



*Opções de Mitigação de Emissões  
de Gases de Efeito Estufa em  
Setores-Chave do Brasil*

# 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
2. Modelos Setoriais
3. 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*



# Cenários

## /// 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



# Cenários

- /// 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)



# Cenários

- /// 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



## Cenários

- /// 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)



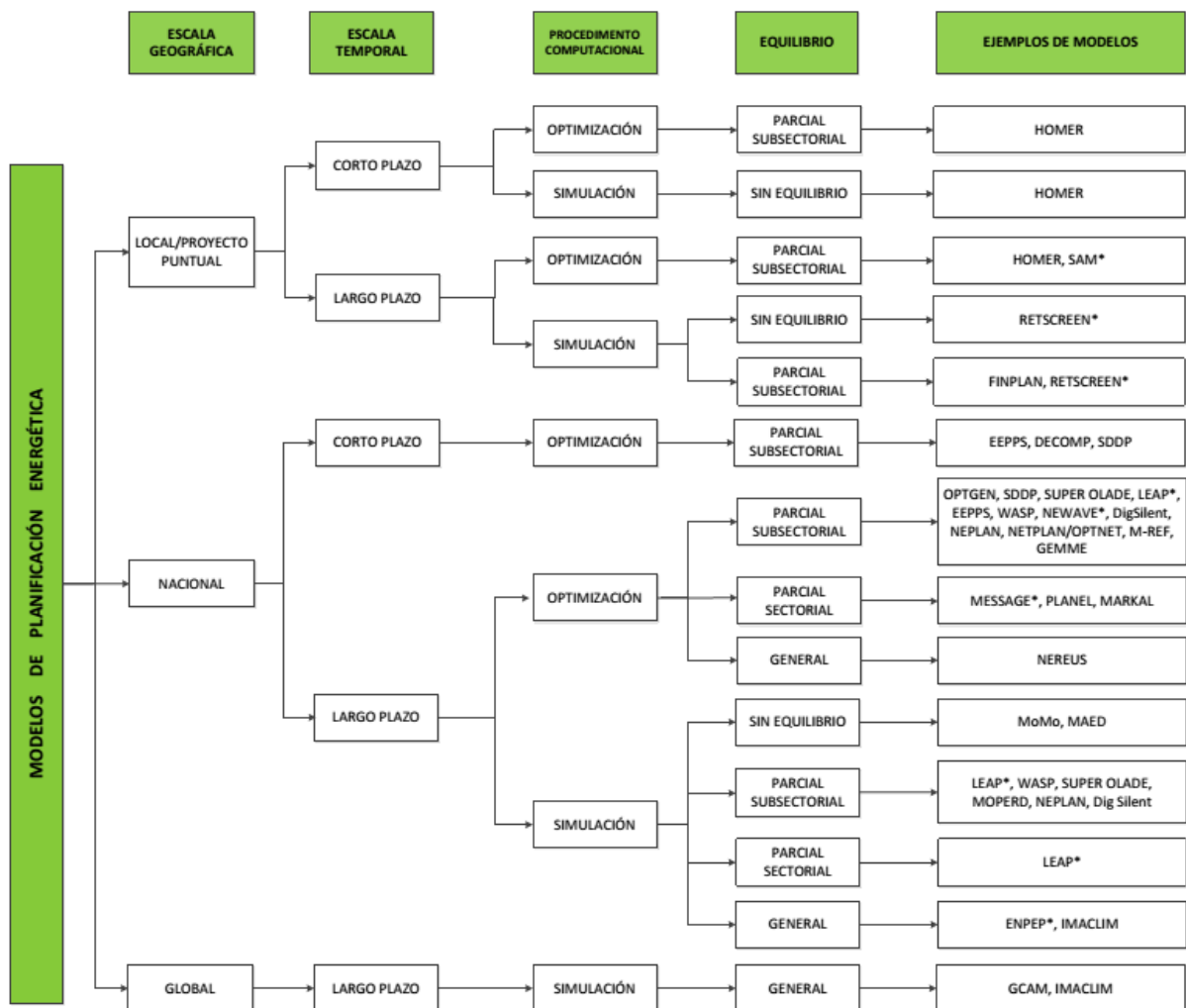


# Modelagem

- /// 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):



Nota:

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



## Modelos: Oferta x Demanda

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

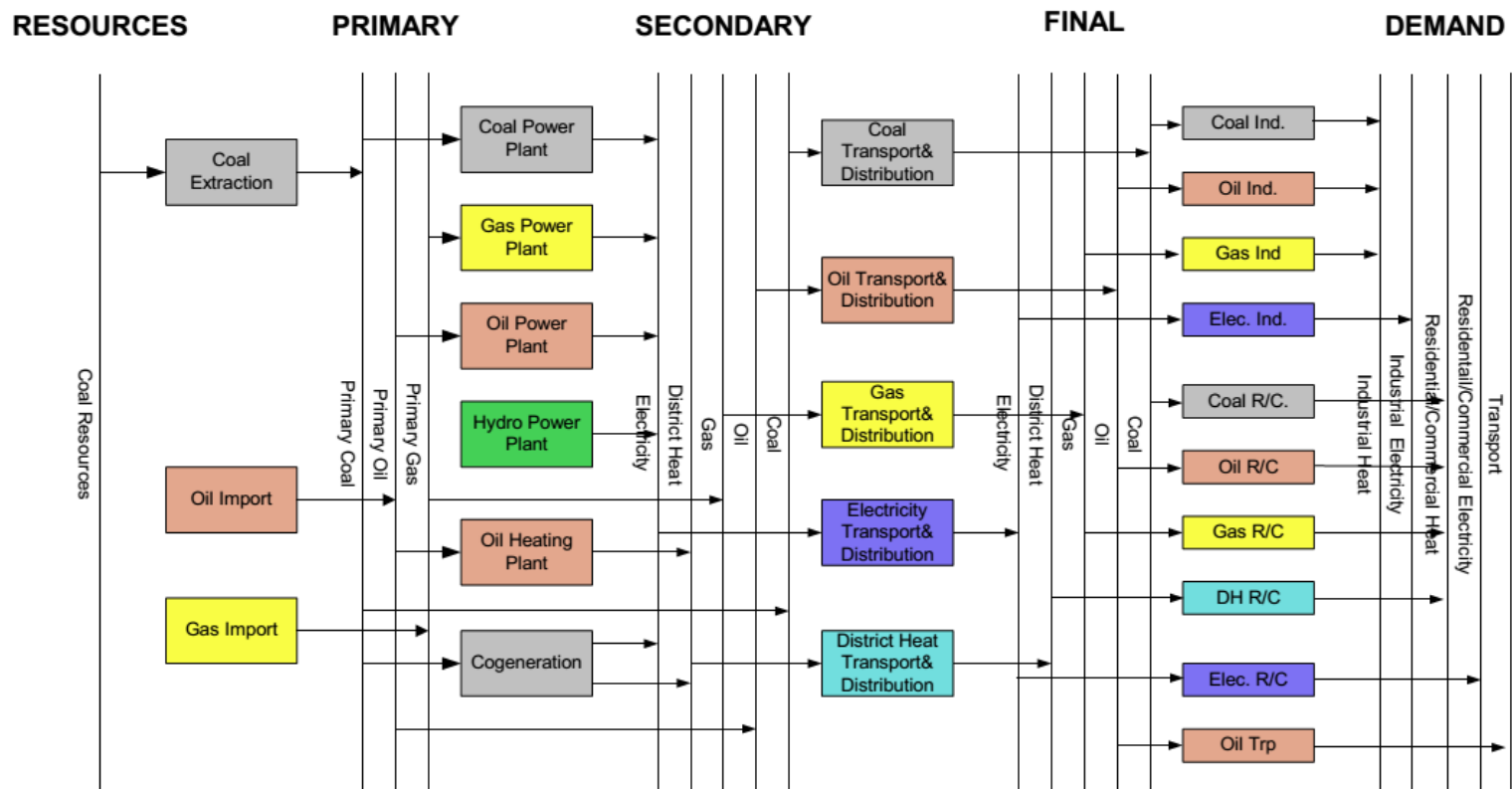
Instrumento	Detalhamento	Procedimento Computacional	Equilíbrio	Área geográfica	Prazo
MESSAGE	<i>Bottom-up</i>	Otimização	Parcial	Global/nacional /regional	Médio e longo prazos



# 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)



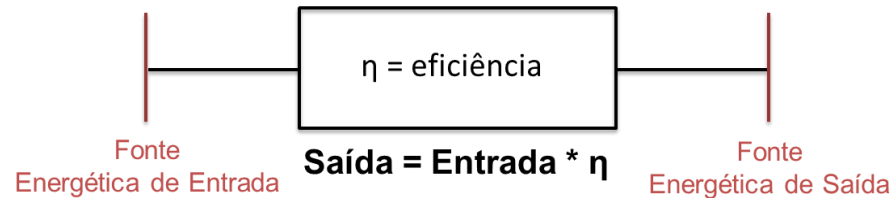


# *MESSAGE: Estrutura*



## MESSAGE: Estrutura

### /// Tecnologias:



### /// Representação dos elementos

/// Eficiência

/// Capacidade histórica instalada

/// Custos (investimento, O&M fixo e variável)

/// Fator de capacidade

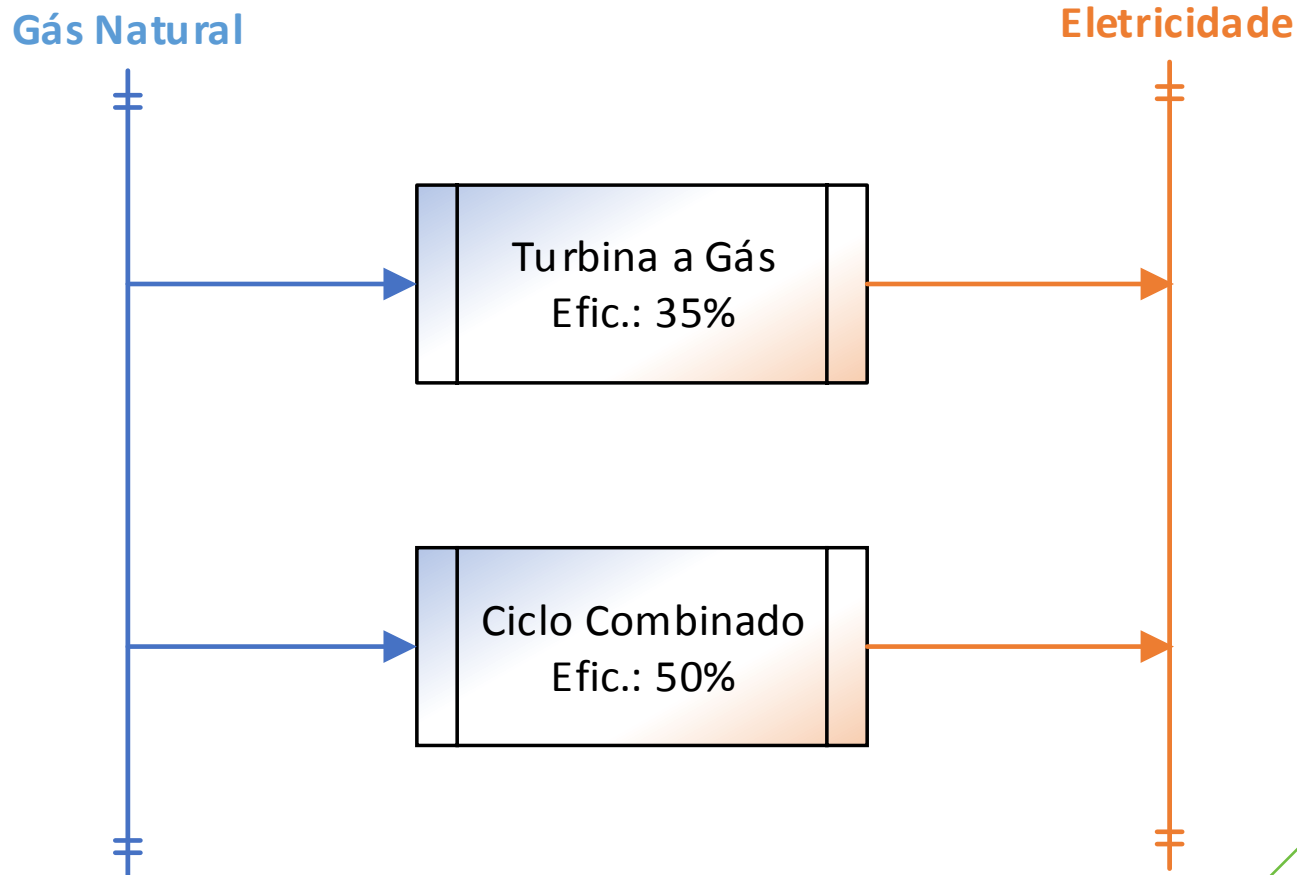
/// Vida útil

/// Tempo de construção



## MESSAGE: Estrutura

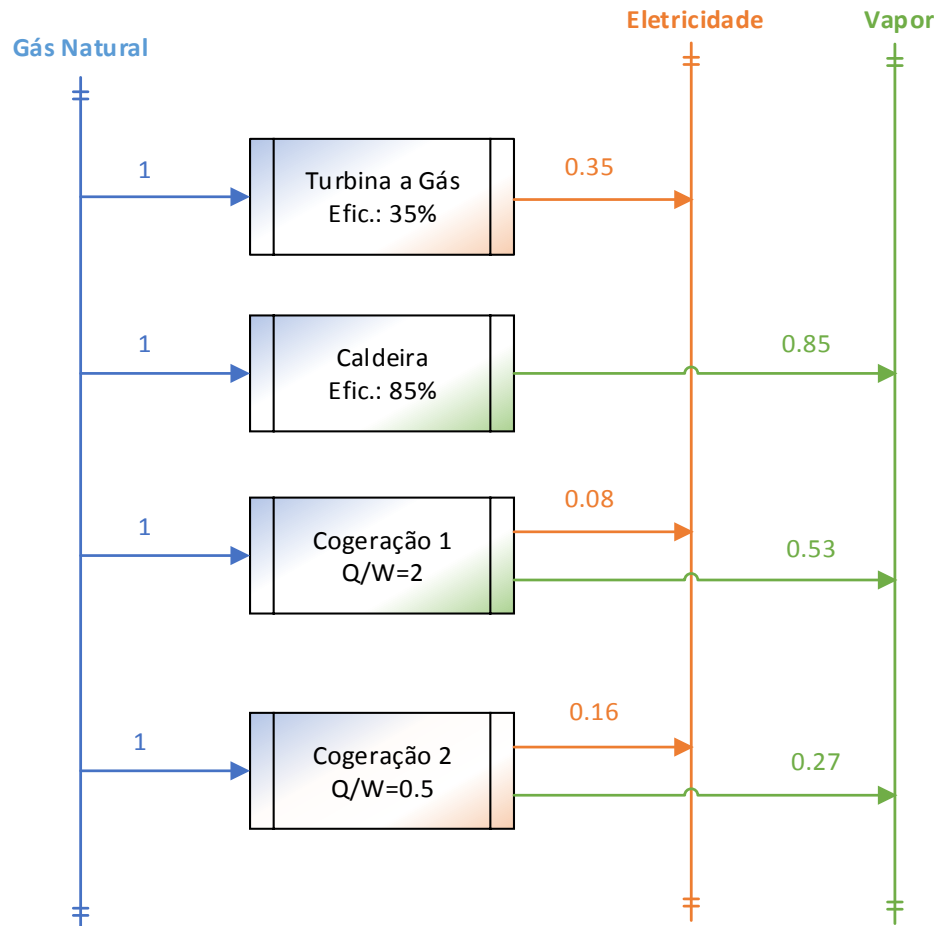
- /// Exemplo: duas tecnologias que disputam para atender a mesma demanda (output)





