

Integração entre o setor elétrico e o setor de gás natural

Visão geral



Gabriel Araujo do Nascimento

Roteiro

	Seção
Apresentação Pessoal	I
Objetivo	II
Cenário	III
Interface entre os setores	IV
Discussão	V
Considerações Finais	VI

Gabriel Nascimento

Gerente



Experiência

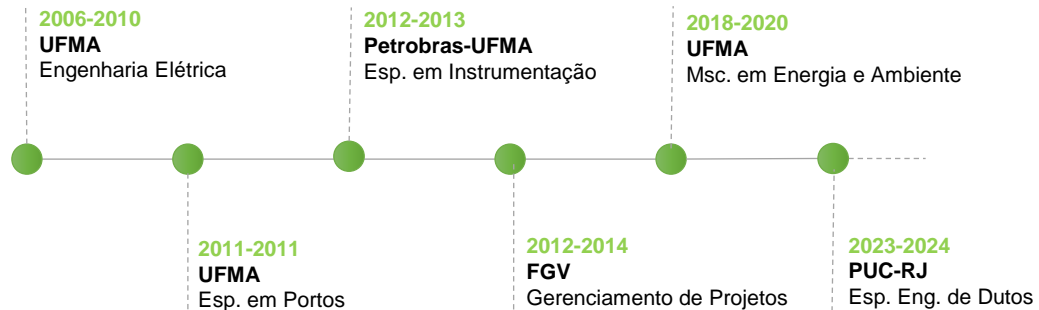
- Grupo de Sistemas de Potência (GSP) - UFMA**
Bolsista de Iniciação Científica
Alocação de Custos e Perdas no Sistema de Transmissão de E.E.
- 2010** **Vale S.A**
Estagiário de Engenharia de Automação
Desenvolvimento de Projetos de Automação Industrial
- 2011** **Vale S.A**
Engenheiro Eletricista
Implantação de Projetos de Automação e Elétrica
- 2012** **Vale S.A**
Engenheiro Eletricista
Medição de Energia Elétrica e Proteção de Sistemas Elétricos
- 2013** **Autônomo**
Engenheiro de Projetos
Desenvolvimento de estudos e projetos na área de eletricidade
- 2014** **Companhia Maranhense de Gás – GASMAR**
Coordenador Técnico
Medição de Gás Natural e Automação
- 2016** **Companhia Maranhense de Gás – GASMAR**
Gerente de Operação e Manutenção
Operação, Manutenção e Medição de Gás Natural

Gabriel Nascimento

Gerente



Formação Acadêmica



Objetivos

Objetivo Geral

Apresentar o cenário macro da integração entre o setor elétrico e o setor de gás natural no Brasil

Objetivos Específicos

Apresentar o setor de gás natural

Apresentar semelhanças e diferenças entre os setores

Apresentar integrações existentes

Apresentar possíveis novas integrações

Cenário

Gás Natural - Introdução

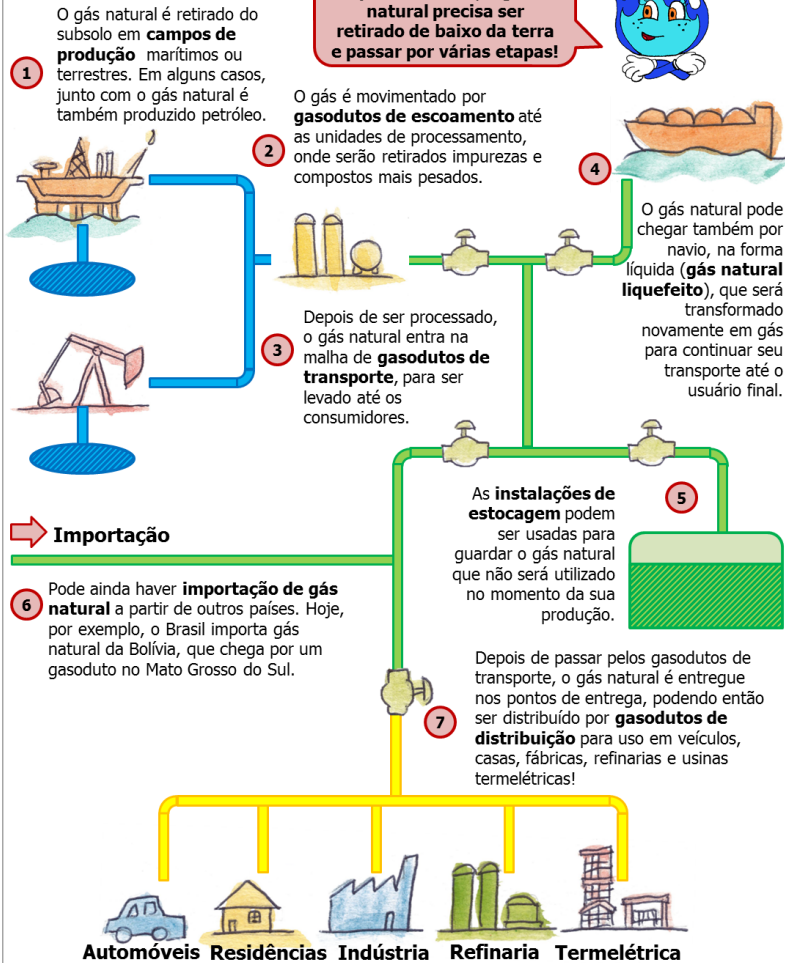
- Gás Natural Veicular (GNV)
- Gás Natural Comprimido (GNC)
- Gás Natural Liquefeito (GNL)
- Biometano: produzido a partir do Biogás



