,485	226,805	243,232
52	1103	Serviços prestados às empresas	S49	225,412	236,728	260,170	295,497	329,548	361,622	391,468	419,040	444,224
53	1104	Educação mercantil	S50	54,095	68,057	86,623	111,996	144,376	184,662	233,710	292,542	361,936
54	1105	Saúde mercantil	S51	92,639	111,584	134,643	163,596	198,016	237,875	282,994	333,303	388,539
55	1106	Serviços prestados às famílias e associativas	S52	103,503	110,390	119,242	130,890	143,290	155,981	168,524	180,641	192,064
56	1107	Serviços domésticos	S53	59,818	70,668	84,607	103,252	126,372	154,003	186,122	222,845	264,020
57	1201	Educação pública	\$54	185,889	187,601	209,729	243,046	279,575	319,567	362,598	408,072	455,319
58	1202	Saúde pública	\$55	96,593	97,816	109,555	127,120	146,432	167,618	190,459	214,646	239,834
59	1203	Administração pública e seguridade social	S56	480,560	486,952	544,452	630,536	724,768	827,724	938,350	1,055,200	1,176,645
60												
61		TOTAL		4,695,312	5,062,045	5,659,714	6,452,572	7,296,581	8,175,697	9,075,721	9,986,958	10,900,819
62												
63											\ /	45



/// EFES – Modelos Setoriais – MSB8000– Ex: Transportes

de fabricação	Tipo de veículo	Combustivel	Indicador	Vendas no ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
2011	Ônibus Rodoviários	Diesel	Ônibus Rodo Die: el	3,464	/ATTEN	3,464	3,416	3.368	3.317	3.264	3.207	3,146	3.080	3.007	2 928	2.842	2.748	2.646	2.536	2.419	2.295	2.166	2.031	1.893
2012	Automóveis	Gasolina C	Auto Gasolina C	136.365	-	-	136.039	135.660	134.981	133.874	132.207	129.865	126.767	122.884	118.235	112.891	106.960	100.579	93.893	87.052	80.193	73.439	66.889	60.624
2012	Automóveis	Etanol	Auto Etanol	77/17/27	11		-		-	400000000000000000000000000000000000000				444025	-			77777	200				11.77	- 1
2012	Automóveis	Flex Fuel	Auto Flex	2,715,060			2.708.578	2.701.019	2.687.510	2.665.472	2.632.277	2.585.636	2.523.969	2.446.649	2.354.094	2.247.690	2.129.609	2.002.542	1.869.433	1.733.224	1.596.666	1.462.179	1.331.777	1.207.040
2012	Automóveis	Hibrido	Auto Híbrido	0.00	1		-		-	200000000000000000000000000000000000000			W. 1800 W. 1900 W. 190			1000			-		-	-		17/77/17/17
2012	Automóveis	Plug-in Flex	Auto Plug-in Flex	91	11+	-	+1	100	-			-	13.00		-	10.00	1.0		0.00	100		660		+1
2012	Automóveis	Bateria	Auto Bateria	2	1.	0		-	4	-	12			4	2	-	- 3		-	-	2	-		
2012	Comerciais Leves (Otto)	Gasolina C	Com, Leve Gasolica C	110.046			109.335	108.667	107.594	106.002	103.801	100.938	97,407	93.245	88.535	83.384	77.919	72.273	66.569	60.922	55.425	50.154	45.165	40.497
2012	Comerciais Leves (Otto)	Etanol	Com. Leve Etanol		15				-															
2012	Comerciais Leves (Otto)	Flex Fuel	Com. Leve Flex	358.251	1.0		355.939	353.763	350.267	345.084	337.920	328.601	317.104	303.558	288.221	271.453	253.664	235.281	216.714	198.328	180.433	163.274	147.034	131.83
2012	Comerciais Leves (Diesel)	Diesel	Com. Leve Diesel	197,206	-	-	197.206	192.882	188.481	183.930	179.157	174.097	168.691	162.892	156.666	149.995	142.881	135,349	127.442	119.230	110.800	102.253	93.702	85.26
2012	Motocicletas	Gasolina C	Moto Gasolina C	909.152	5.0		909.152	854.603	803.327	755.127	709.819	667.230	620.524	577.087	536.691	493.756	454.256	408,830	367.947	331.152	298.037	268.233	241.410	217.26
2012	Motocicletas	Flex Fuel	Moto Flex	781.035	- 1		781.035	734,173	690.123	648.715	609.792	573.205	533.080	495,765	461,061	424.176	390.242	351.218	316.096	284.487	256.038	230,434	207.391	186.65
2012	Önibus Urbanos	Diesel	Ônibus Urb. Diese I	20.159	128		20.159	19.881	19.598	19.304	18.995	18.665	18.309	17.922	17.500	17.040	16,537	15.990	15.397	14.760	14.079	13.358	12.602	11.81
2012	Micro-ônibus	Diesel	Micro Diesel	5.769	1.4		5.769	5.689	5.608	5.524	5.436	5.341	5.240	5.129	5.008	4.876	4.733	4.576	4.406	4.224	4.029	3.823	3.606	3.38
2012	Ônibus Rodoviários	Diesel	Ônibus Rodo Die: el	2.881		-	2.881	2.841	2.801	2.759	2.715	2.667	2.617	2.561	2.501	2.435	2.363	2.285	2.201	2.109	2.012	1.909	1.801	1.68
2013	Automóveis	Gasolina C	Auto Gasolina C	139.249	1.0		-	138.917	138.529	137.836	136.706	135.004	132.611	129.449	125.483	120.736	115.279	109.223	102.706	95.879	88.893	81.889	74.992	68.30
2013	Automóveis	Etanol	Auto Etanol	2007	1,4	2		The state of the s				and the same			200000000000000000000000000000000000000		Contraction.	and a second		-	-	-		
2013		Flex Fuel	Auto Flex	2.772.487	11+	-	+1	2.765.868	2.758.149	2.744.354	2.721.850	2.687.953	2.640.325	2.577.354	2.498.399	2.403.886	2.295.231	2.174.652	2.044.899	1.908.974	1.769.884	1.630.438	1.493.106	1.359.9
2013	Automóveis	Hibrido	Auto Hibrido	20	12		-	-	-	-	The state of the s	*			-	-	-	-	(4)	-	*			-
2013	Automóveis	Plug-in Flex	Auto Plug-in Flex	***			7	19			13		1.00			1000	1.5		3300	15		1000	181	-
2013	Automóvels	Bateria	Auto Bateria																					
2013		Gasolina C	Com. Leve Gasolica C	111.744	2.4	-	+1	111.023	110.344	109.254	107.637	105.403	102.496	98.910	94.684	89.901	84.670	79.122	73.388	67.596	61.862	56.280	50.928	45.86
2013		Etanol	Com. Leve Etanol		1	-	-	12							-		200500	1000		- 10000000	-			-
2013		Flex Fuel	Com. Leve Flex	363,779	5.0		+3	361.431	359.221	355.672	350.409	343.135	333.672	321.997	308.241	292.669	275.641	257.578	238.912	220.058	201.388	183.217	165.793	149.30
	Comerciais Leves (Diesel)		Com. Leve Diesel	200.249			- 2	200,249	195.858	191.390	186.768	181.922	176.783	171.294	165.405	159.083	152.309	145.086	137.437	129,409	121.070	112.509	103.831	95.14
2013	Motocicletas	Gasolina C	Moto Gasolina C	939.888	154		40	939.888	883.495	830.485	780.656	733.817	689.788	641.503	596.597	554.836	510.449	469.613	422.652	380.386	342.348	308.113	277.302	249.57
2013		Flex Fuel	Moto Flex	807.440	15		2.1	807.440	758.994	713.454	670.647	630,408	592.583	551.103	512.525	476,649	438.517	403,435	363.092	326.783	294.104	254.694	238.225	214.40
2013	Ônibus Urbanos	Diesel	Ônibus Urb. Diese I	20.466		-		20.466	20.184	19.897	19.598	19.284	18.949	18.588	18.195	17.767	17.299	16.789	16.234	15.632	14.984	14.293	13.561	12.79
2013		Diesel	Micro Diesel	5.857	12		2	5.857	5.776	5.694	5.609	5.519	5,423	5.319	5.207	5.084	4.951	4.805	4.646	4.473	4.288	4.090	3.881	3.66
2013	Ônibus Rodoviários	Diesel	Önibus Rodo Dier el	2.925	:9	-		2.925	2.885	2.843	2.801	2.756	2.708	2.656	2.600	2.539	2.472	2.399	2.320	2.234	2.141	2.043	1 938	1.82
2014	Automóveis	Gasolina C	Auto Gasolina C	142.151				75	141.811	141.415	140.708	139.554	137.816	135.374	132.146	128.098	123,252	117.681	111.499	104.846	97.877	90.745	83.596	76.55
2014	Automóveis	Etanol	Auto Etanol	2.70	14	0	2	- 1		100011								1000000					10-5	
2014	Automóveis	Flex Fuel	Auto Flex	2.830.254		-	-		2.823.497	2.815.617	2.801.534	2.778.562	2.743.958	2.695.338	2.631.055	2.550.455	2.453.972	2.343.054	2.219.963	2.087.505	1.948.749	1.806.761	1.664.409	1.524.21
2014	Automôveis	Hibrido	Auto Hibrido	16575000	-		-	12	Month Salah	W0.0077/506 (4)		0.000	101001001001		Sacroll Section						A THE PERSON OF THE	- WARREN (1977)		
2014	Automóveis	Plug-in Flex	Auto Plug-in Flex						-				11.00									0.70		
2014	Automóveis	Bateria	Auto Bateria	23	-		2	1	2			1	1/2	- 2			3	2						- 1
2014		Gasolina C	Com. Leve Gasoli a C	113.443					112.710	112.021	110.914	109.273	107.005	104.054	100.413	96.123	91.267	85.957	80.324	74.503	68.624	62.802	57.135	51.70
2014	Comerciais Leves (Otto)		Com. Leve Etanol	220,990	100				225.720	-	140.24	***************************************	207.003	201.024	200.723	-		-	-	,,,,,,,	00.029	02.002		32.70
2014	Comerciais Leves (Otto)		Com. Leve Flex	369.308		-			366.925	364.682	361.078	355.735	348.350	338.744	326.892	312.927	297.117	279.831	261.493	242 543	223.403	204,449	186.002	168.31
	Comerciais Leves (Diesel)		Com. Leve Diesel	203.293	14				203.293	198.835	194.299	189.607	184.687	179.470	173.898	167.919	161.501	154.624	147.291	139.526	131.376	122,910	114.219	105.40
2014	Motoricletas		Moto Gacolina C	971 190							0.000	400,000	and comment	717 760	2.0.000	A				436 777	200,010			200