# MESSAGE: Estrutura

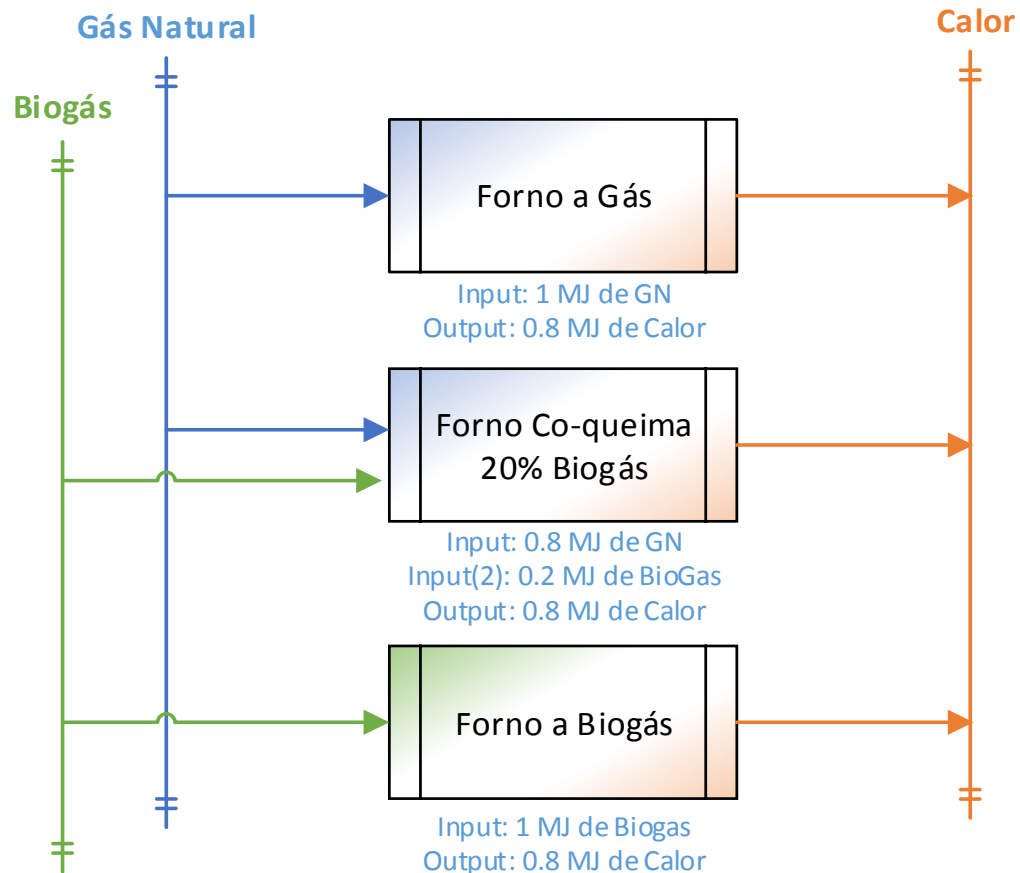
/// Exemplo: um input atendendo a mais de uma demanda (output) simultaneamente





## MESSAGE: Estrutura

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



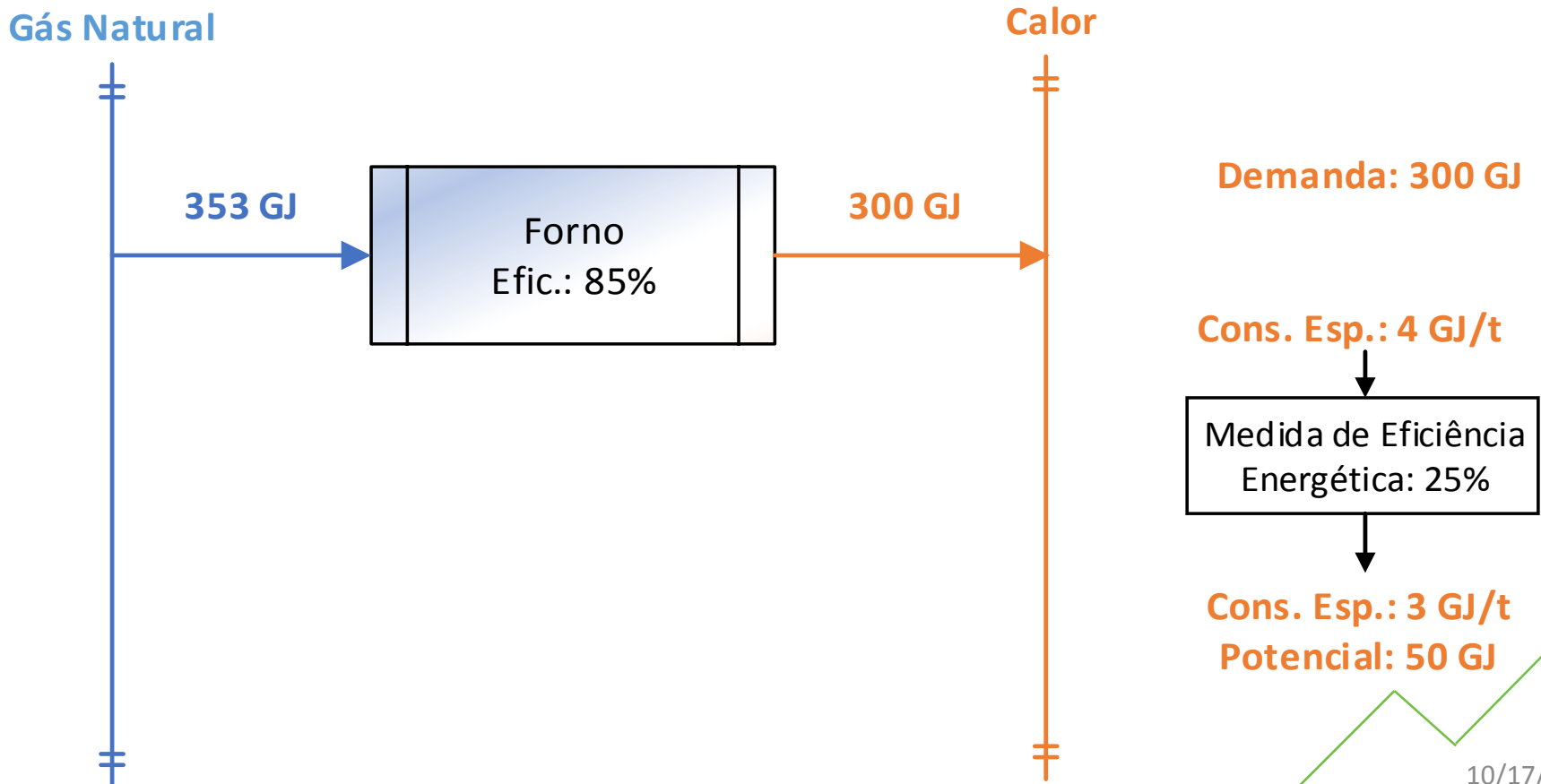


# *MESSAGE: Medidas de abatimento*



## MESSAGE: Medidas de abatimento

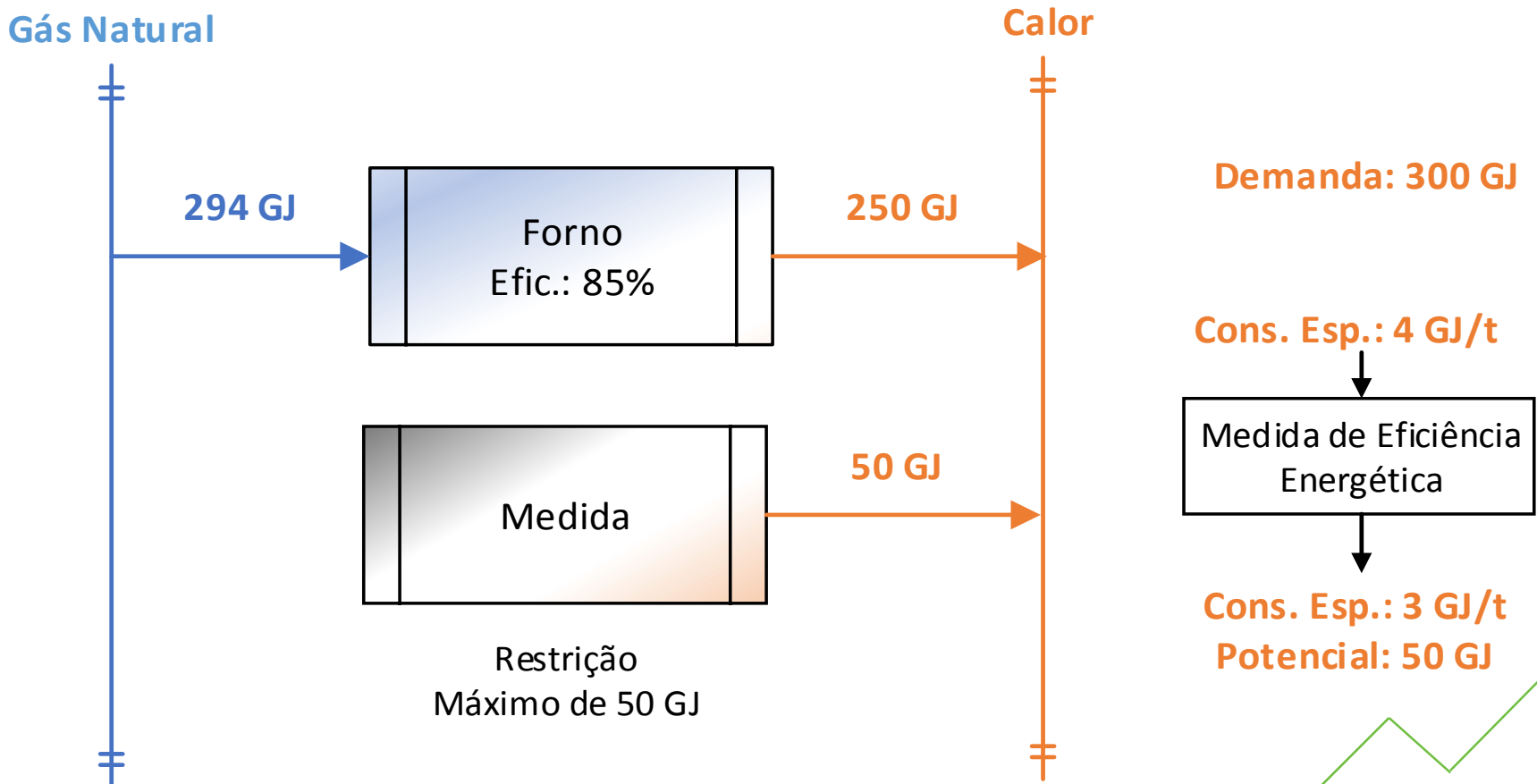
/// Exemplo: medida de redução do consumo específico (reduz demanda de calor)





## MESSAGE: Medidas de abatimento

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

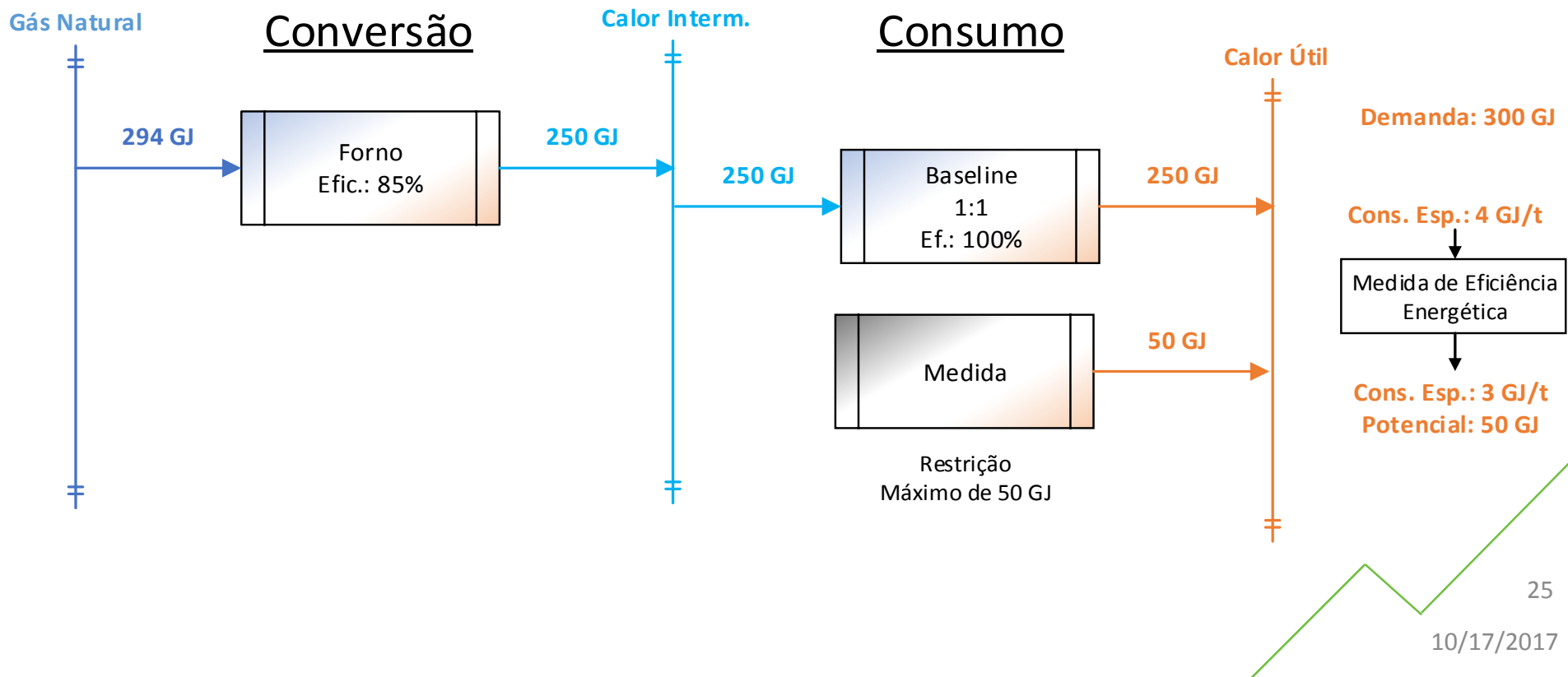






# MESSAGE: Medidas de abatimento

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





## MESSAGE: Medidas de abatimento

### /// Divisão:

/// Conversão: substituição de combustível, aumento de eficiência (fornos, caldeiras)

/// Conversão de um energético em uma utilidade (calor, vapor, eletricidade)

/// Consumo: 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)