GÁS NATURAL

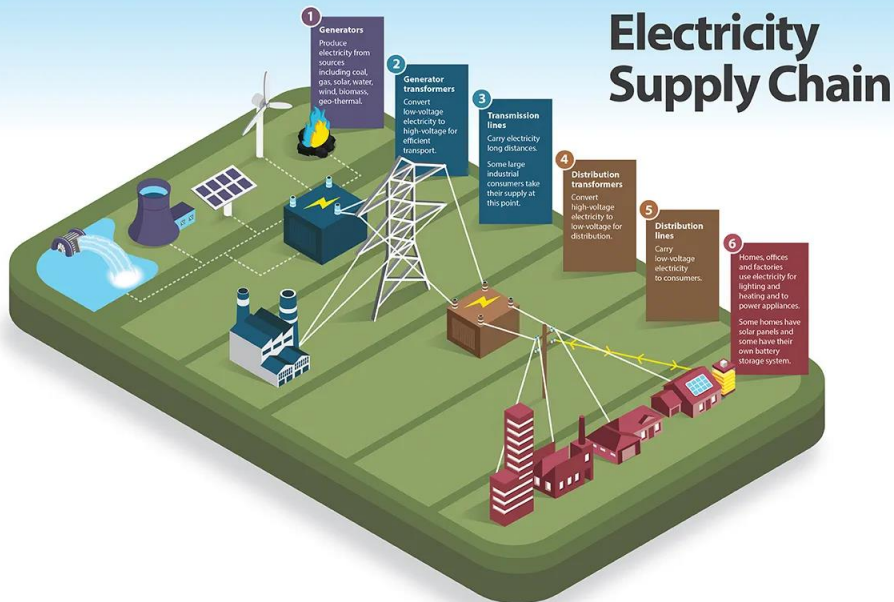


Antes de ser usado para produzir calor, o gás natural precisa ser retirado de baixo da terra e passar por várias etapas!



Cenário

Eletricidade versus Gás Natural

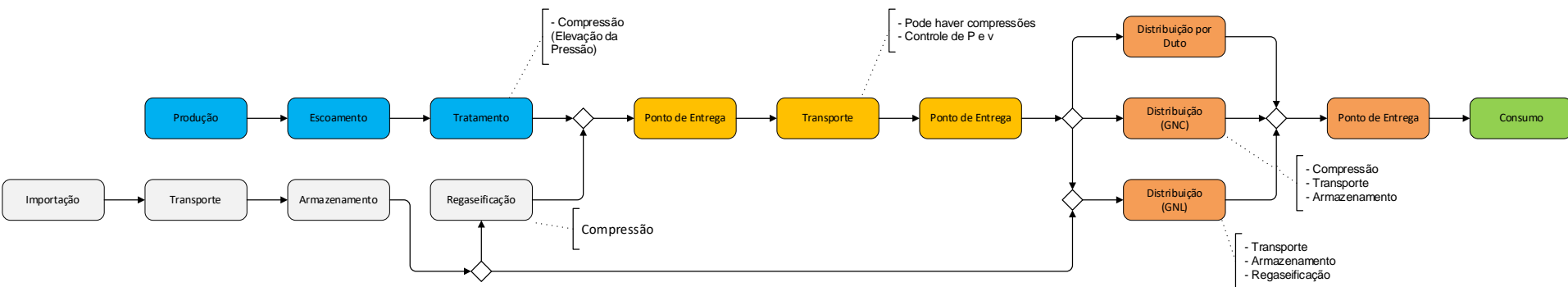
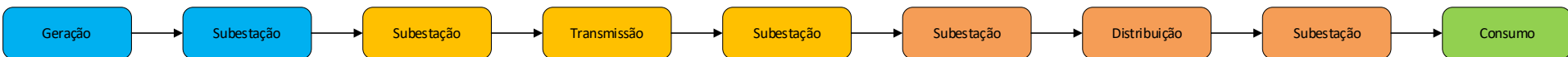


Gas Supply Chain

Cenário

Eletricidade versus Gás Natural

Atributo	GN	EE
Armazenamento	▲▲	▼▼
Perdas	▲	▼
Complexidade	▲	▼
CAPEX	?	?



Cenário

Por que integrar?

Por que integrar setores que teoricamente são concorrentes?



Cenário

Por que integrar?

Concorrentes?



Aquecimento Elétrico



Aquecimento a Gás

Refrigeração Elétrica



Refrigeração a Gás

Cocção Elétrica



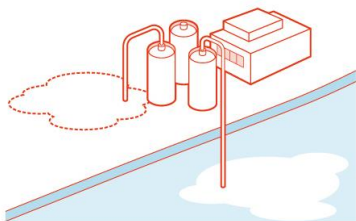
Cocção a Gás

Volume relativamente
baixo!

Cenário

Por que integrar?

Produção de GN



Volume representativo!

Geração de E.E.



Cooperação

Cenário

Concorrência entre ELET e GN

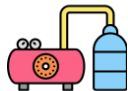
Concorrência

Elétrica

Gás Natural

Aquecimento

- Chuveiro
- Fogão
- Aquecedor



- Chuveiro
- Fogão
- Aquecedor
- Caldeiras

Refrigeração

- Cond. de Ar
- Refrigeradores



- Cond. de Ar

Propulsão

- Patinetes
- Motos
- Carros
- Ônibus
- Caminhões



- Carros
- Ônibus
- Caminhões
- Grandes Máq.

Cooperação

Gás Natural

Geração de EE



- Garantia Física
- Flexibilidade Operativa
- Compartilhamento de Infra.