/// EFES – Modelos Setoriais – MSB8000 – Ex: Transportes

Frota Circula	nte (quantidade de	veículos)												F	rota	a cir	cul	ant	e					
Ano de fabricação	Tipo de veículo	Combustível	Indicador	Vendas no ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
2011	Ônibus Rodoviários	Diesel	Ônibus Rodo Diesel	3.464	19	3.464	3,416	1.368	3.317	3.264	3.207	3.146	3.080	3.007	2.928	2.842	2.748	2.646	2.536	2.419	2.295	2.166	2.031	12.73
2012	Automóveis	Gasolina C	Auto Gasolina C	136.365	9.5		136.039	35,660	134.981	133.874	132.207	129.865	126.767	122.884	118.235	112.891	106.960	100.579	93.893	87.052	80.193	73,439	66.889	60.62
2012	Automóveis	Etanol	Auto Etanol	+	14		+			-														-
2012	Automóveis	Flex Fuel	Auto Flex	2.715.060	1.7		2.708.578	1.701.019	2.687.510	2.665.472	2.632.277	2.585.636	2.523.969	2.446.649	2.354.094	2.247.690	2.129.609	2.002.542	1.869.433	1.733.224	1.596.666	1.462.179	1.331.777	1.207.040
2012	Automóveis	Hibrido	Auto Híbrido	2.1	-	-	-	-	-	-				-			-	-	-	-	-			-
2012	Automóveis	Plug-in Flex	Auto Plug-in Flex	50	1.5	-	+1	105	- 3	**	1.5	5				1.5	- 12		3.50		-		- 13	
2012	Automóveis	Bateria	Auto Bateria	200		0				-					2	-								
2012	Comerciais Leves (Otto)	Gasolina C	Com. Leve Gasolina C	110.046	1.5		109.335	108,667	107.594	106.002	103.801	100.938	97,407	93.245	88.535	83.384	77.919	72.273	66.569	60.922	55,425	50.154	45.165	40.497
2012	Comerciais Leves (Otto)	Etanol	Com. Leve Etanol		14			100		The First					100.00	100				AND THE REST				
2012	Comerciais Leves (Otto)	Flex Fuel	Com. Leve Flex	358.251	1.0		355.939	353.763	350.267	345.084	337.920	328.601	317.104	303.558	288.221	271.453	253.664	235.281	216.714	198.328	180.433	163.274	147.034	131.836
2012	Comerciais Leves (Diesel)	Diesel	Com. Leve Diesel	197.206	1.4	-	197.206	192.882	188.481	183.930	179.157	174.097	168.691	162.892	156.666	149.995	142.881	135,349	127.442	119.230	110.800	102.253	93.702	85.263
2012	Motocicletas	Gasolina C	Moto Gasolina C	909.152	1.0	-	909.152	854,603	803.327	755.127	709,819	667.230	620.524	577.087	536.691	493.756	454.256	408,830	367.947	331.152	298.037	268.233	241.410	217.269
2012	Motocicletas	Flex Fuel	Moto Flex	781.035	- 1		781.035	734,173	690.123	648.715	609.792	573.205	533.080	495.765	461,061	424.176	390.242	351.218	316.096	284.487	256.038	230,434	207.391	186.652
2012	Önibus Urbanos	Diesel	Ônibus Urb. Diesel	20.159	18		20.159	19.881	19.598	19.304	18,995	18.665	18.309	17.922	17.500	17.040	16.537	15.990	15.397	14.760	14.079	13.358	12.602	11.819
2012	Micro-ônibus	Diesel	Micro Diesel	5.769		-	5.769	5.689	5.608	5.524	5.436	5.341	5.240	5.129	5.008	4.876	4.733	4.576	4.406	4.224	4.029	3.823	3.606	3.382
2012	Ônibus Rodoviários	Diesel	Ônibus Rodo Diesel	2.881		-	2.881	2.841	2.801	2.759	2.715	2.667	2.617	2.561	2.501	2.435	2.363	2.285	2.201	2.109	2.012	1.909	1.801	1.689
2013	Automóveis	Gasolina C	Auto Gasolina C	139.249		-	+ 1	138.917	138.529	137.836	136.706	135.004	132.611	129.449	125.483	120.736	115.279	109.223	102.706	95.879	88.893	81.889	74.992	68.304
2013	Automóveis	Etanol	Auto Etanol	200	- 1	2			-		100000000000000000000000000000000000000	-		-	-		- Constant	- Armingo Ar			-	-		200
2013	Automóveis	Flex Fuel	Auto Flex	2.772.487	11+		+1	2.765.868	2.758.149	2.744.354	2.721.850	2.687.953	2.640.325	2.577.354	2.498.399	2.403.886	2.295.231	2.174.652	2.044.899	1.908.974	1.769.884	1.630.438	1.493.106	1.359.945
2013	Automóveis	Hibrido	Auto Hibrido	20	100	0	- 2	-	-	-		*				-	-	-	-	-	*		1	-
2013	Automóveis	Plug-in Flex	Auto Plug-in Flex	**				27.0			7.9		1000		-	200	1.0		3343	0.00	*0	2000	19.	
2013	Automóveis	Bateria	Auto Bateria	23	18		- 1											2					8	1
2013	Comerciais Leves (Otto)	Gasolina C	Com. Leve Gasolina C	111.744	2.4		41	111.023	110.344	109.254	107.637	105.403	102.496	98.910	94.684	89.901	84.670	79.122	73.388	67.596	61.862	56.280	50.928	45.862
2013	Comerciais Leves (Otto)	Etanol	Com. Leve Etanol	20	-		2	-	-	-	-	-			-					-	-			-
2013	Comerciais Leves (Otto)	Flex Fuel	Com. Leve Flex	363.779	2.4	-		361.431	359.221	355.672	350.409	343.135	333.672	321.997	308.241	292.669	275.641	257.578	238.912	220.058	201.388	183.217	165.793	149.303
2013	Comerciais Leves (Diesel)	Diesel	Com. Leve Diesel	200.249	1		- 2	200.249	195.858	191 390	186.768	181.922	176.783	171.294	165.405	159.083	152.309	145.086	137.437	129.409	121.070	112.509	103.831	95.148
2013	Motocicletas	Gasolina C	Moto Gasolina C	939.888	154		40	939.888	883.495	830.485	780.656	733.817	689.788	641.503	596.597	554.836	510.449	469.613	422.652	380.386	342.348	308.113	277.302	249.572
2013	Motocicletas	Flex Fuel	Moto Flex	807.440	12		2	807,440	758.994	713.454	670.647	630,408	592.583	551.103	512 525	476,649	438.517	403,435	363.092	326.783	294.104	254.694	238.225	214.402
2013	Ônibus Urbanos	Diesel	Ônibus Urb. Diesel	20,466				20,466	20.184	19.897	19.598	19.284	18.949	18.588	18.195	17.767	17.299	16.789	16.234	15.632	14.984	14.293	13.561	12.794
2013	Micro-ônibus	Diesel	Micro Diesel	5.857	1		1	5.857	5.776	5.694	5.609	5.519	5.423	5.319	5.207	5.084	4.951	4.805	4.646	4.473	4.288	4.090	3.881	3.661
2013	Ônibus Rodoviários	Diesel	Önibus Rodo Diesel	2.925				2.925	2.885	2.843	2.801	2.756	2.708	2.656	2.600	2.539	2.472	2.399	2.320	2.234	2.141	2.043	1.938	1.828
2014	Automóveis	Gasolina C	Auto Gasolina C	142.151				All	141.811	141 415	140.708	139.554	137.816	135.374	132 146	128.098	123.252	117.681	111.499	104.846	97.877	90.745	83.596	76.554
2014	Automóveis	Etanol	Auto Etanol	11000	- 1			1		1000	2.00			7.00									10.00	1000
2014	Automóveis	Flex Fuel	Auto Flex	2.830.254					2.823.497	2.815.617	2.801.534	2.778.562	2.743.958	2.695.338	2.631.055	2.550.455	2.453.972	2.343.054	2.219.963	2.087.505	1.948.749	1.806.761	1.664.409	1.524.216
2014	Automóveis	Hibrido	Auto Hibrido	2.000.204			10	12		-					-	-	77777		-					
2014	Automóveis	Plug-in Flex	Auto Plug-in Flex						-				-											
2014	Automóveis	Bateria	Auto Bateria	39		0	7		0	18	12		172			18/4	- 2	- 0	100				100	55
2014	Comerciais Leves (Otto)	Gasolina C	Com. Leve Gasolina C	113.443					112.710	112.021	110.914	109.273	107.005	104.054	100.413	96.123	91.267	85.957	80.324	74.503	68.624	62.802	57.135	51.702
2014	Comerciais Leves (Otto)	Etanol	Com. Leve Etanol	115.445		- 0			112.710	112.021	110.519	105.275	207.003	104.034	100.413	50.125	31.207	03.337	00.524	74.303	00.024	02.002	37.133	31.702
2014	Comerciais Leves (Otto)		Com. Leve Flex	369.308					366.925	364.682	361.078	355.735	348,350	338.744	326.892	312.927	297.117	279.831	261.493	242 543	223.403	204,449	186.002	168 44
2014	Comerciais Leves (Otto)		Com. Leve Plex	203.293					203.293	198.835	194.299	189.607	184 687	179.470	173.898	167.919	161 501	154.624	147.291	139.526	131.376	122,910	114.219	us 409
2014	Motoricletae	Gacolina C	Moto Gacolina C	203.293 971 100	17				203.293	017 019	959 1/12	205.65A	750 755	712.760	567.867	616 A66	572.212	577.024	485 757	436 777	202.055	352 7/10	219 27	786 527
	aturação frota auto e mo		e vendas Eficiências		iências voi	culares Alte	ern To	hela dinân		cias Fa	- Control Control	1000011000111	Frota Circ	21.7.7.7.	H (+)									