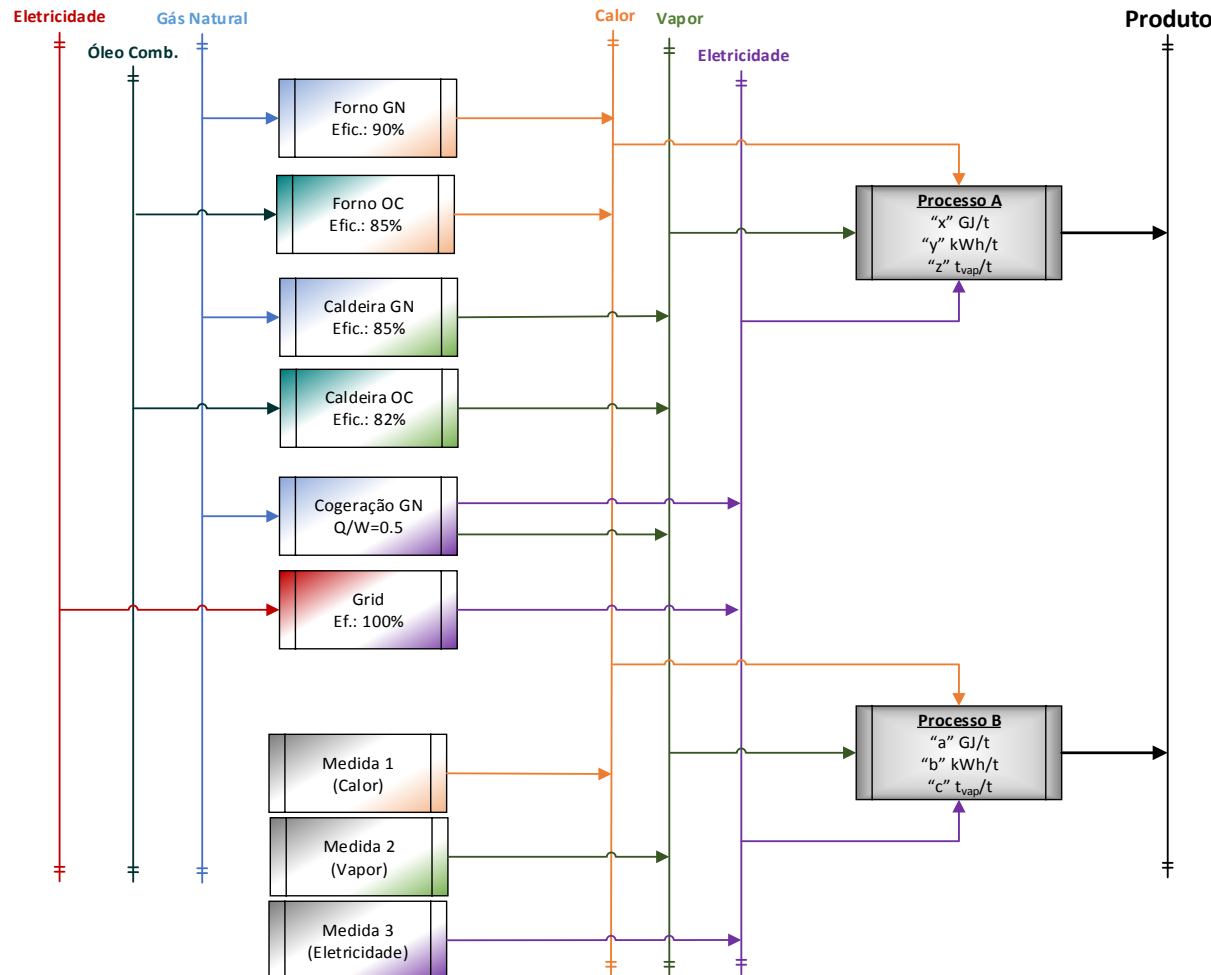
/// Processo: substituição de processos

/// Competição para atender demanda de produto.



# MESSAGE: Medidas de abatimento

## /// “Recorte” para o setor industrial





# *MESSAGE: Restrições*



## Otimização: 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



## Otimização: Restrições

- /// 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 sempre 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 podem 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

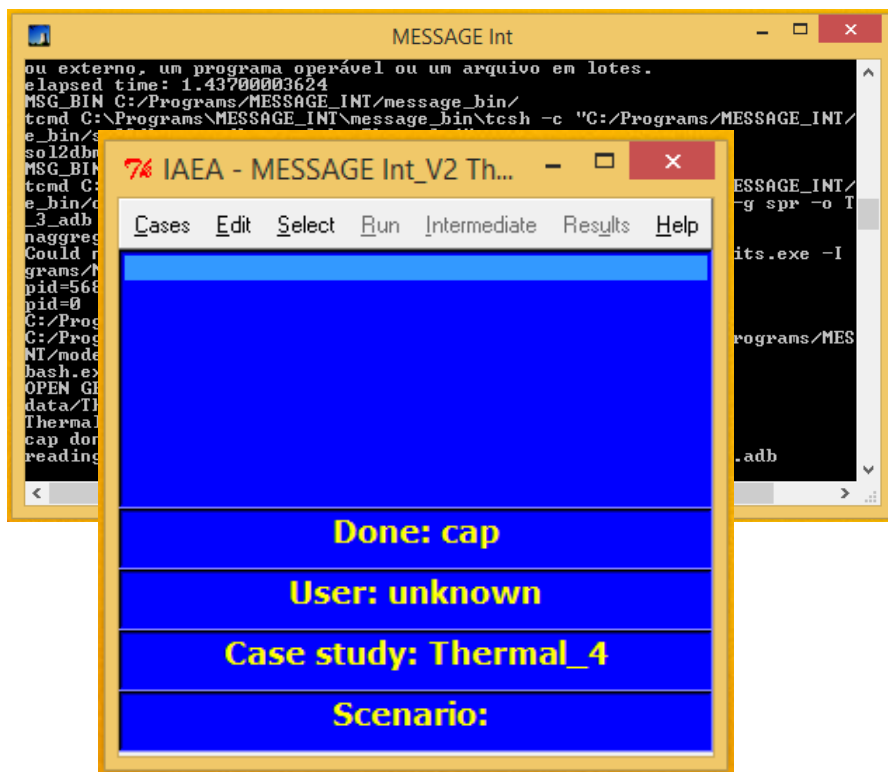


## Otimização: Restrições

- /// 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>



## Otimização: Restrições







# Otimização: Restrições

74 IAEA - MESSAGE Int\_V2 Thermal\_4 adb

Screen Help

General Technologies

Load regions input: all has inv:  all  yes  no Copy

Energyforms output: all operator:  and  or Cut

Demands relations: all technologies: Coal\_PP Chain Add from TDB New Del

Constraints name (re): Paste

Technologies Activity: Capacity

### Coal\_PP

single entries

name: Coal\_PP id: scae fixed:  yes  no altern. op.: 1

capacity unit: MW rehab for:

first year: last year:

	Unit	Switch	Time series	Unit	Switch	Time series
plant factor	share	c	.9	operation time		
minutil						
plant life	yr	c	40.0	unit size		
investment cost	US\$100/kW	c	2500.0	constr. time	yr	5.0
fixed costs	US\$100/kW/yr	c	18.0			
hist. cap.	MW	hc	2000 300.0			
min. power				max. power		

multiple entries

bdc	bdi	clags	con1c	con2c	concc	conpc
consc	corin	corout	gbda	mpc		

description

Chain



# *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*



## Integração de Modelos

- /// 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





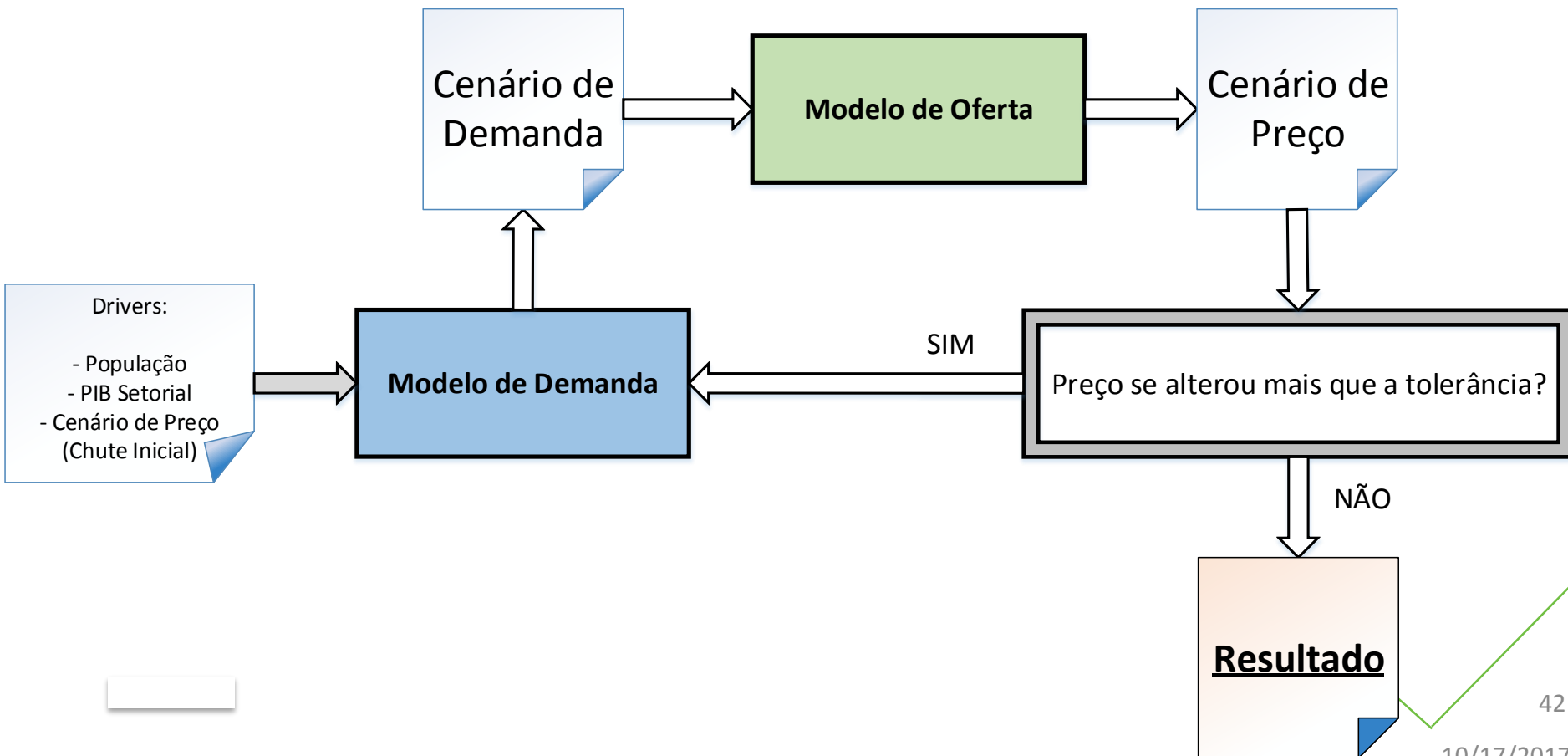
## Integração de Modelos

- /// 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



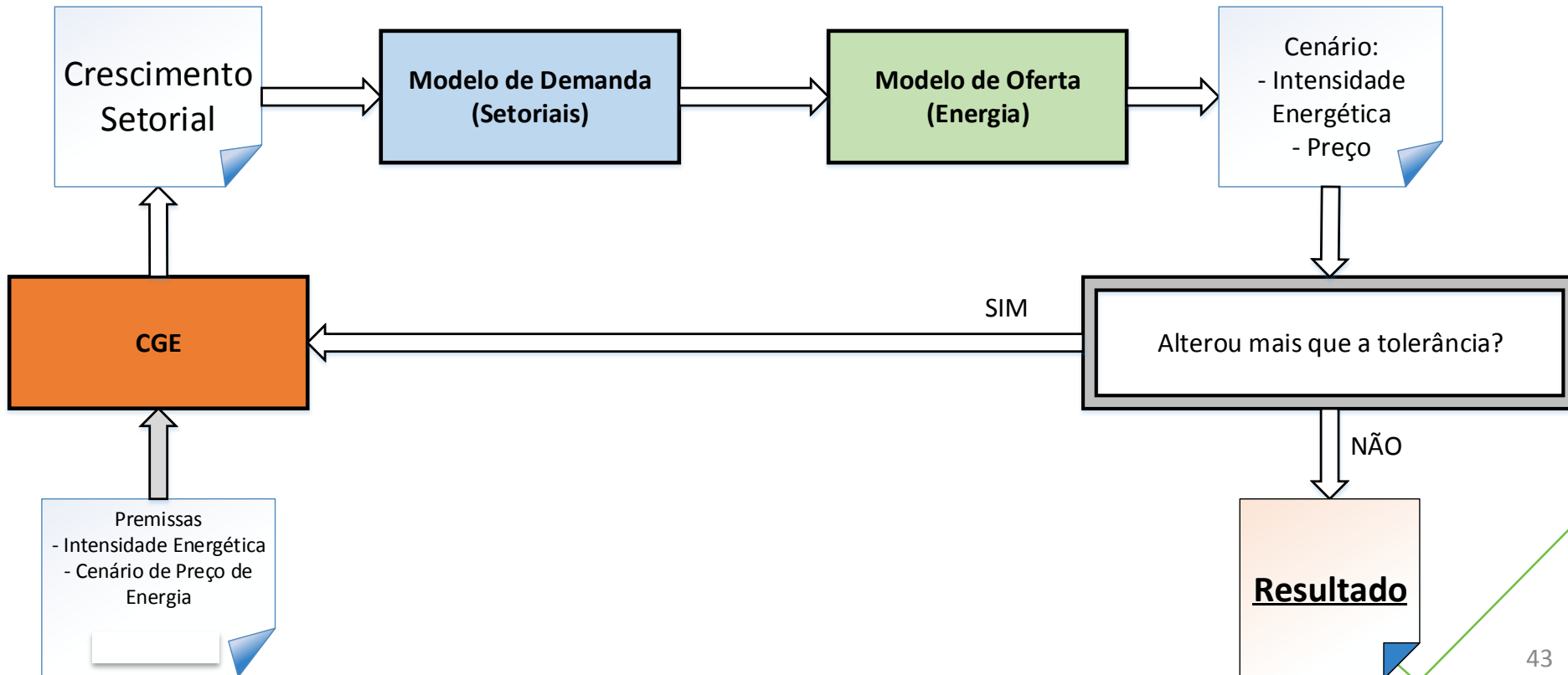
# Integração de Modelos

/// Exemplo: Integração Oferta e Demanda de energia



# Integração de Modelos

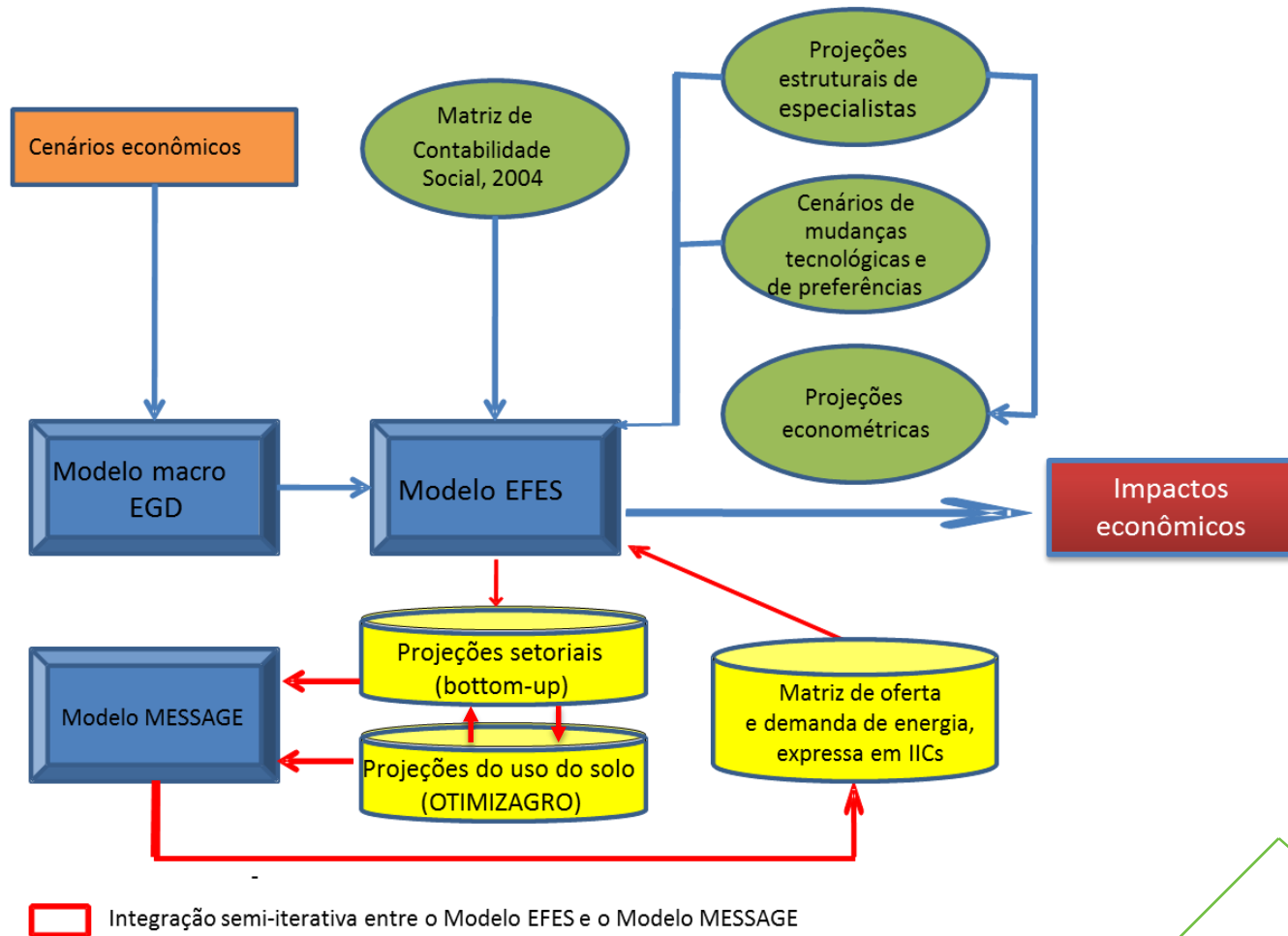
/// Exemplo: Procedimento iterativo modelo econômico e de oferta/demanda de energia