Armazenamento



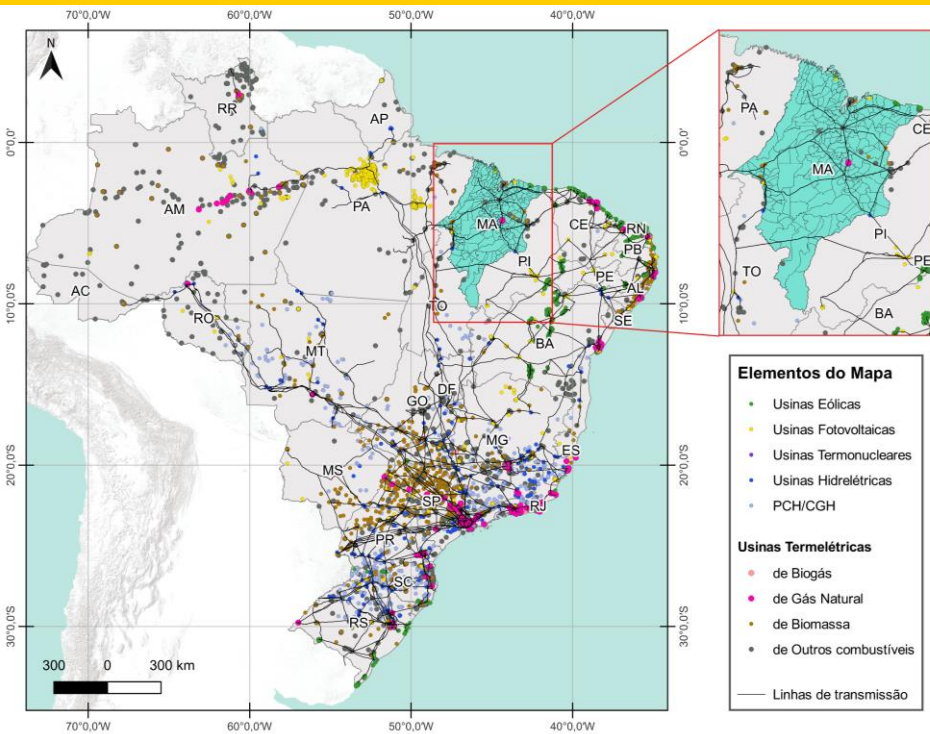
- Transporte de Hidrogênio (*blend*)

Cenário

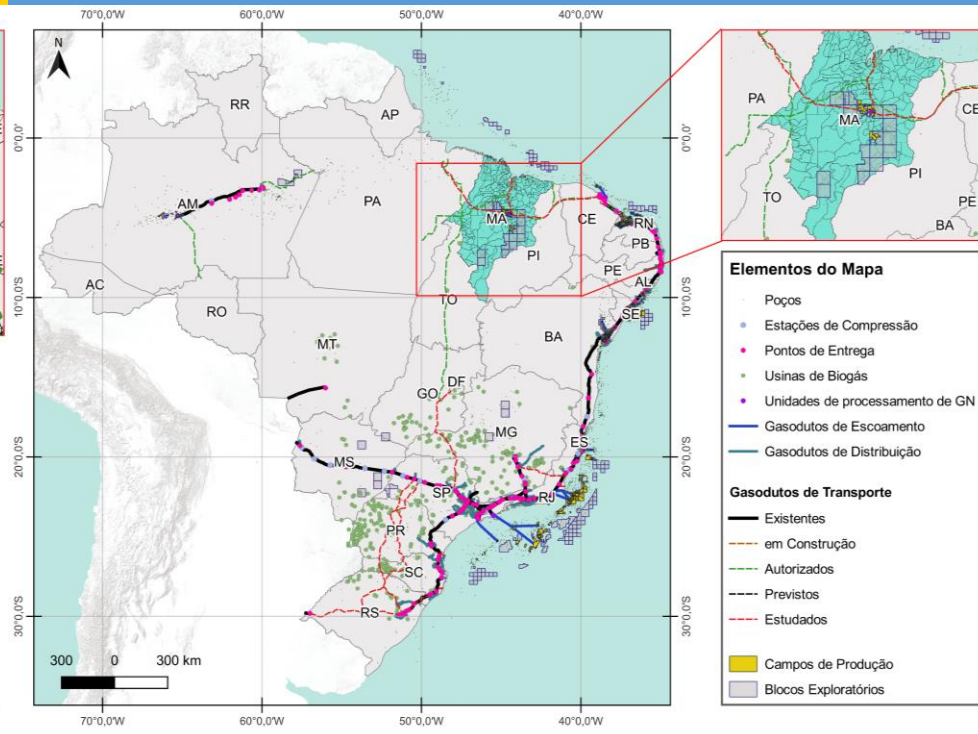
Infraestrutura de ELET versus GN

- SIN é maduro e resiliente
- Não existe Sistema Interligado de GN
- Malha de GN é pequena
- Malha de GN é concentrada no litoral
- Malha de GN precisa de Âncoras

Energia Elétrica – Sistema Interligado Nacional (SIN)