# Cenários integrados do sistema energético

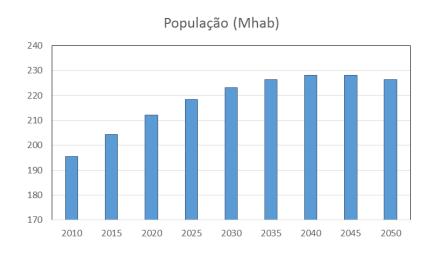
#### Algumas ressalvas

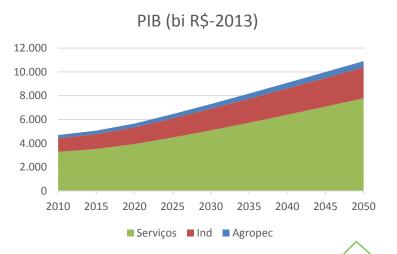
- Análise de equilíbrio parcial do sistema energético i.e., otimização de todas as cadeias energéticas, simultaneamente
- Dados de custos (I, FOM, VOM, t<sub>const</sub>) e desempenho de instalações energéticas (destilarias, FPSOs, refinarias, centrais de geração elétrica,...)
  => análise setoriais
- Resultado é função de população, PIB, VA setorial e  $\pi_{\text{L}}$ , fornecidas pela FIPE/USP
  - Cenário econômico de maio/2015.
- Passos iterativos (uso do solo ⇔ energia ⇔ economia) completos
- Resultados incluem emissões derivadas da combustão de hidrocarbonetos, emissões de processos industriais (inclusive refino de petróleo), tratamento de resíduos e emissões fugitivas de metano



# Dados exógenos

- Dados "macro"
  - $\checkmark$  Detalhamento de gastos das famílias e da  $\pi_L$ : impacto em edificações e transportes
  - ✓ Crescimento VA agregado e VA setorial
  - ✓ Crescimento populacional, PEA





#### Dados básicos da Modelagem

- ✓ Brent (ou equivalente leve, doce, não ácido) = 75 US\$/b (média do período) => evita resultados otimistas para os CMA e mantém produção do pré-sal
- ✓ Preços de derivados definidos segundo ∆ Brent (base FOB) análise COPPE
- ✓ Envoltória das curvas de produção de petróleo (offshore pós e pré-sal e onshore) MH "variada" análise COPPE
- ✓ Modelagem refino detalhada (modelo CAESAR) análise COPPE
- ✓ Curva de produção potencial de biomassa análise CSR/UFMG



#### MSB8000 - Detalhamento

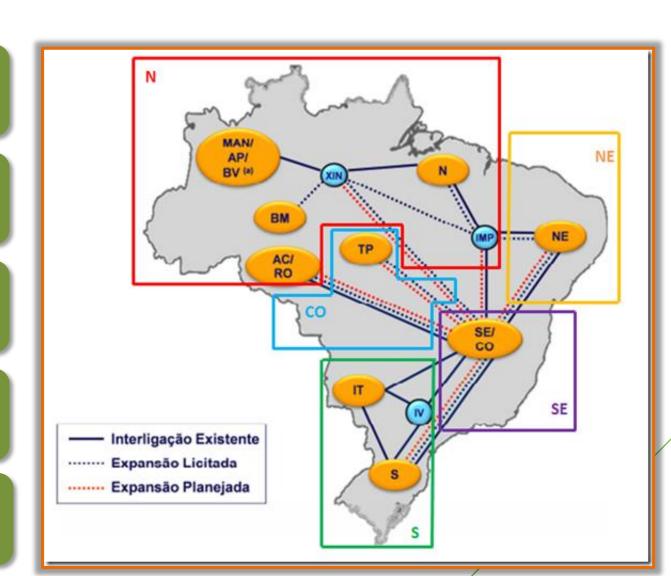
Horizonte de análise: 2010 – 2050 Intervalos de 5 anos

Sazonalidade: 12 meses

Curva de carga diária: 24 horas

**6** regiões (transporte de eletricidade e gás)

Cerca de 8.000 tecnologias (> 300 tecnologias de BC)