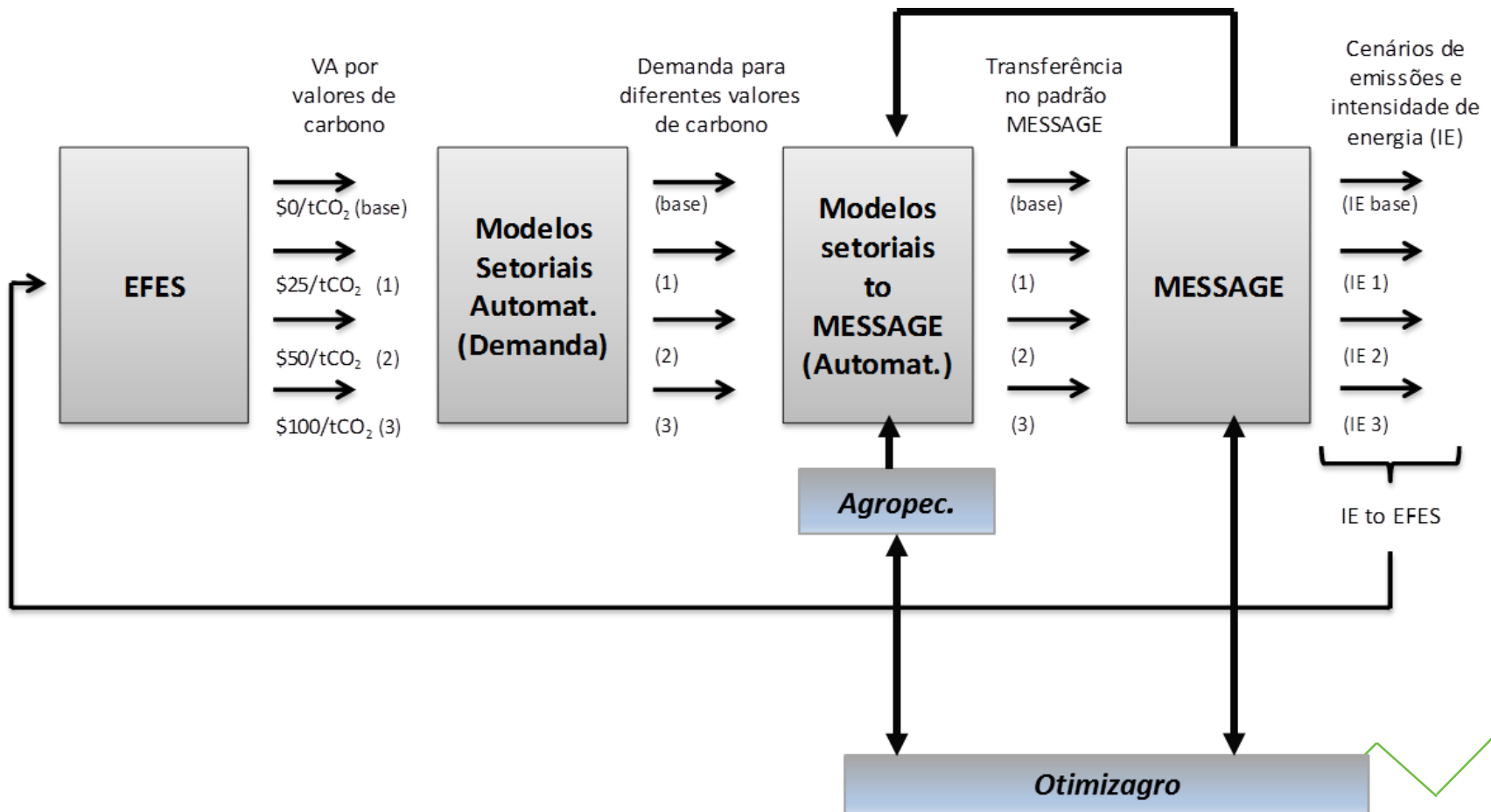
# Integração de Modelos

## /// Integração soft-link aplicada no projeto



# Integração de Modelos

/// Procedimento iterativo de modelagem considerado no projeto



# Integração de Modelos

Grande esforço de compatibilização e consolidação na modelagem integrada

Dados Básicos										
Informações Adicionais								Tempo de vida útil (ativo)	Comentários Adicionais	
Input (2o)		Input (1o)		CO2 (t/output)		Emissões (t/output)		Quant (ex:MW)	Descrição	Quant (ex:MJ)
Descrição	Quant (ex:MW)	Descrição	Quant (ex:MW)	Descrição	Quant (ex:MW)	Descrição	Quant (ex:MW)	Quant (ex:MJ)	Descrição	Quant (ex:MJ)
Dinâmica		Utilização		Capacidade		Mimima		1	Calor	0.8
Vida Útil (anos)				Máxima		Mimima		0.8		
				Mimima		Máxima		0.82		
				Mimima		Máxima		0.85		
				Mimima		Máxima		0.88		
Ano		Quant (ex:MW)		Ano		Quant (ex:MJ)		da Tecn.		0.9
								da Tecn.		
								Gás Natural		



## Integração de Modelos

- /// 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



## Integração de Modelos

- /// 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





# Integração de Modelos

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

A4		0101										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	<b>Valor adicionado</b>											
2	R\$ milhões 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	S54	185,889	187,601	209,729	243,046	279,575	319,567	362,598	408,072	455,319
58	1202	Saúde pública	S55	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												







# *Cenários integrados do sistema energético*

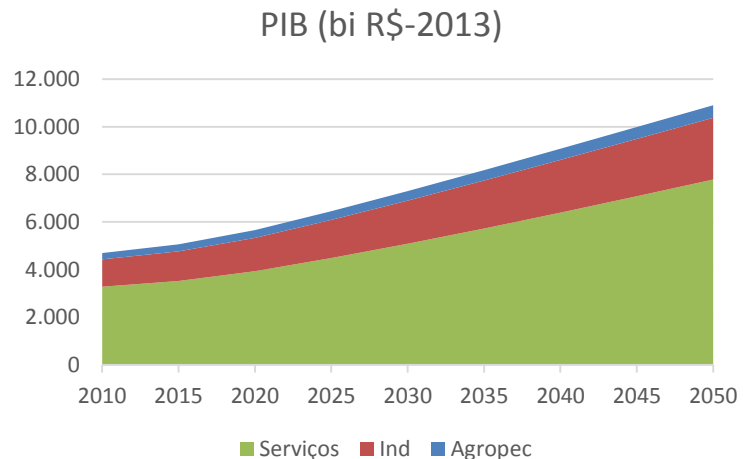
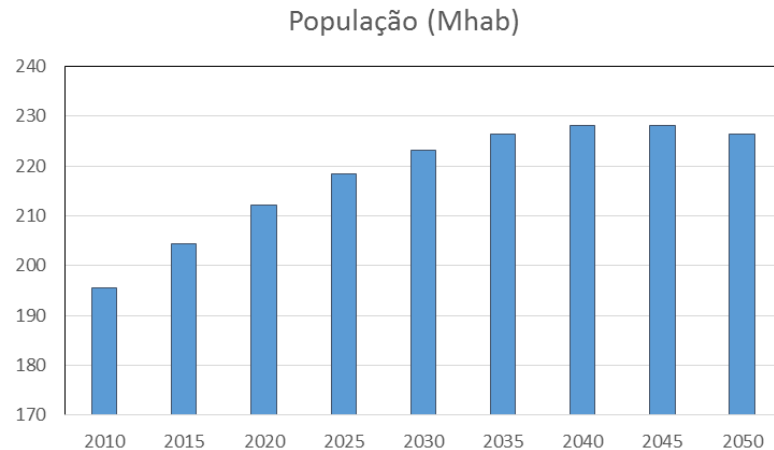
## Algumas ressalvas

- Análise de equilíbrio parcial do sistema energético – i.e., otimização de todas as cadeias energéticas, simultaneamente
- Dados de custos (I, FOM, VOM,  $t_{const}$ ) e desempenho de instalações energéticas (destilarias, FPSOs, refinarias, centrais de geração elétrica,...)  
=> análise setoriais
- Resultado é função de população, PIB, VA setorial e  $\pi_L$ , fornecidas pela FIPE/USP
  - Cenário econômico de maio/2015.
- Passos iterativos (uso do solo  $\leftrightarrow$  energia  $\leftrightarrow$  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”
  - ✓ 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  $\Delta_{\text{Brent}}$  (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

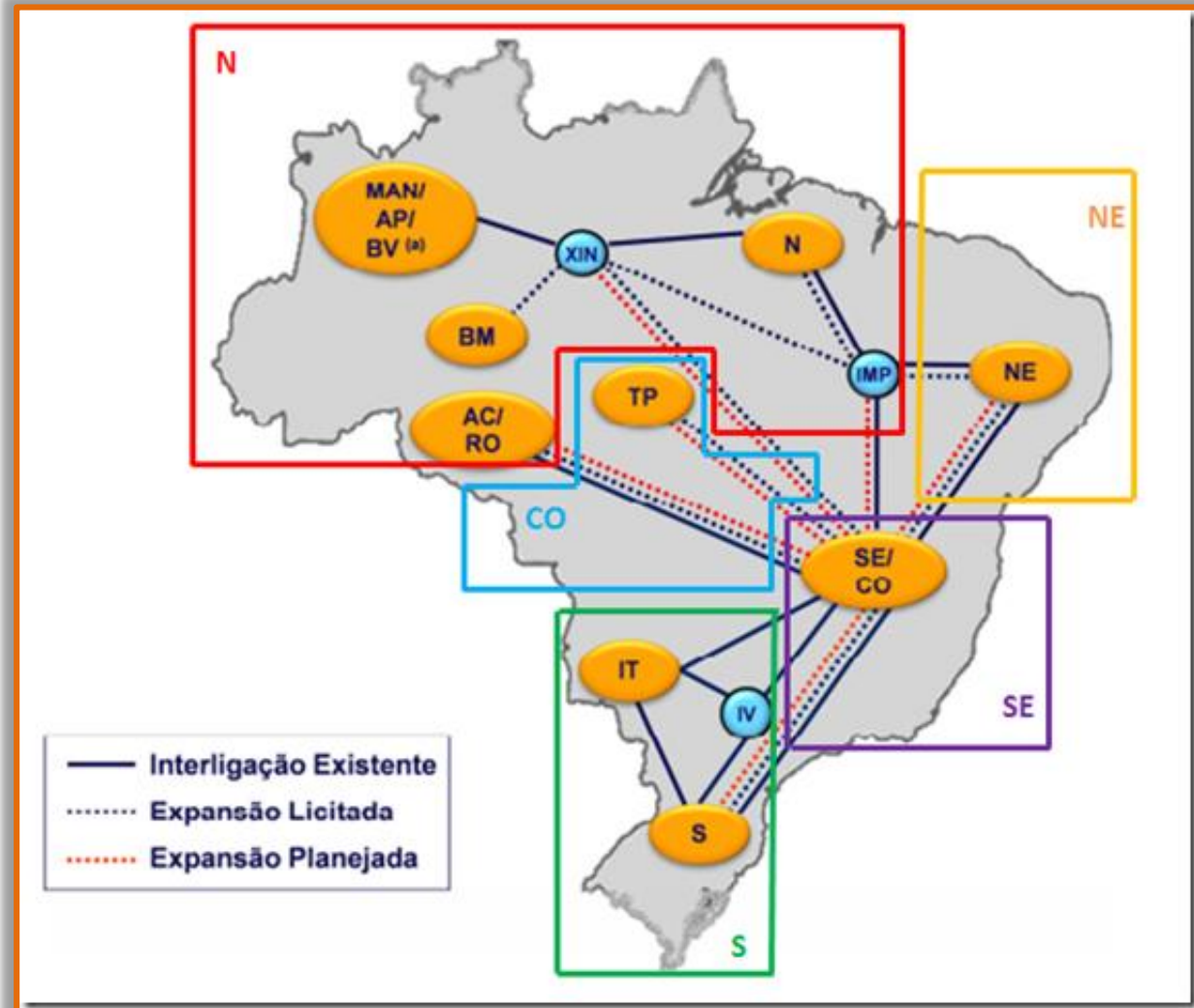
Horizonte de análise:  
2010 – 2050  
Intervalos de 5 anos