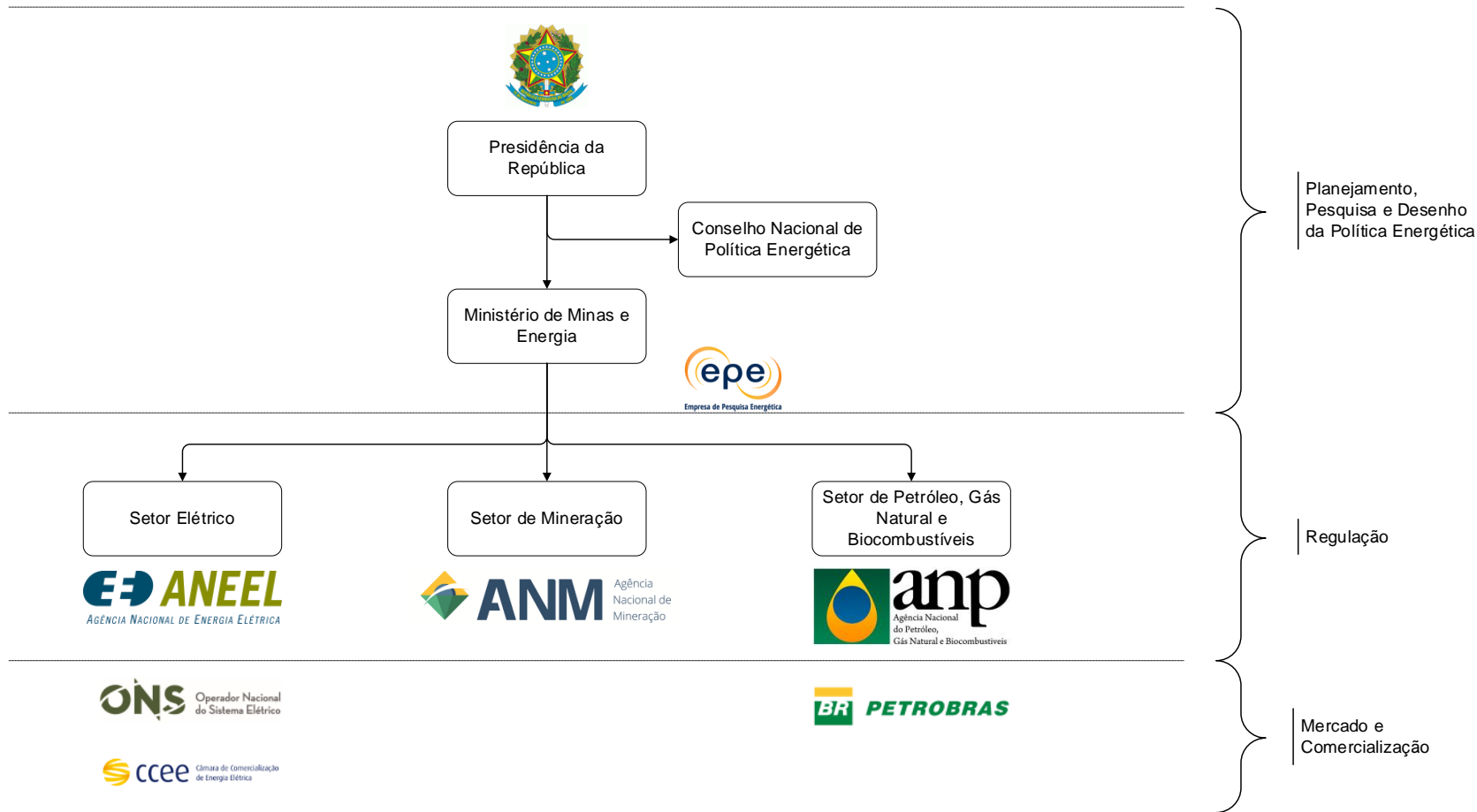


Gás Natural – Sistema (?)



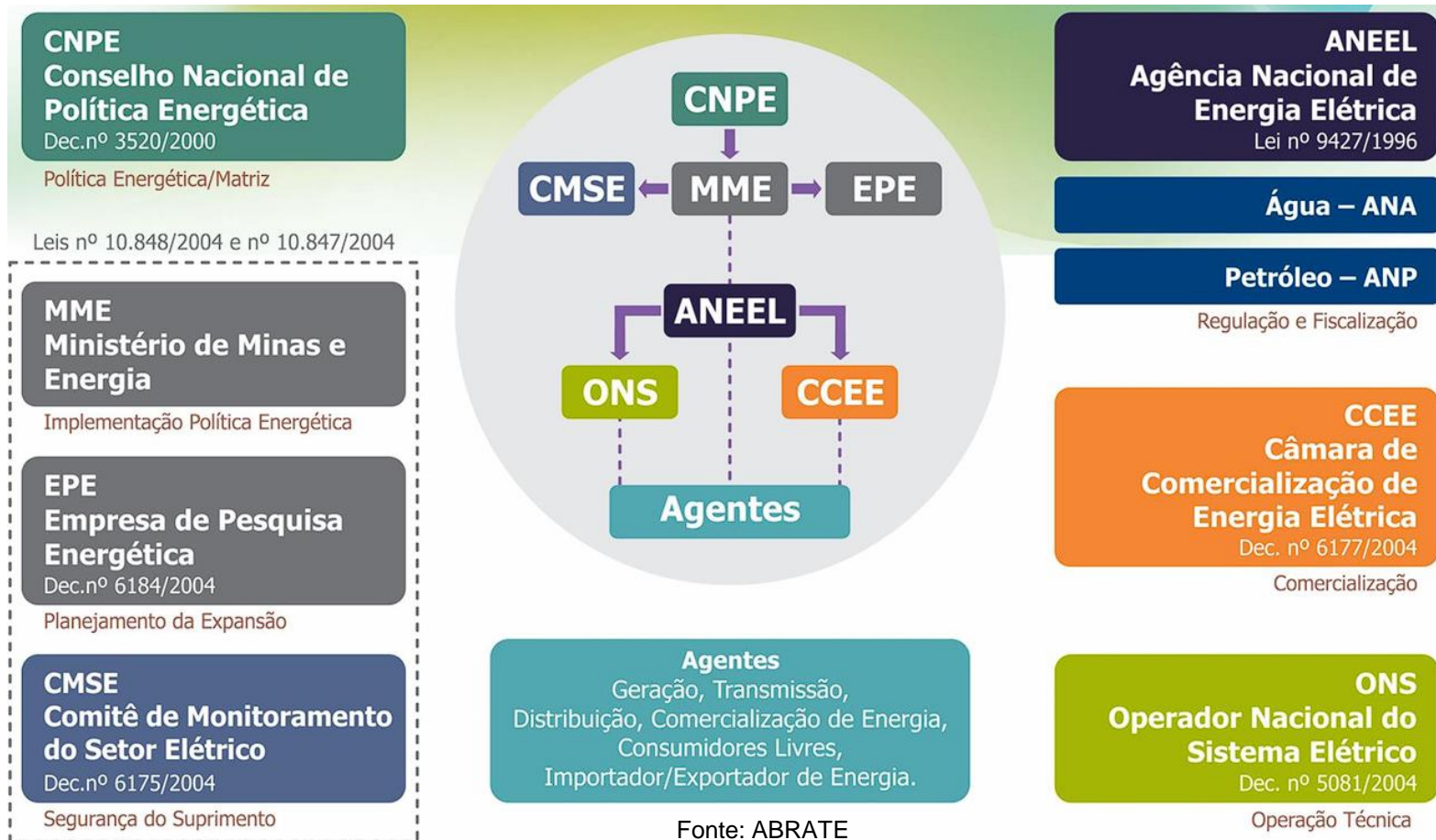
Cenário

Instituições no Brasil



Cenário

Instituições no Brasil



Cenário

Setor Elétrico – Passado

Geração

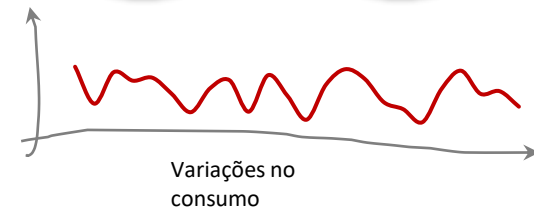
Varia a geração para compensar as variações no consumo