# Cenário de linha de base do sistema energético



#### Cenário de Linha de Base

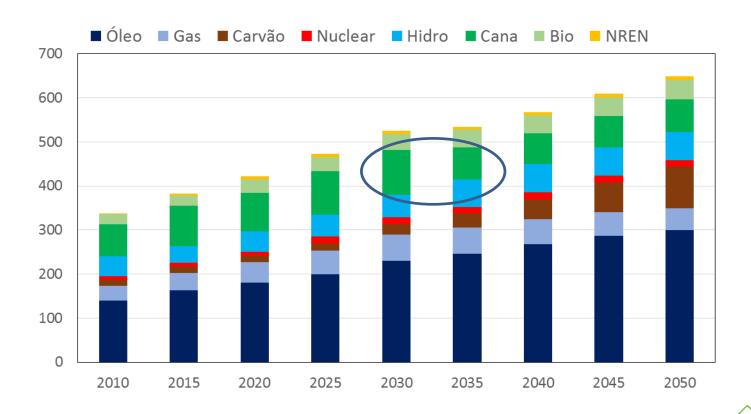
#### /// Premissas:

- Expansão a mínimo custo
- /// Tecnologias disponíveis
- /// Sem políticas de mitigação
- /// Ótica setorial domina a modelagem
- /// Restrições garantem trajetória BAU no curto prazo



#### Resultados – Linha de base

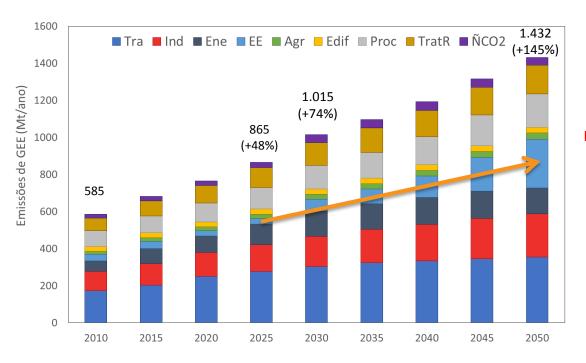
#### /// Consumo de Energia Primária (GWa)





#### Resultados – Linha de base

#### /// Emissões setoriais de GEE (MtCO<sub>2</sub>e)



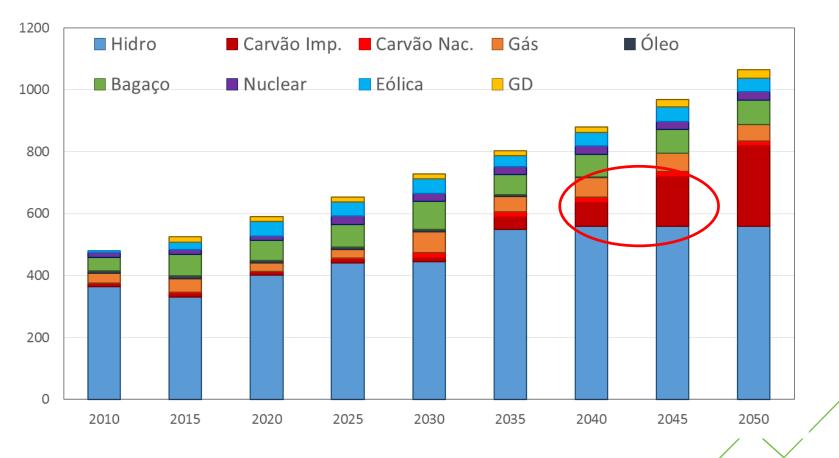
Emissões de combustão, tratamento de resíduos, processo (instalações energéticas e industriais) e emissões fugitivas de CH<sub>4</sub>. Não inclui emissões associadas ao uso do solo.

Legenda: Tra = Transportes; Ind = Indústria; Ene = Energia; EE = Eletricidade; Agr = Agricultura; Edif = Edificações; Proc = Processos Industriais; TratR = Resíduos; NCO2 = Emissões não CO<sub>2</sub>.



#### Resultados – Linha de base

#### /// Geração Elétrica (TWh)



61



# Cenários de baixo carbono do sistema energético

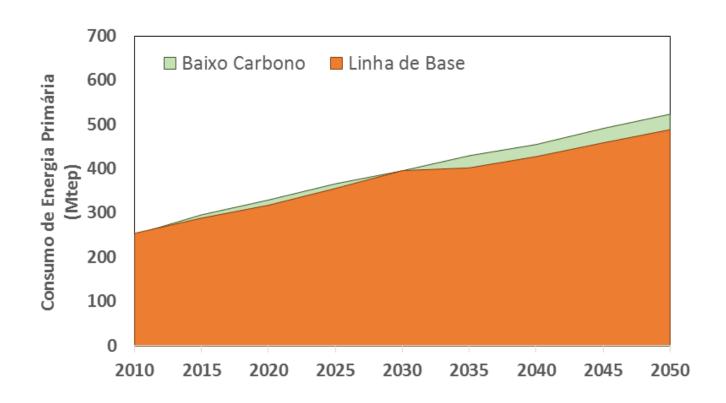
#### Cenários de Baixo Carbono

- /// Premissas para Baixo Carbono (BC $_x$ ):
  - /// Melhores tecnologias disponíveis
  - /// Diversas medidas de eficiência energética e processos produtivos de baixo carbono (≅ 300 tecnologias de baixo carbono)
  - /// Menos restrições em relação perfil tecnológico
  - /// Modelo possui maior liberdade de otimização
  - $/\!/\!/$  BC<sub>0</sub> = Sem valor de carbono
    - Opções que seriam potencialmente econômicas, mas não são implementadas devido a barreiras de mercado.
    - /// Conjunto de opções "no-regret"