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

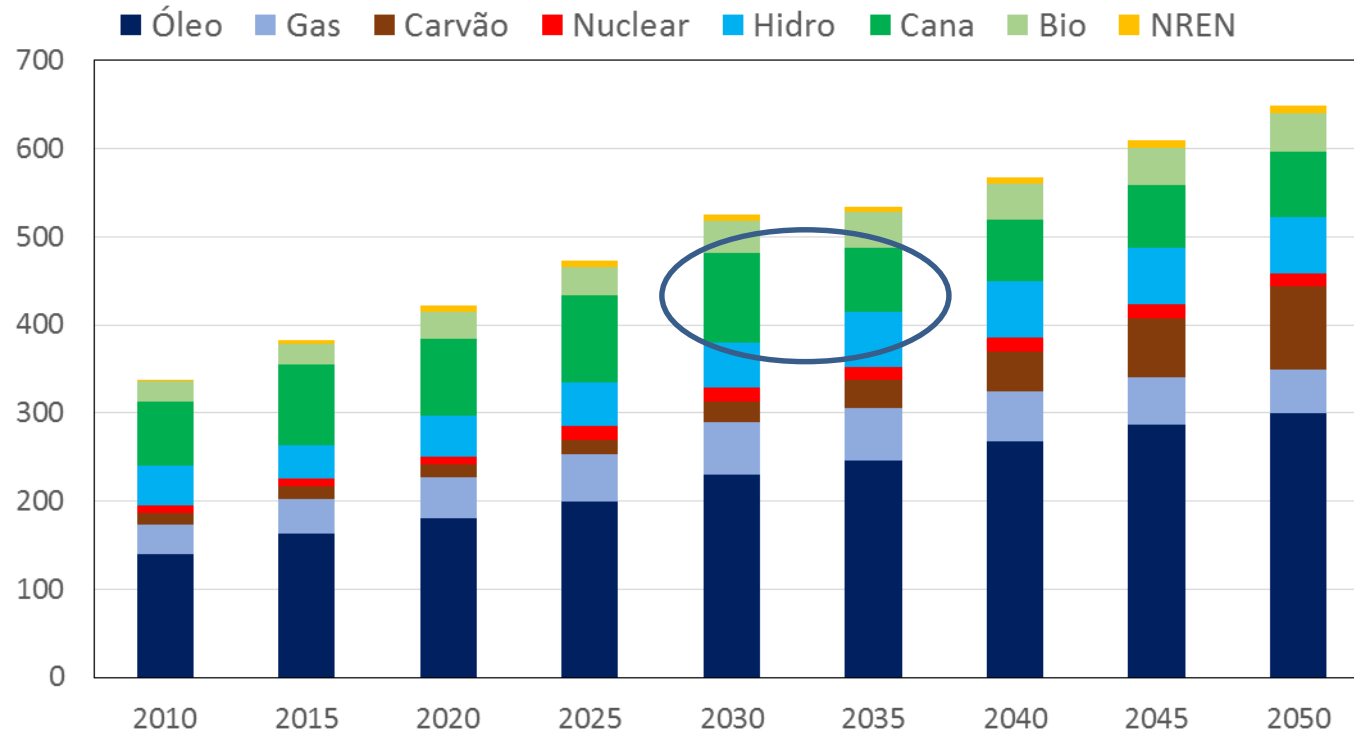
### /// Premissas:

- /// 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

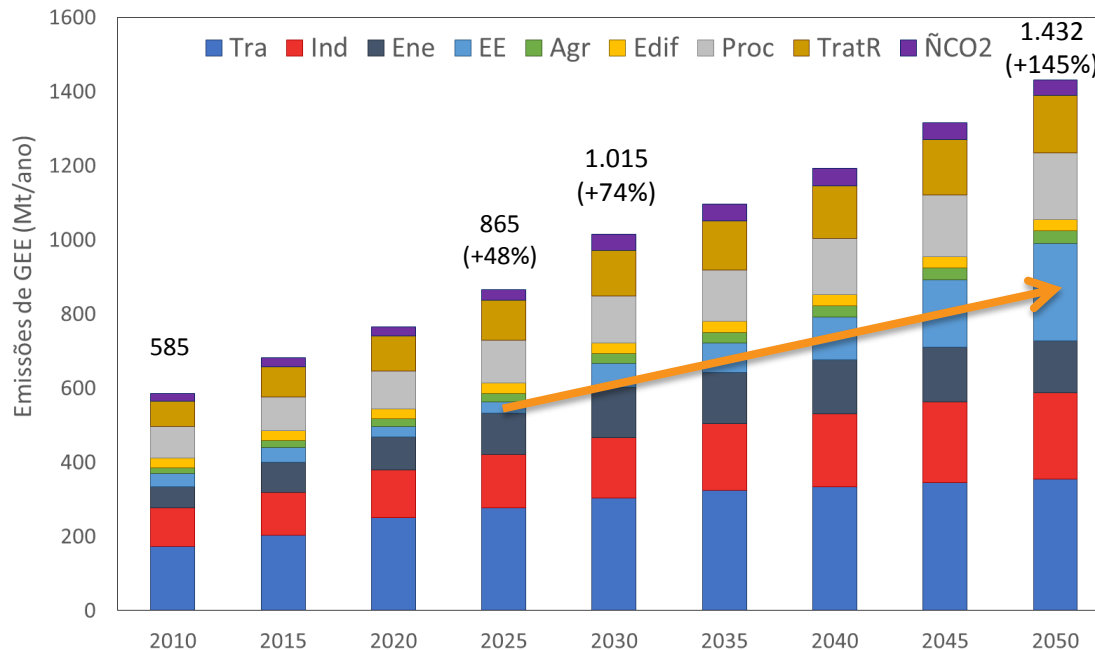
### /// Consumo de Energia Primária (GWa)





## Resultados – Linha de base

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



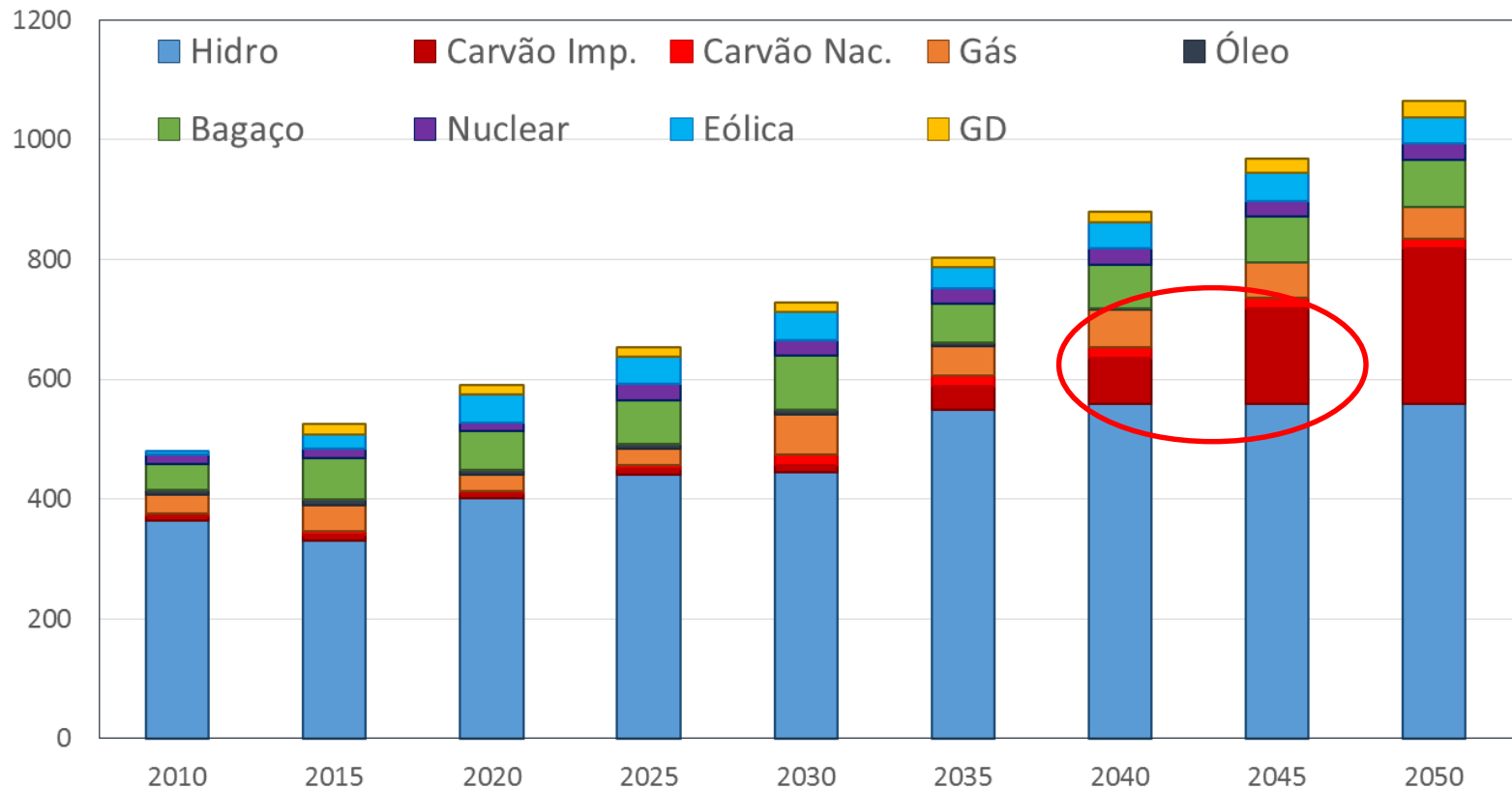
Emissões de combustão, tratamento de resíduos, processo (instalações energéticas e industriais) e emissões fugitivas de CH<sub>4</sub>. Não inclui emissões associadas ao uso do solo.

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)





# *Cenários de baixo carbono do sistema energético*



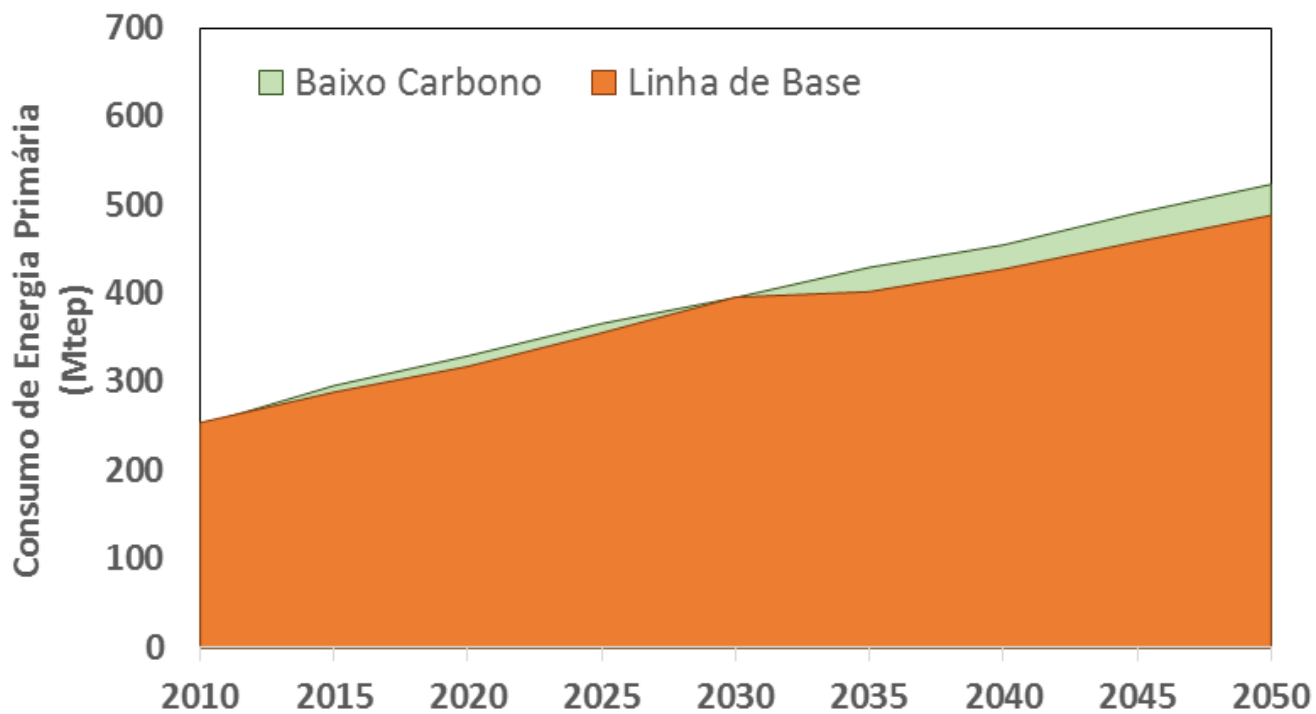
## Cenários de Baixo Carbono

- /// Premissas para Baixo Carbono ( $BC_x$ ):
  - /// Melhores tecnologias disponíveis
  - /// Diversas medidas de eficiência energética e processos produtivos de baixo carbono ( $\cong$  300 tecnologias de baixo carbono)
  - /// Menos restrições em relação perfil tecnológico
  - /// Modelo possui maior liberdade de otimização
  - ///  $BC_0$  = 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)