Transmissão e Distribuição



Consumo

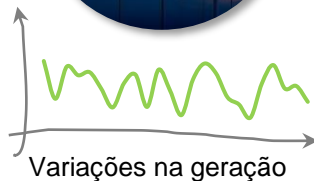


Cenário

Setor Elétrico – Presente

Varia a geração para compensar as variações no consumo e na geração variável

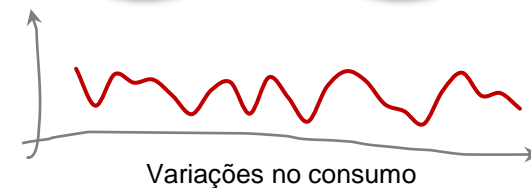
Geração



Transmissão e Distribuição

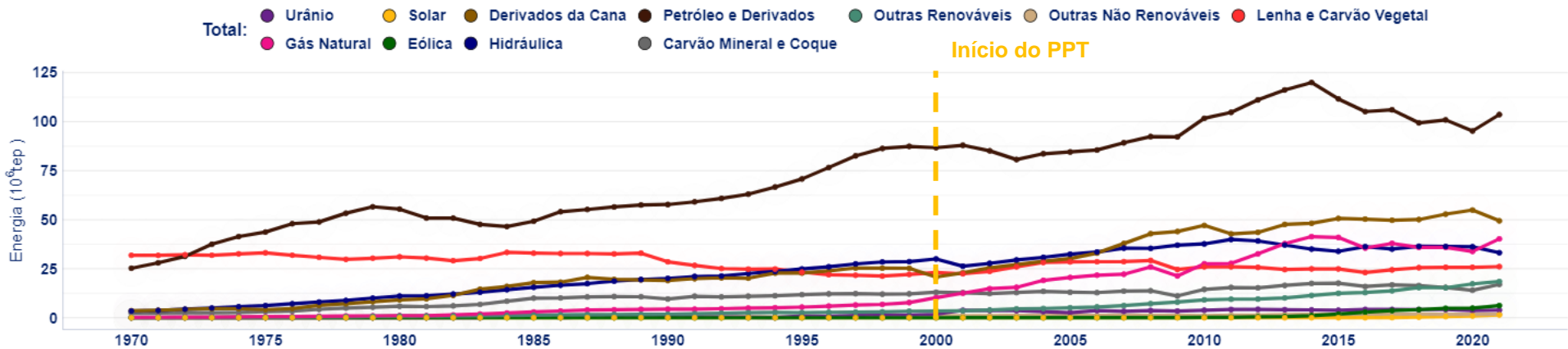
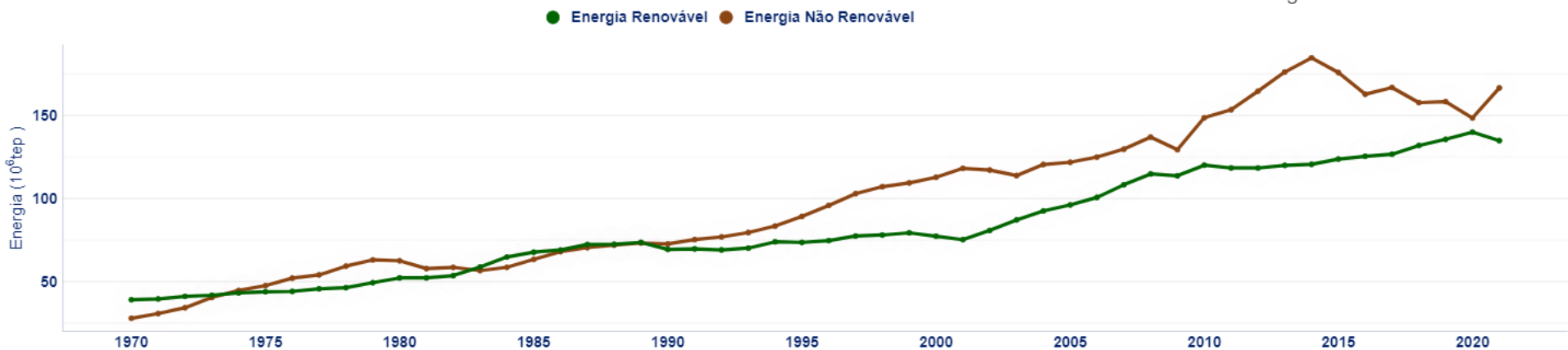


Consumo



Cenário

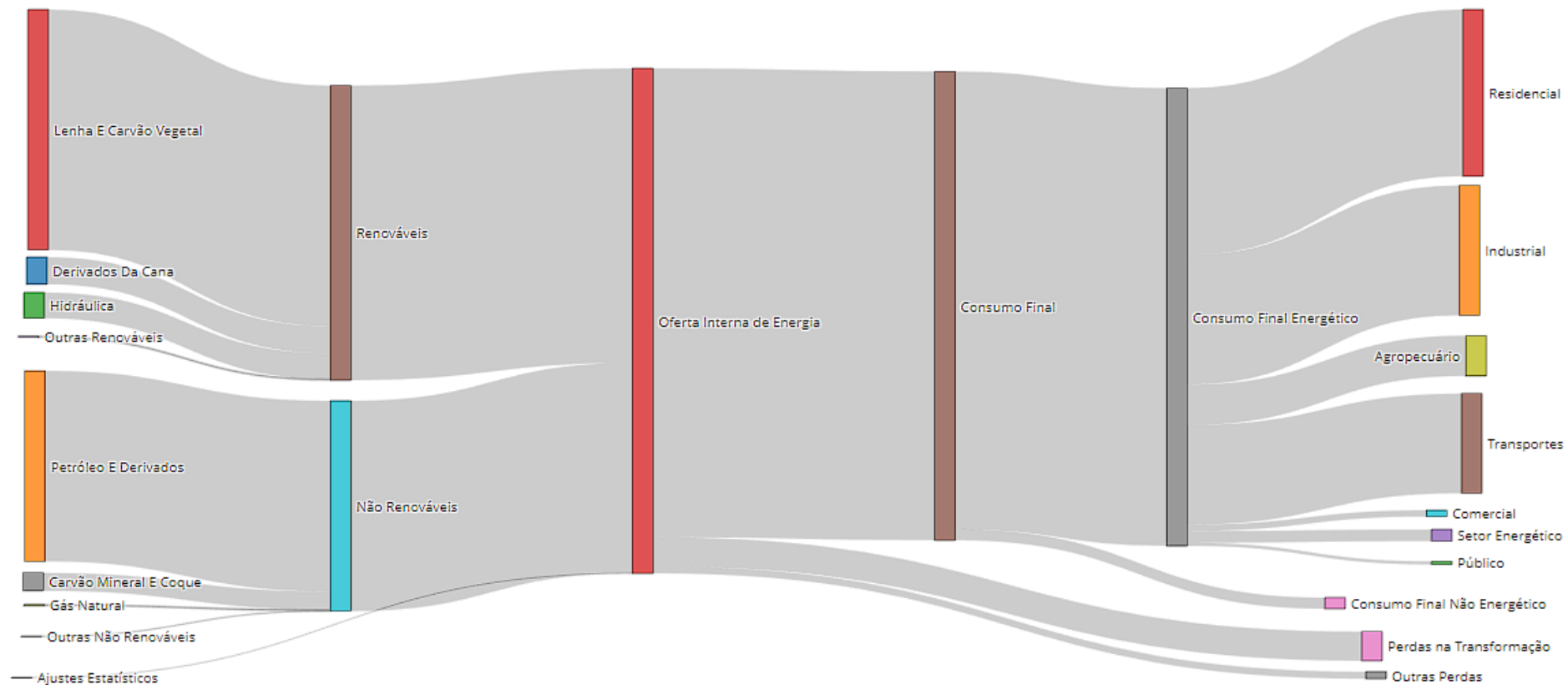
Matriz Energética (OIE)