# Resultados – $BC_0$

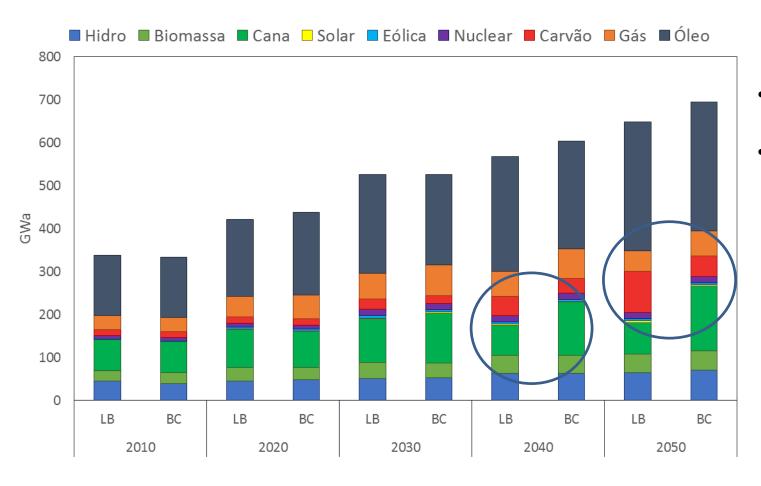
/// Energia Primária (Mtep)





# $Resultados - BC_0$

/// Energia Primária (GWa)



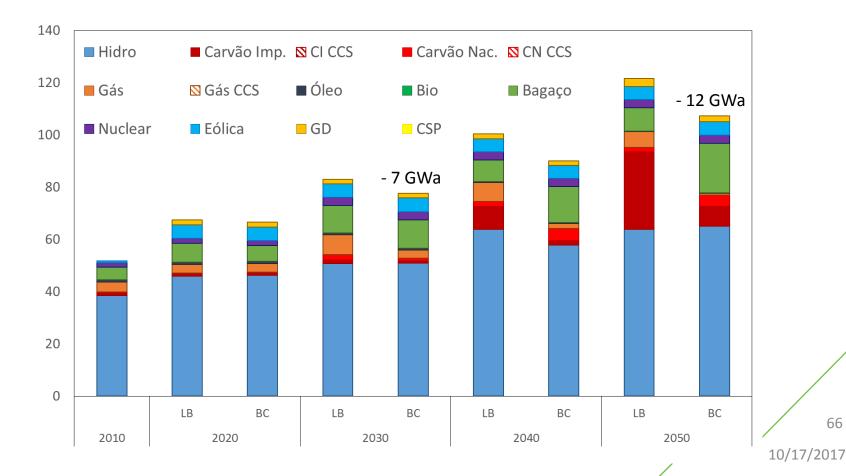
- Aumento da cana de açúcar
- Diminuição do carvão



66

# Resultados – $BC_0$

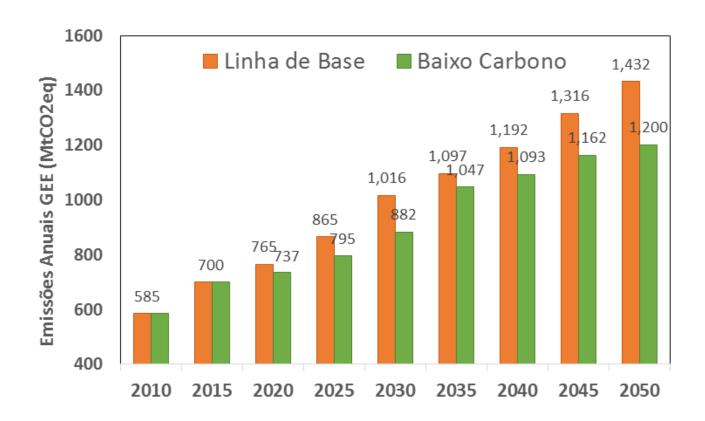
Geração Elétrica: redução de 7 GWa em 2030, e 12 GWa em 2050 (relativa ao cenário de linha de base)





# $Resultados - BC_0$

/// Redução das emissões: 16% em 2050





# $Resultados - BC_0$

#### /// Emissões setoriais



Legenda: LB: Cenário de Linha de Base; BC = Cenário de Baixo Carbono; Tra = Transportes; Ind = Indústria; Ene = Energia; EE = Eletricidade; Agr = Agricultura; Edif = Edificações; Proc = Processos Industriais; TratR = Resíduos; NCO2 = Emissões não CO<sub>2</sub>.

### $BC_0$ – Síntese

- Ganhos de eficiência na conversão de energia térmica na indústria e refino:
  - Medidas de custo fixo praticamente nulo, como controle adequado de queima
  - Medidas de custo fixo baixo, ainda mais quando se considera a reposição de equipamentos no final da vida útil.
- /// A partir de 2030, participação maior de VEH na frota de veículos leves, o mesmo ocorrendo para veículos PHEV e BEV a partir de 2040.

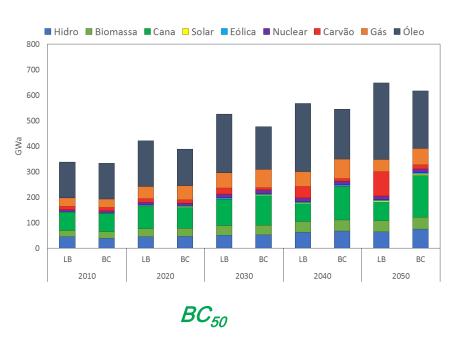
#### Cenários de Baixo Carbono

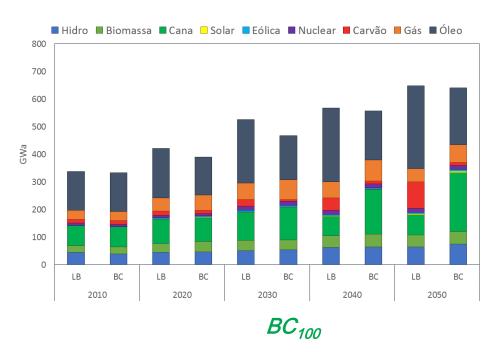
- $/\!/\!/$  BC<sub>x</sub>:
  - Mesmo grau de liberdade tecnológico do BC<sub>0</sub>
  - /// Onde "x" representa a faixa de custo das medidas de baixo carbono
    - Ou seja, BC25 (representa o conjunto de medidas com custo de abatimento negativos, nulos e até US\$ 25/tCO<sub>2</sub>).
  - /// Foram elaborados cenários com custos de redução de emissões até US\$ 200/tCO<sub>2</sub>.