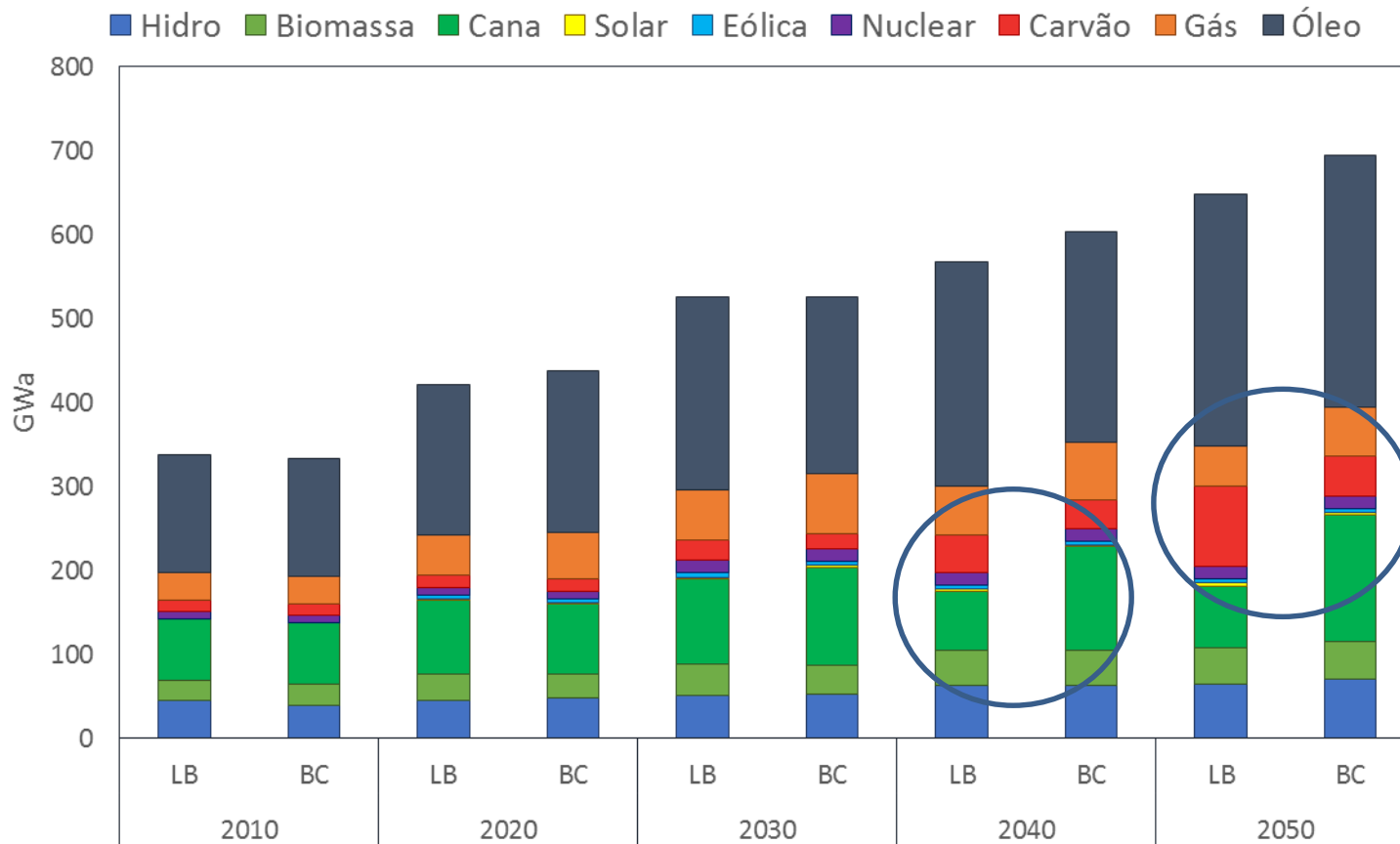






# Resultados – BC<sub>0</sub>

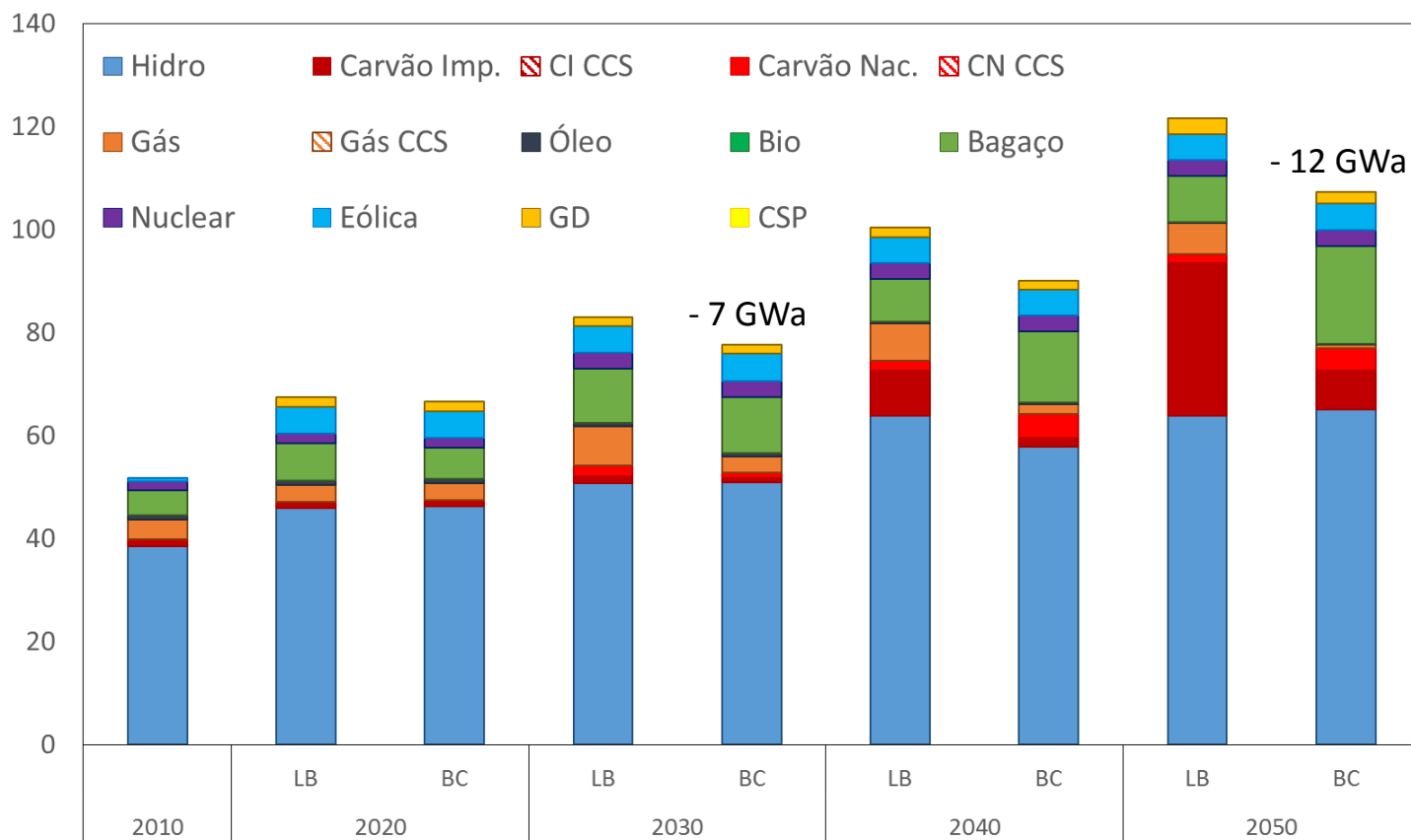
/// Energia Primária (GWa)



- Aumento da cana de açúcar
- Diminuição do carvão

## Resultados – $BC_0$

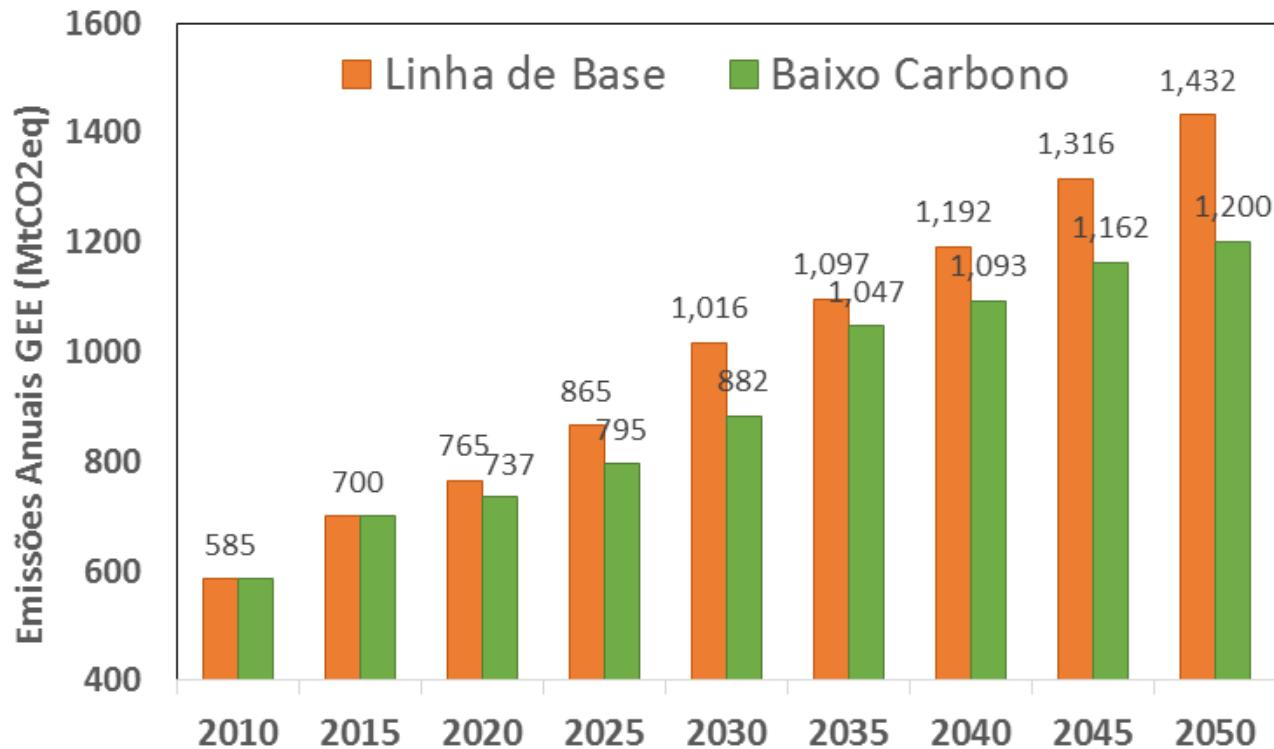
/// Geração Elétrica: redução de 7 GWa em 2030, e 12 GWa em 2050 (relativa ao cenário de linha de base)





## Resultados – BC<sub>0</sub>

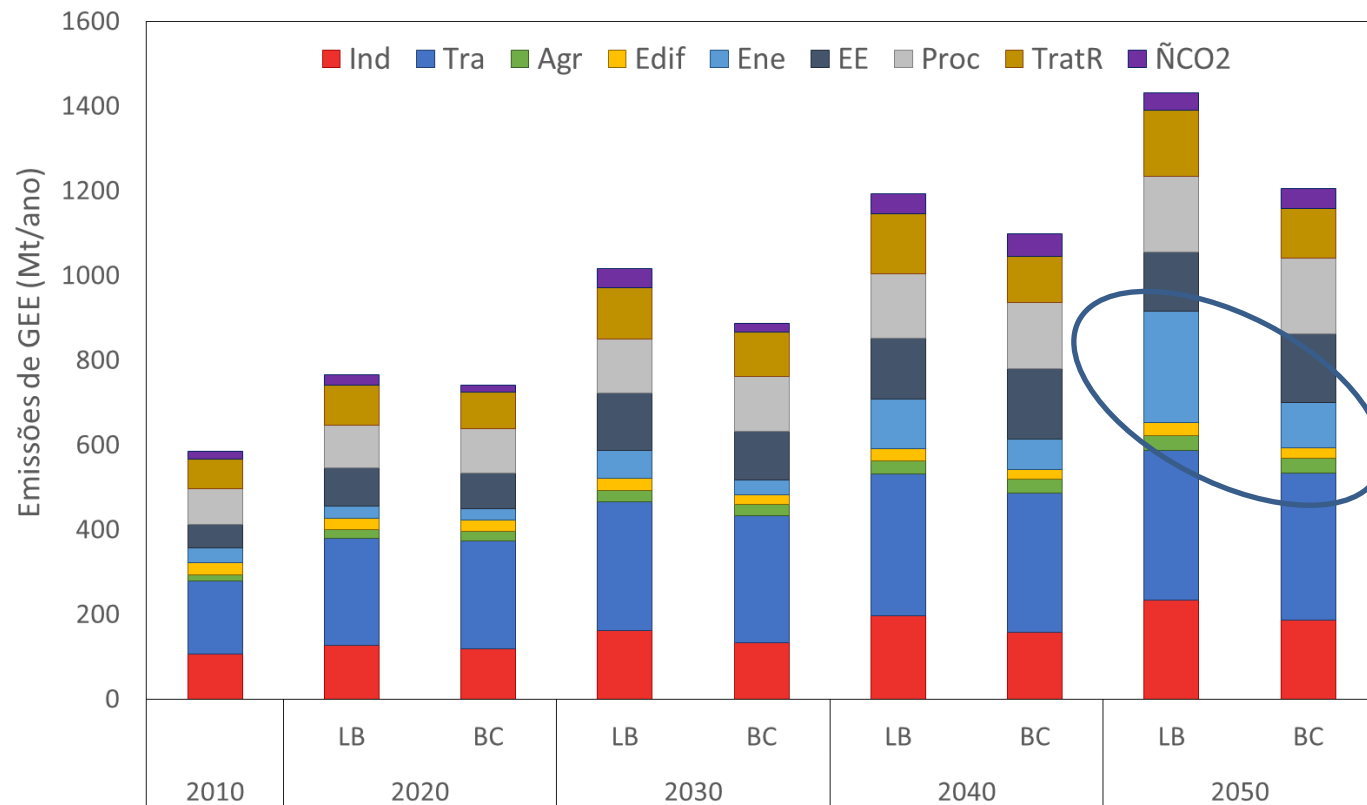
/// Redução das emissões: 16% em 2050





# Resultados – BC<sub>0</sub>

## /// 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<sub>0</sub> – Síntese*

- /// Ganhos de eficiência elétrica em edificações e indústria → menor necessidade de expansão de plantas termelétricas a carvão e gás natural.
- /// 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

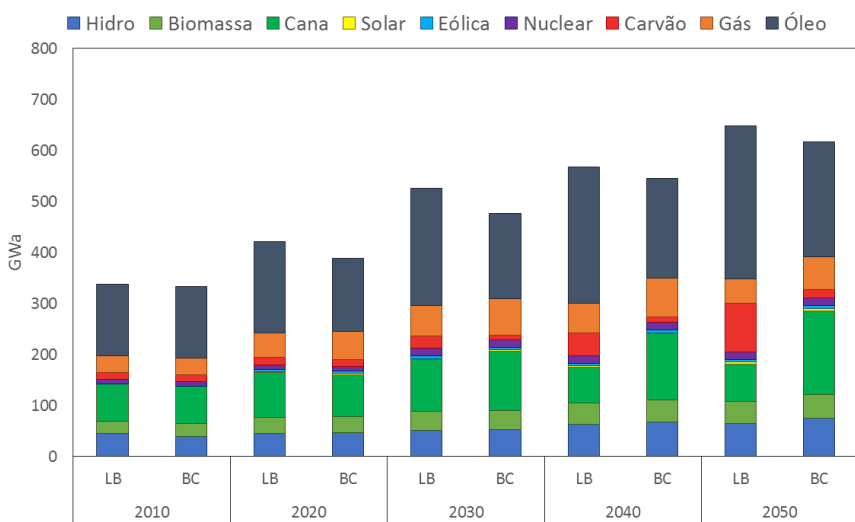
/// Ou seja, BC25 (representa o conjunto de medidas com custo de abatimento negativos, nulos e até US\$ 25/tCO<sub>2</sub>).

/// Foram elaborados cenários com custos de redução de emissões até US\$ 200/tCO<sub>2</sub>.