Cenário

Fluxo Energético (1970)

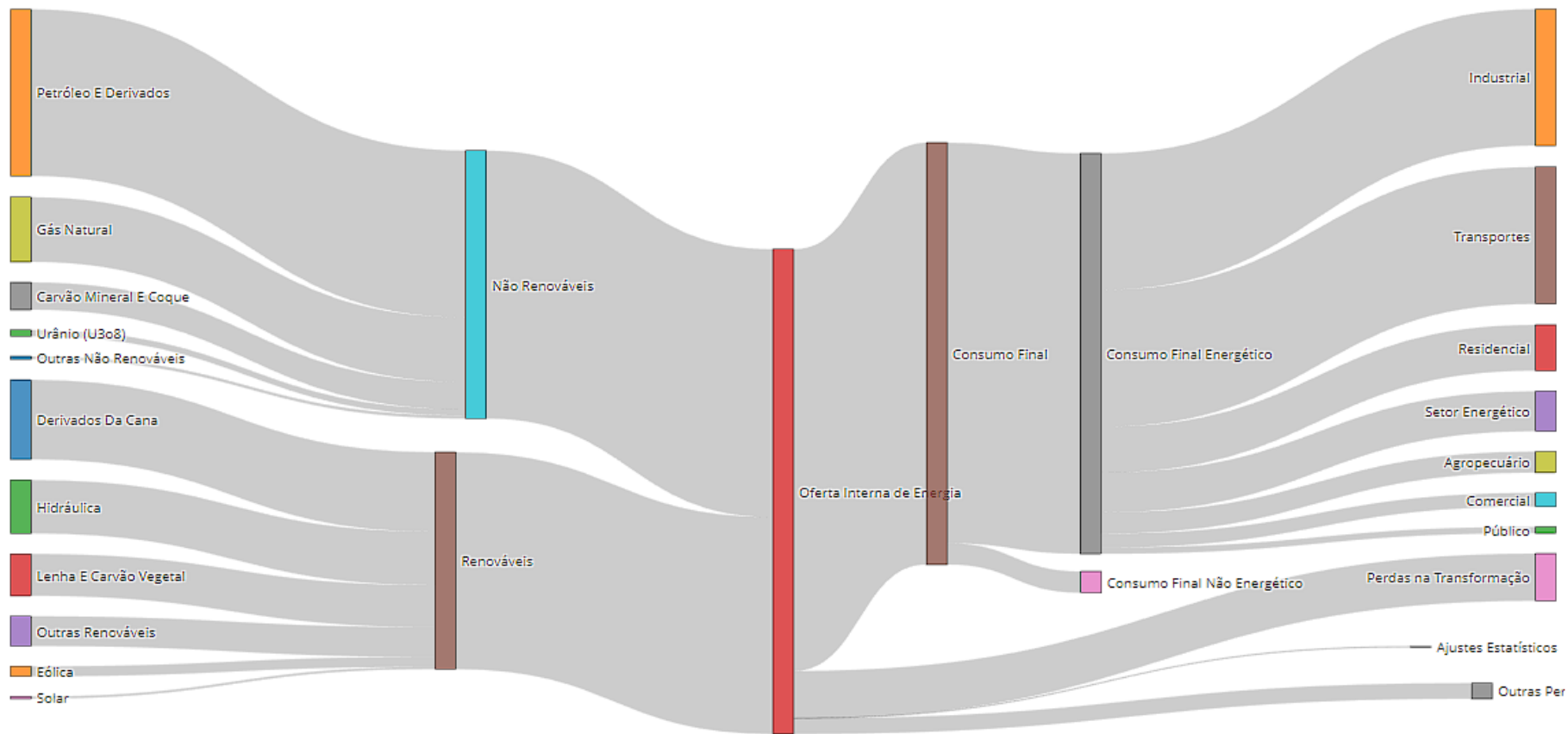
Gráfico: dados em $10^3 tep$