# Resultados BC<sub>x</sub>

#### /// Energia Primária (GWa)

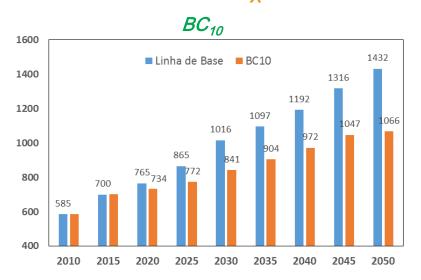


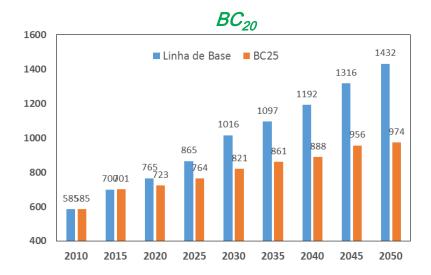


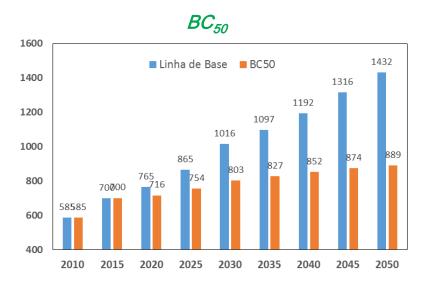
Crescimento consistente da cana de açúcar, diante dos limites de uso do solo e produtividade