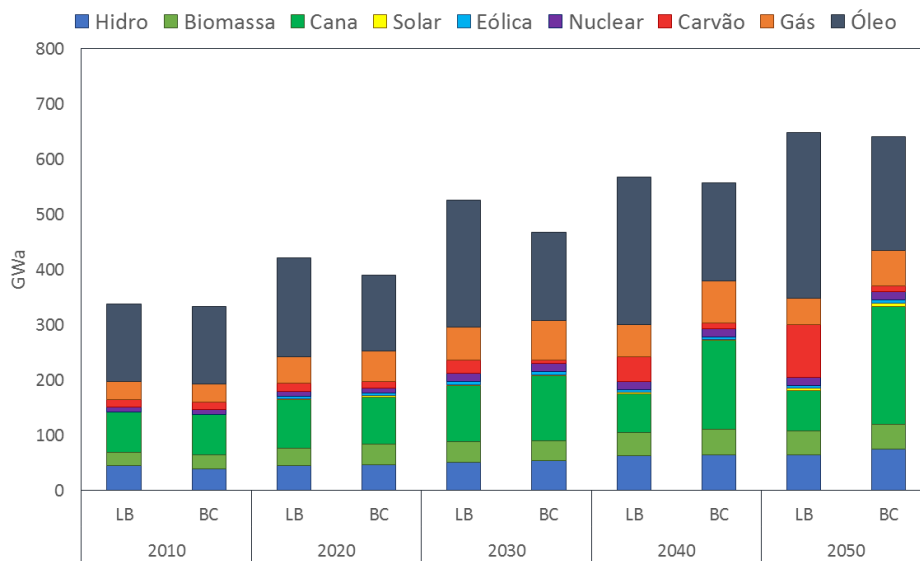


# Resultados BC<sub>x</sub>

## /// Energia Primária (GWa)



BC<sub>50</sub>



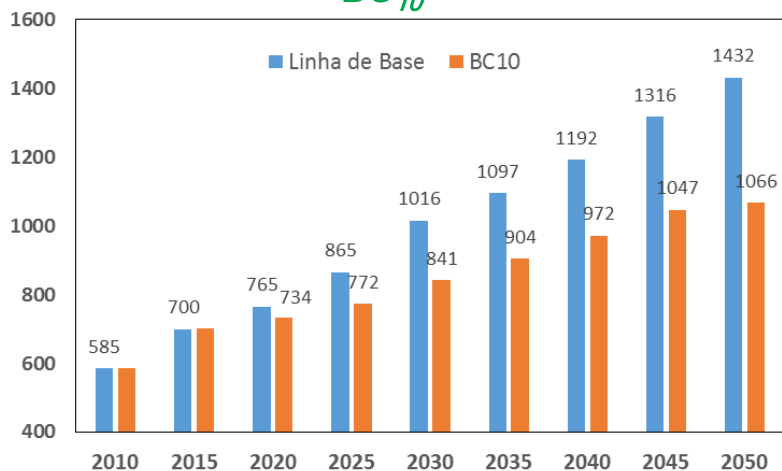
BC<sub>100</sub>

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

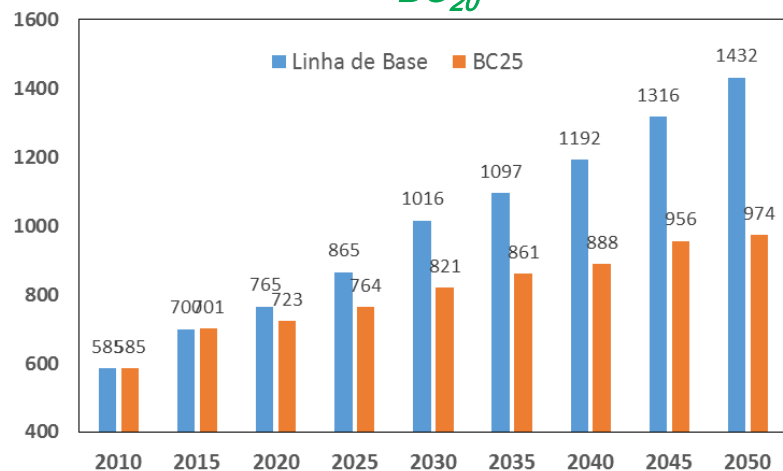


# Resultados $BC_x$ – Emissões de GEE

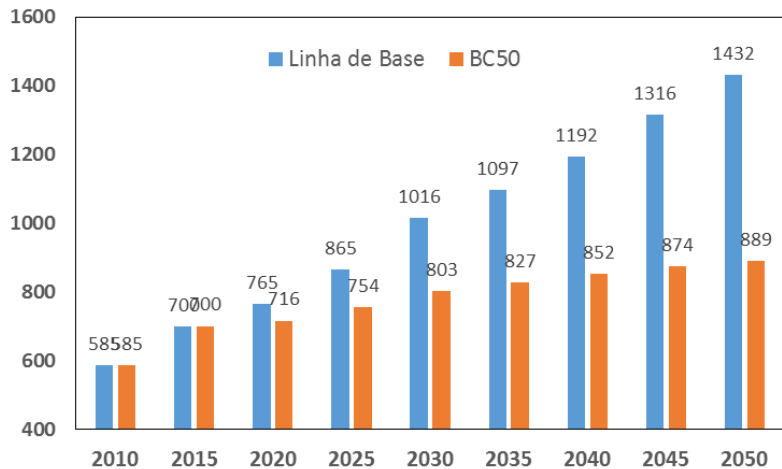
### $BC_{10}$



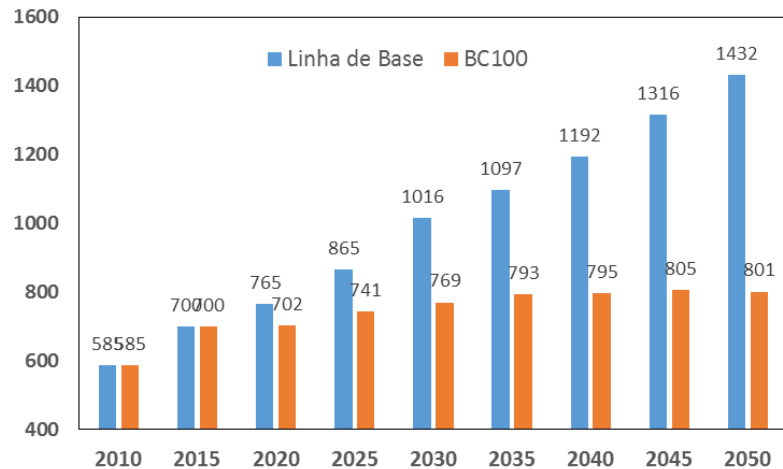
### $BC_{20}$



### $BC_{50}$



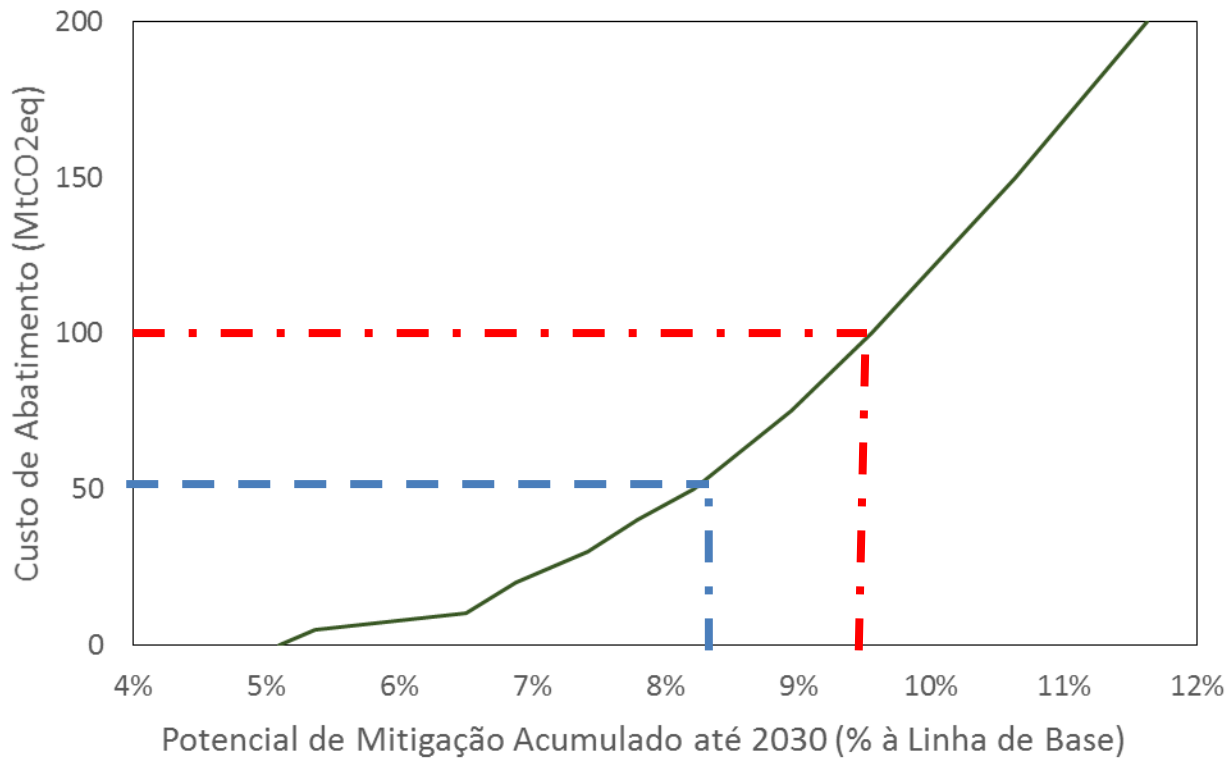
### $BC_{100}$





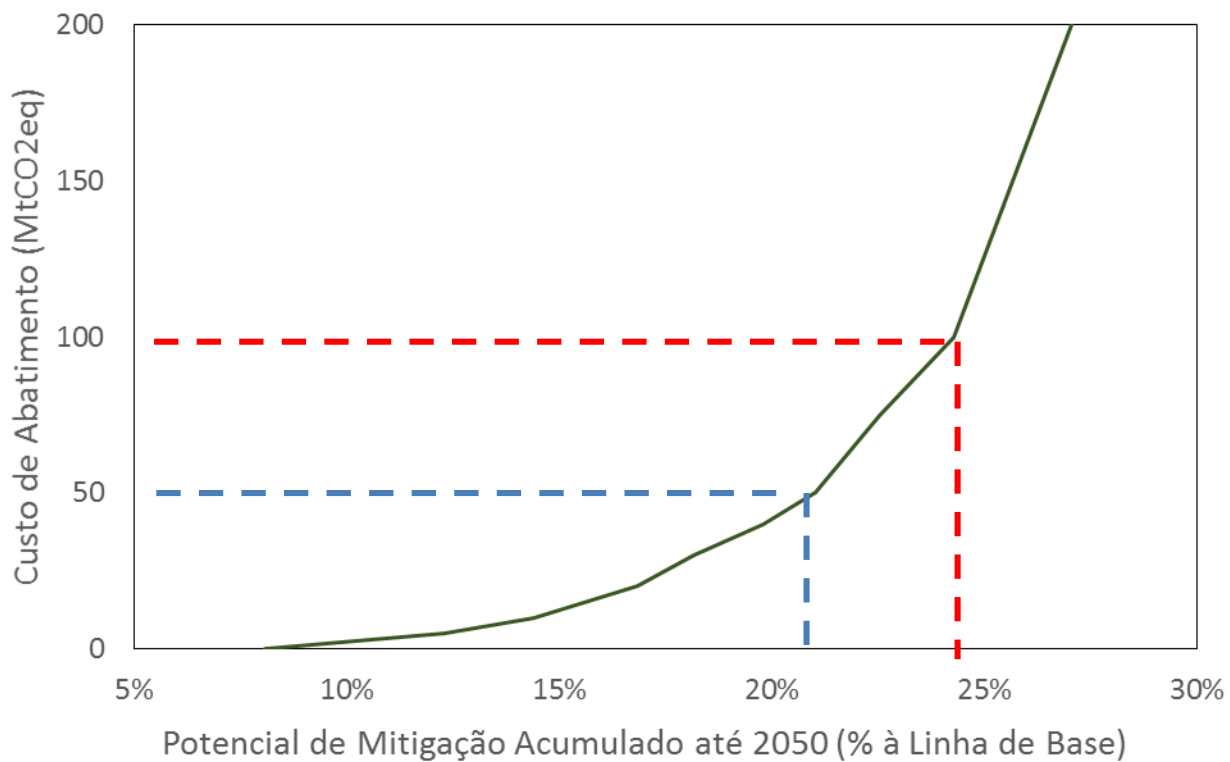


## Resultados $BC_x$ até 2030



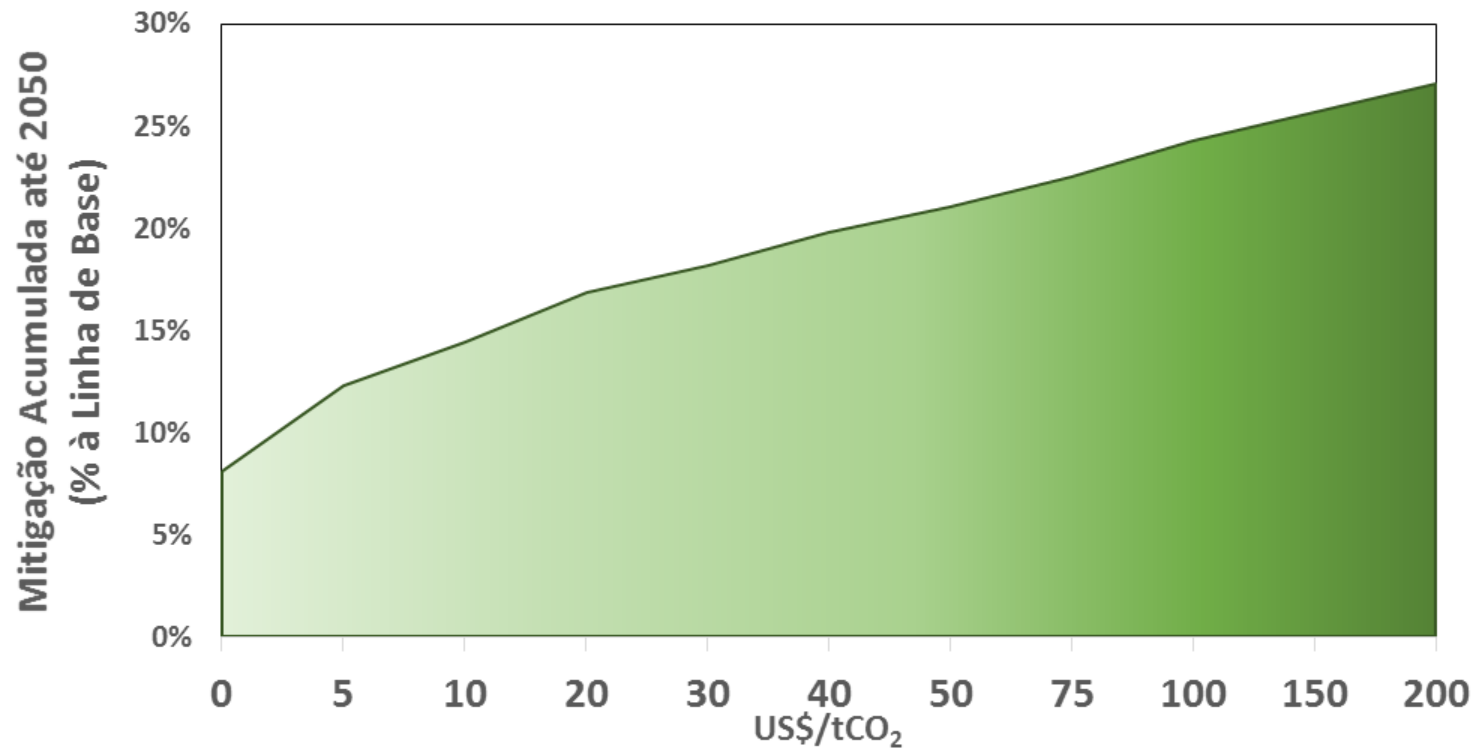


## Resultados $BC_x$ até 2050





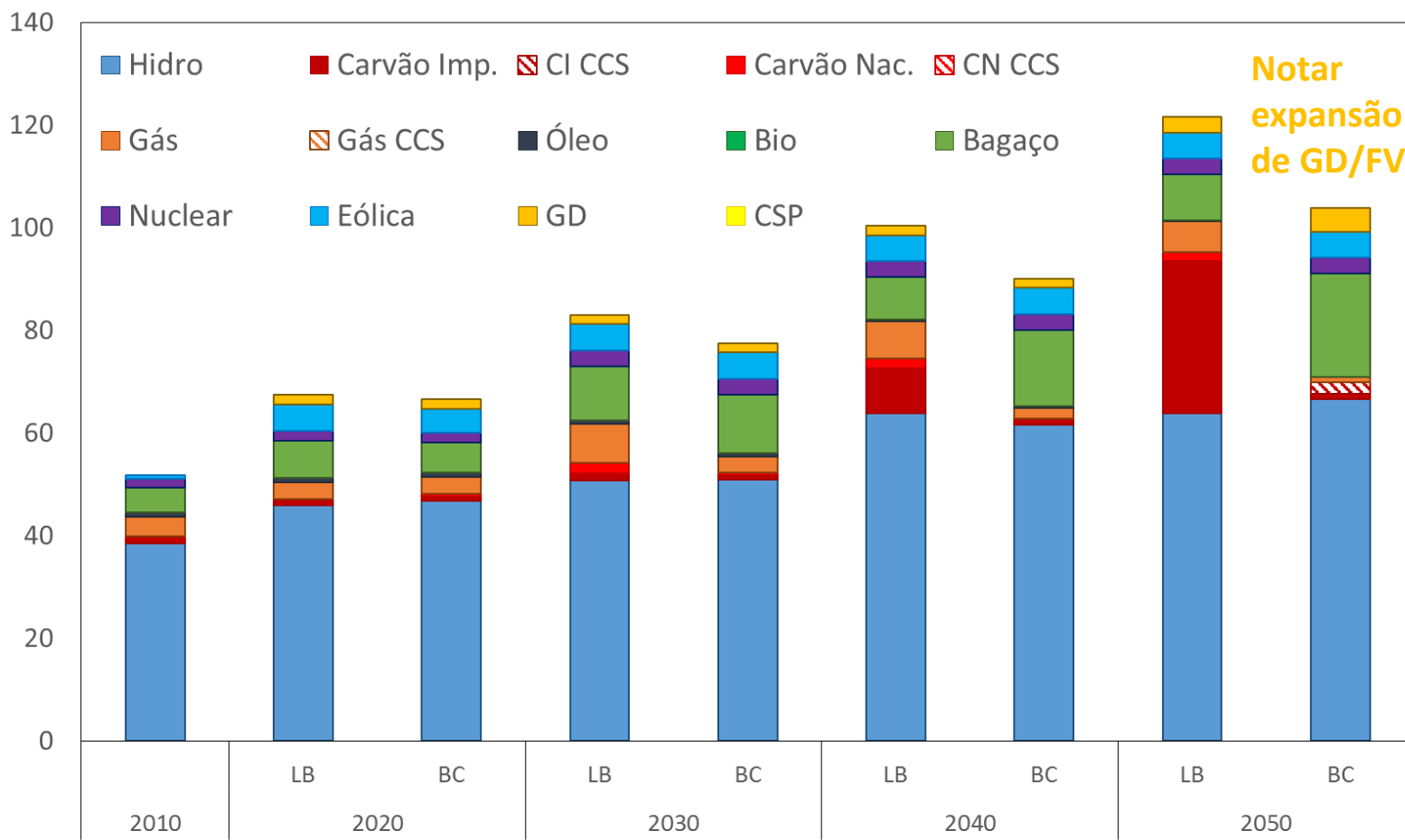
## Resultados $BC_x$ até 2050





# Resultados BC<sub>50</sub>

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

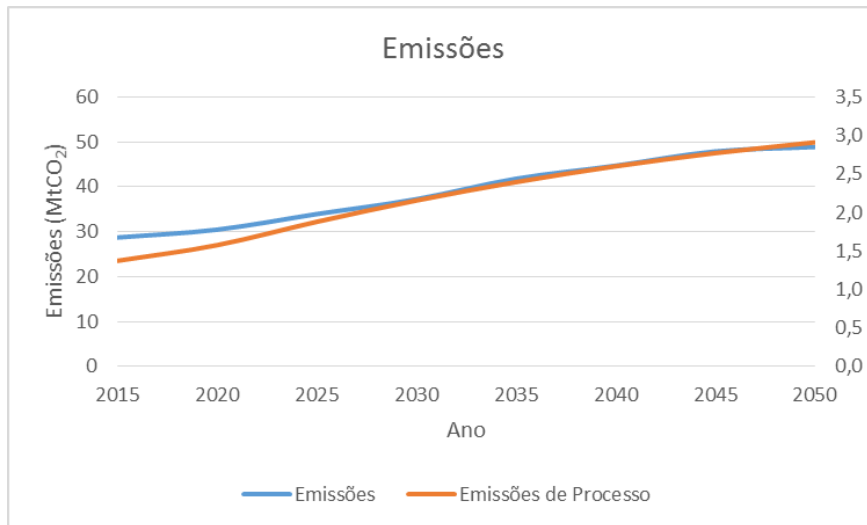




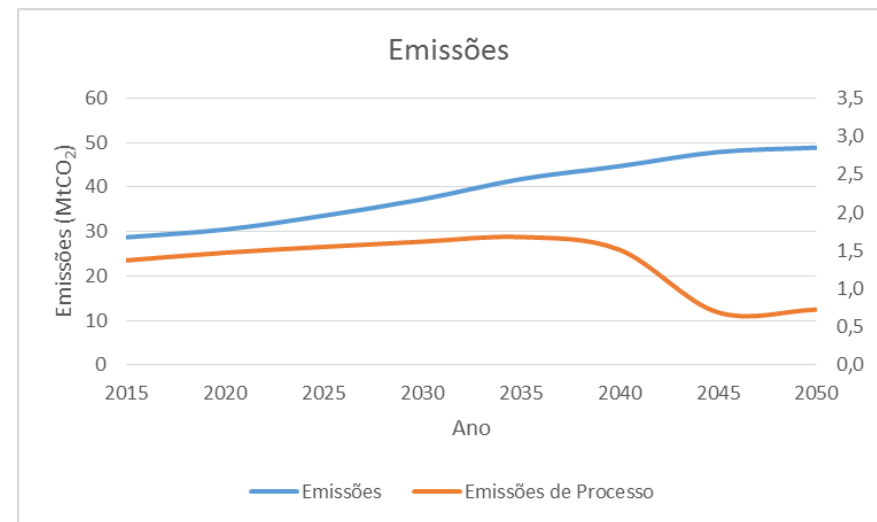