Cenário

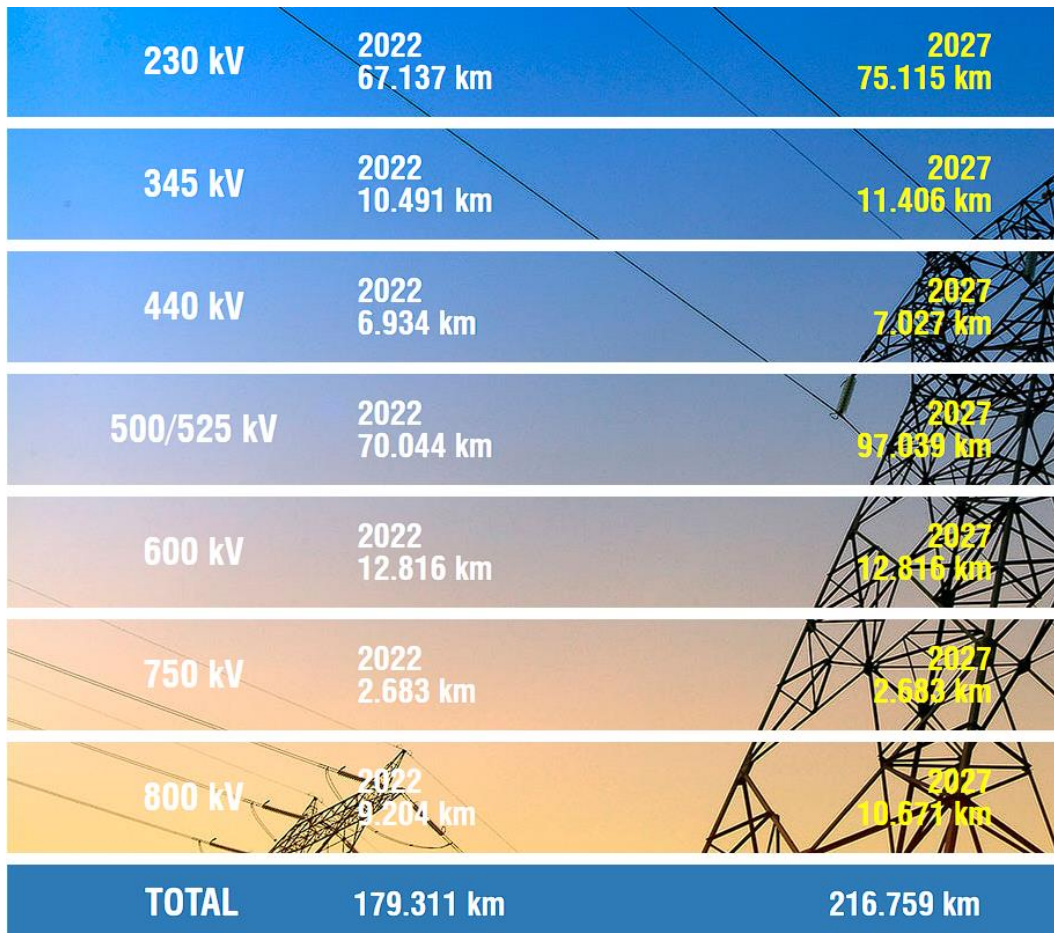
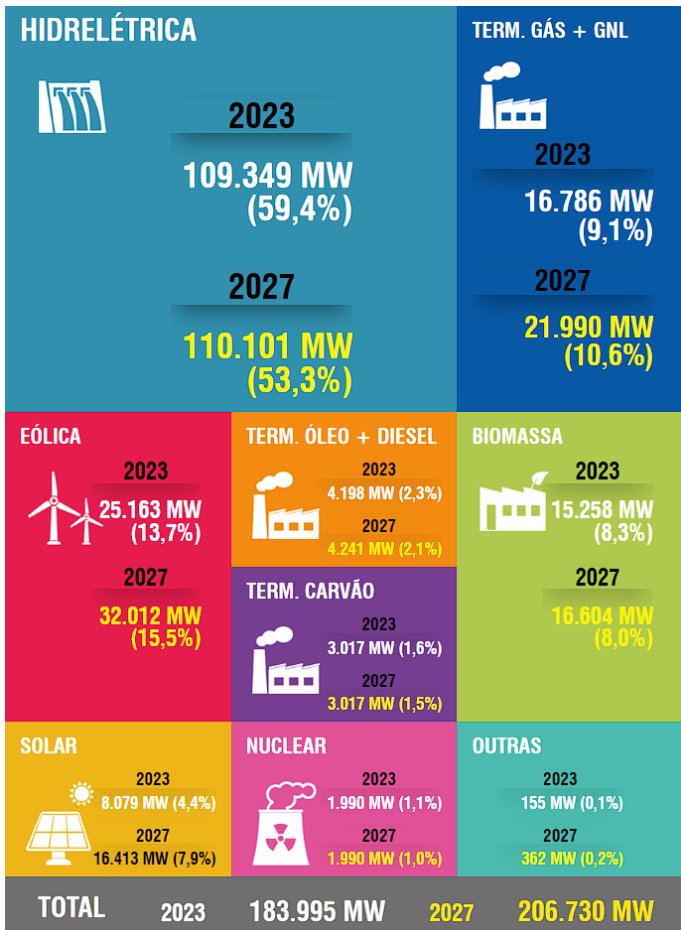
Fluxo Energético (2021)