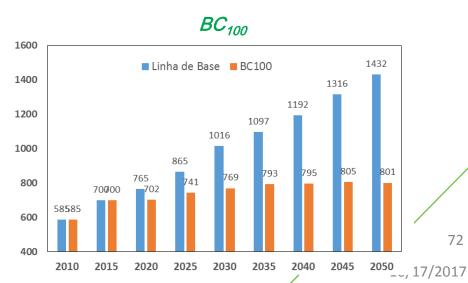


#### Resultados BC<sub>x</sub> – Emissões de GEE



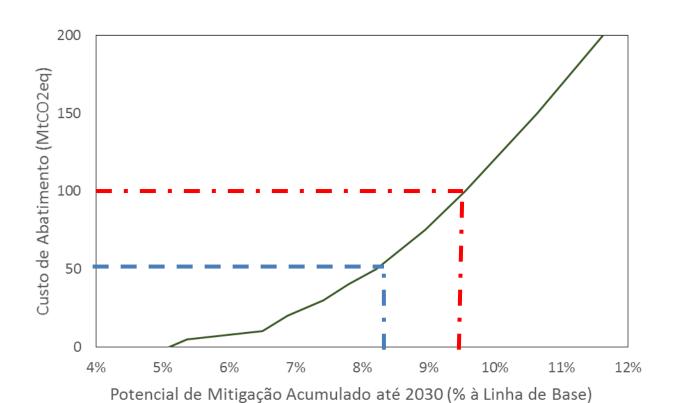






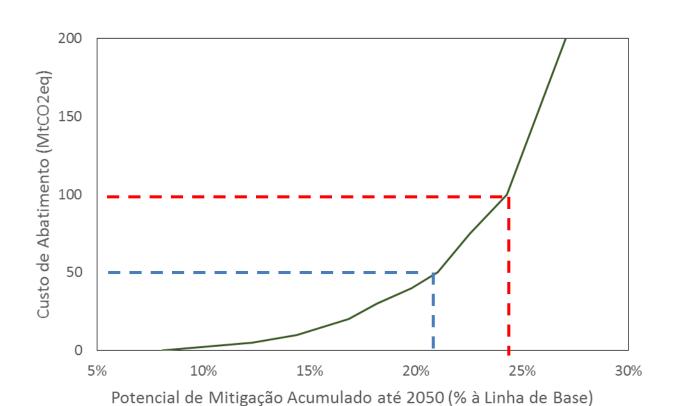


# Resultados BC<sub>x</sub> até 2030



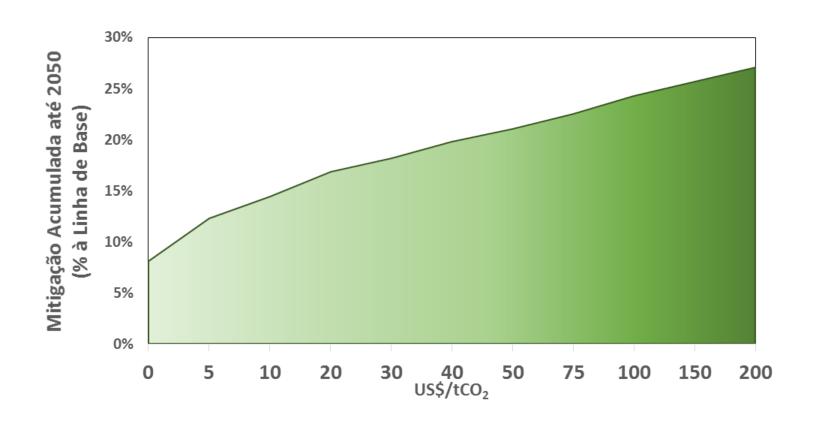


# Resultados BC<sub>x</sub> até 2050





# Resultados BC<sub>x</sub> até 2050

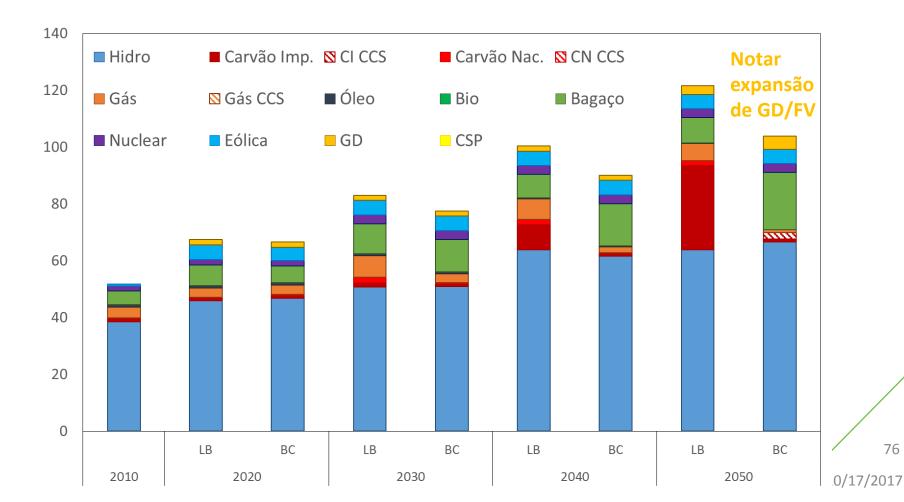




76

# Resultados BC<sub>50</sub>

/// Geração Elétrica (GWa): CCS entra a partir de 40 US\$/tCO<sub>2</sub>

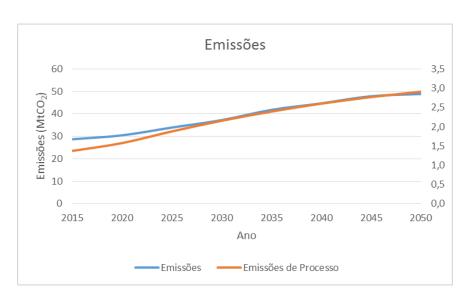


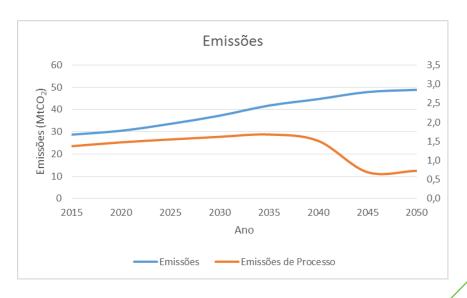


# Resultados BC<sub>50</sub> – CCS na Indústria

/// CCS na indústria também passa a aparecer em BC<sub>50</sub>

#### Resultados Química: impacto do CCS na emissões de processo (NH<sub>3</sub>)





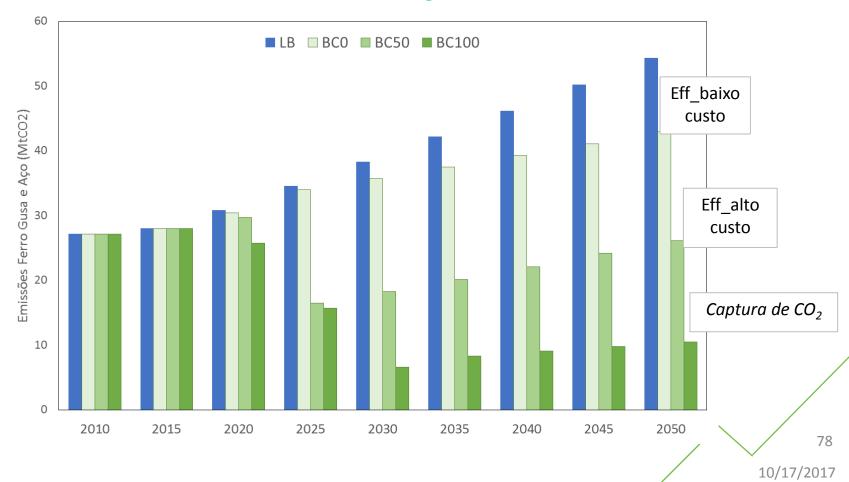
 $BC_0$ 





# Resultados BC<sub>100</sub> – CCS na Indústria

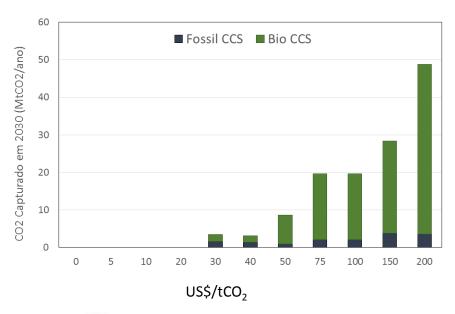