## Resultados BC<sub>50</sub> – CCS na Indústria

/// 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<sub>0</sub>

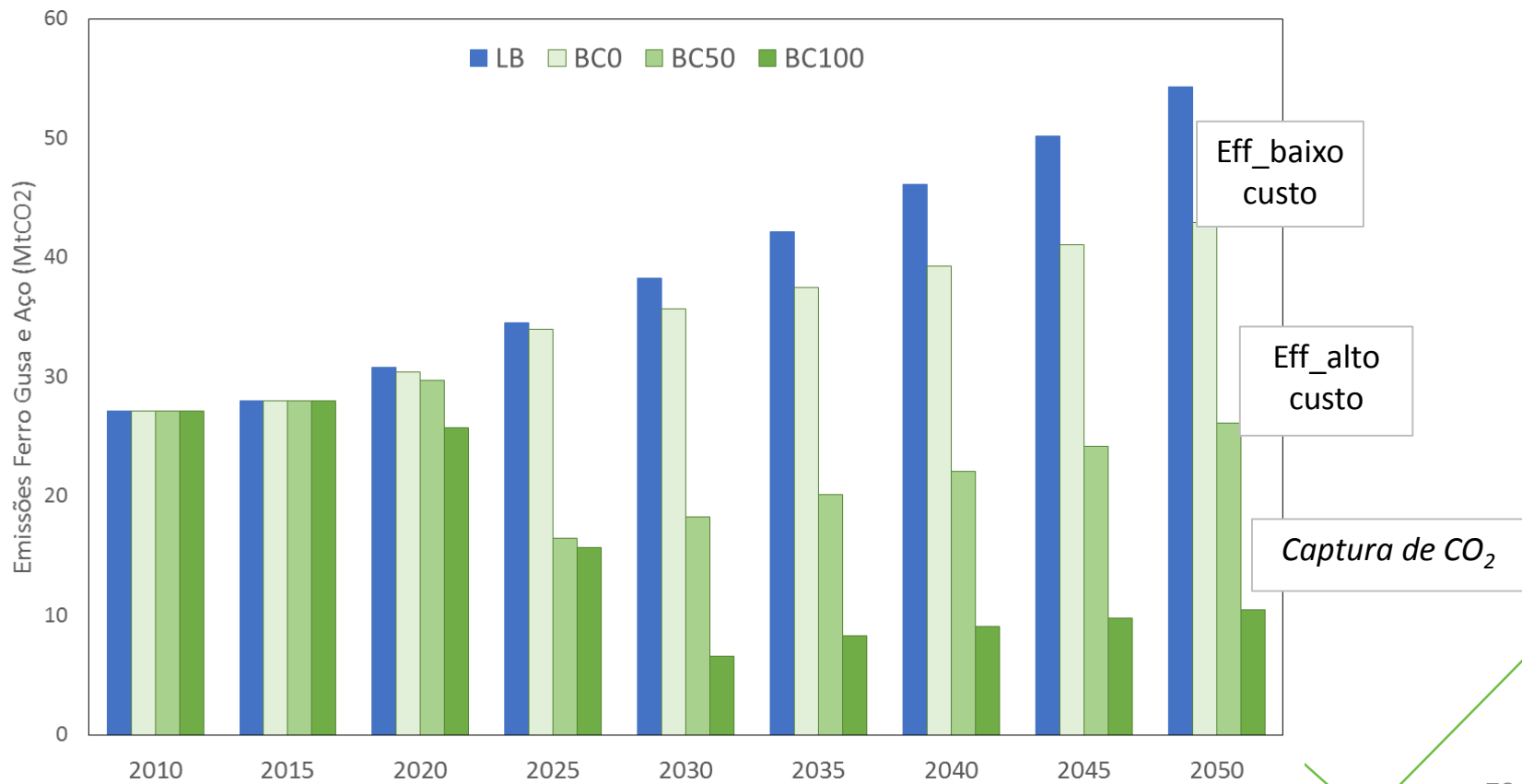


BC<sub>50</sub>



# Resultados $BC_{100}$ – CCS na Indústria

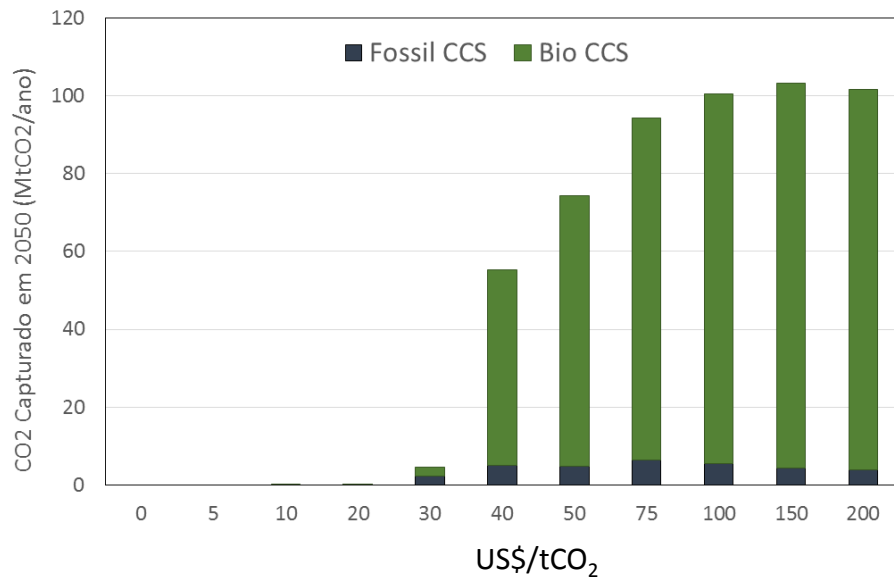
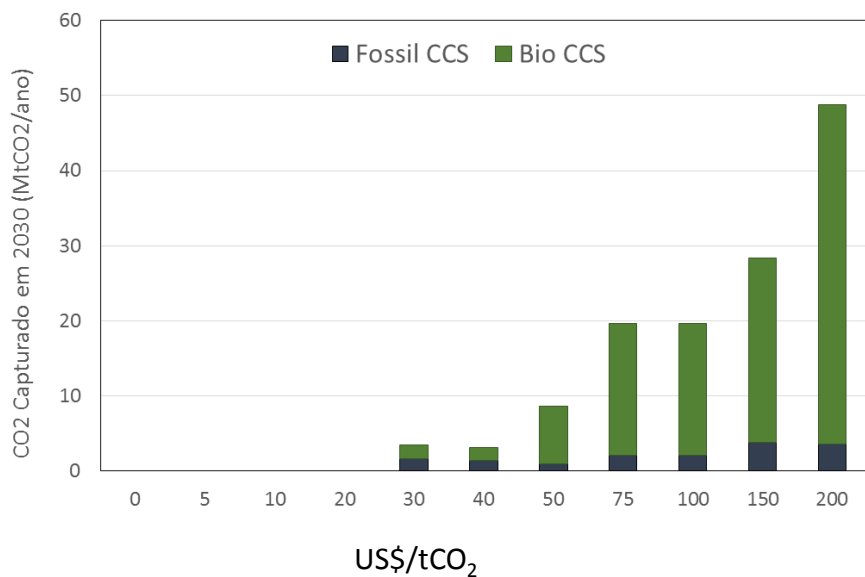
## Resultados Setor Siderúrgico





## Resultados $BC_x$ – BioCCS

/// Grande destaque para o BioCCS



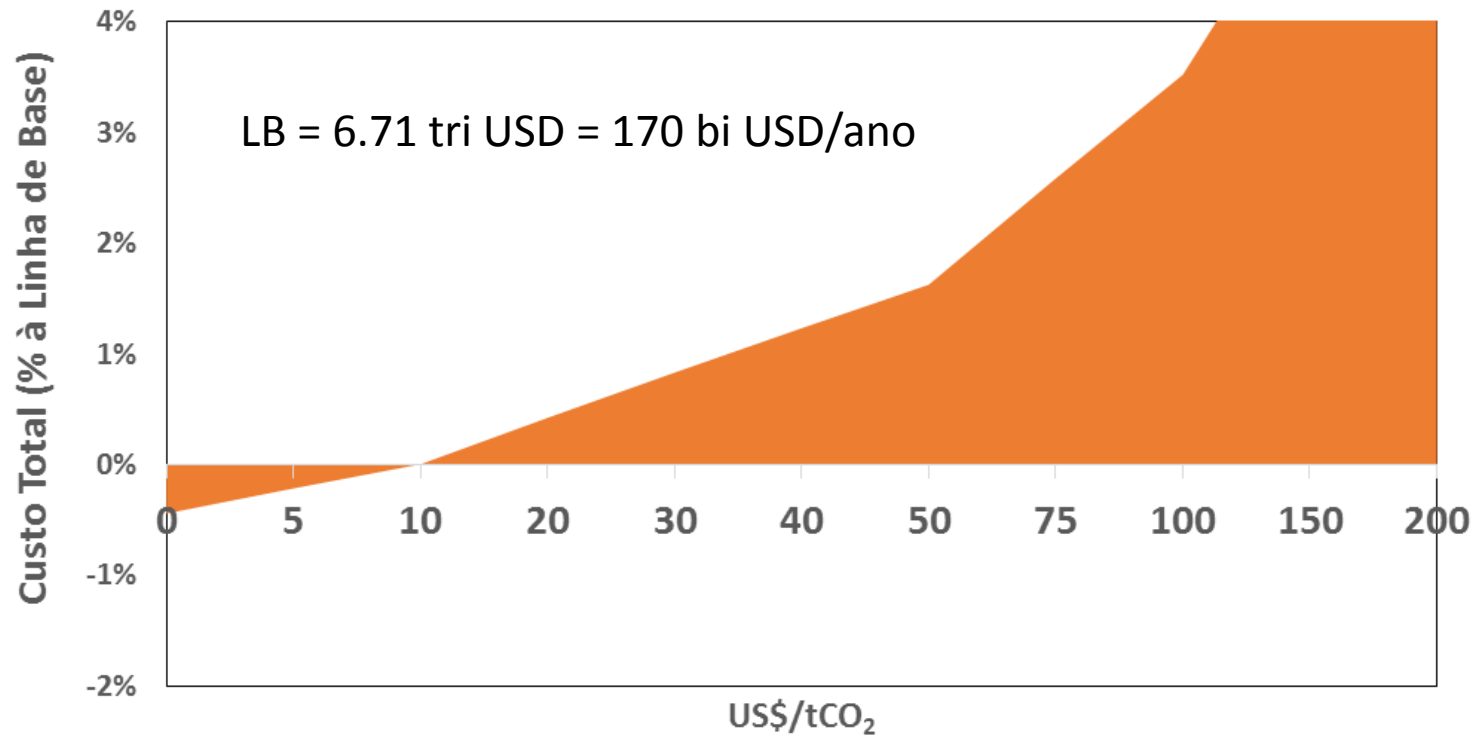
**É possível, em 2030, haver uma capacidade de transporte de CO<sub>2</sub>?**

**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 MtCO<sub>2</sub>e. E, no cenário BC0, as emissões seriam de 887 MtCO<sub>2</sub>e (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.
- /// Disponibilidade tecnológica, ou não, de CCS bastante relevante para cenários de alto valor de CO<sub>2</sub>.



***OBRIGADA***

*Mariana Império*

*marianaimperio@ppe.ufrj.br*