#### Resultados Setor Siderúrgico

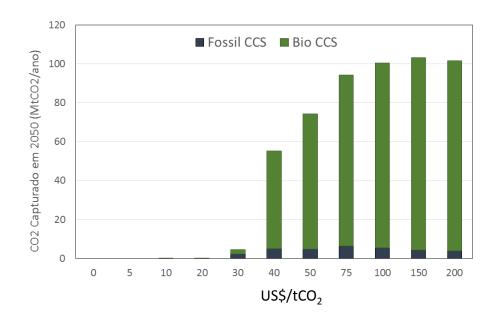




# Resultados $BC_X$ — BioCCS

#### /// Grande destaque para o BioCCS







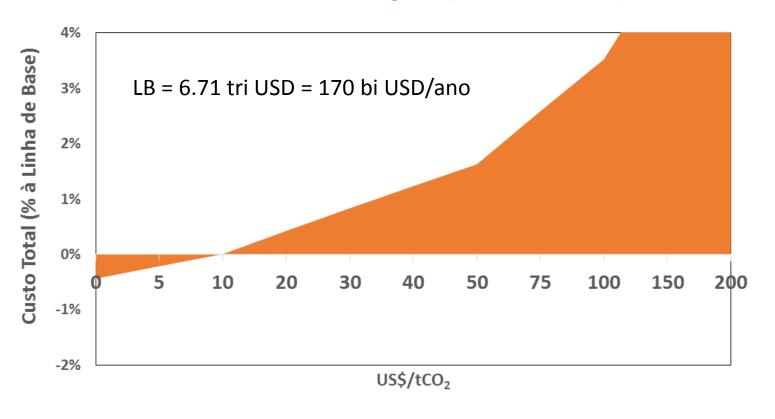
É possível, em 2030, haver uma capacidade de transporte de CO<sub>2</sub>?

Aspectos regulatórios + custos de transação.



#### Custos de implementação

#### Incremento nos custos totais do sistema energético (Oferta e Demanda) – 2010 a 2050





# Considerações finais

#### Considerações finais

- /// Em 2030, no cenário LB, emissões seriam de 1.016 MtCO2e. E, no cenário BCO, as emissões seriam de 887 MtCO2e (excluindo AFOLU).
- Cenários baseados em projeções macroeconômicas de maio/2015.
  - /// Fase de implementação de novos cenários baseados em projeções macroeconômicas de abril/2016.
- /// Relevância dos custos de transação associados a questões institucionais.



#### **OBRIGADA**

Mariana Império marianaimperio@ppe.ufrj.br