Gráfico: dados em $10^3 tep$



Cenário

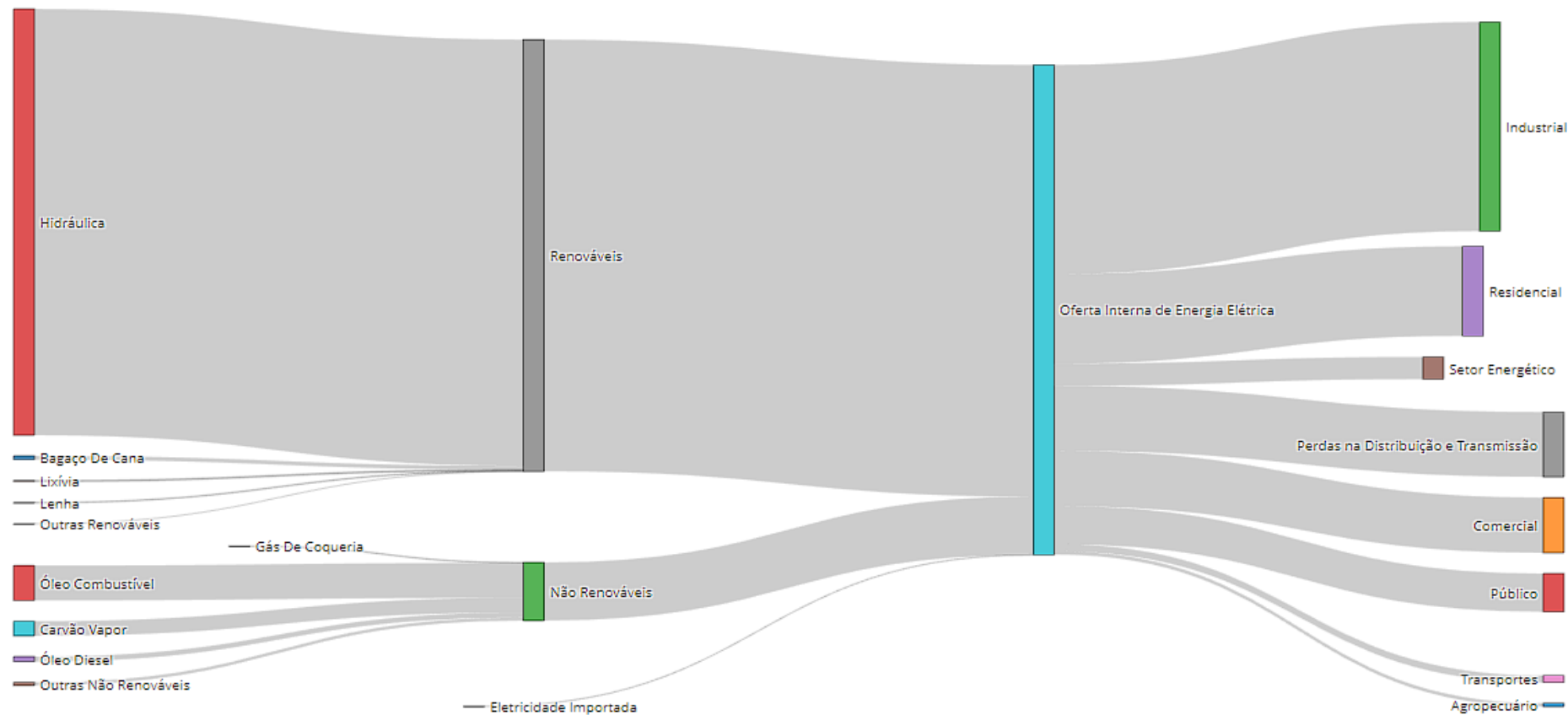
Sistema Interligado Nacional (SIN)



Cenário

Fluxo Elétrico (1970)

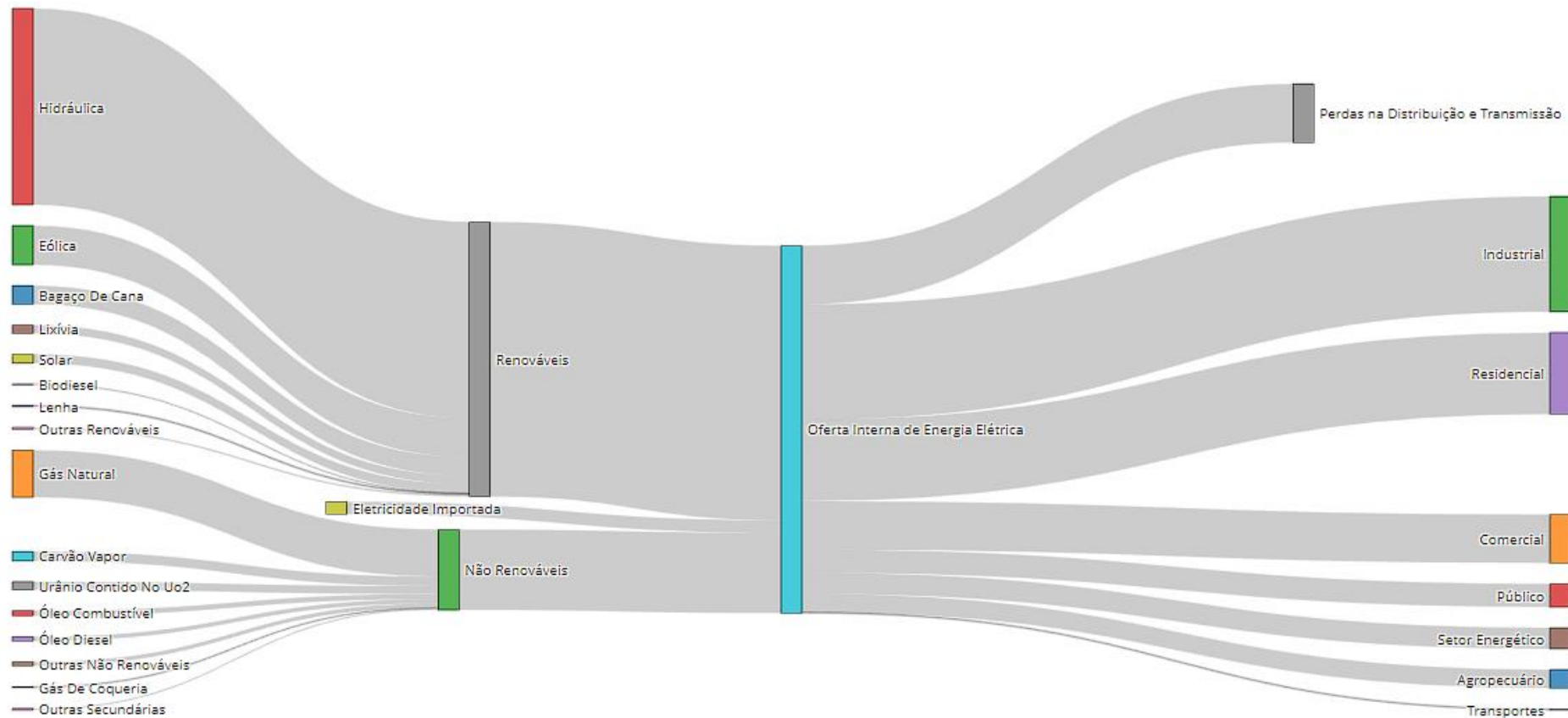
Gráfico: dados em *GWh*



Cenário

Fluxo Elétrico (2021)

Gráfico: dados em *GWh*



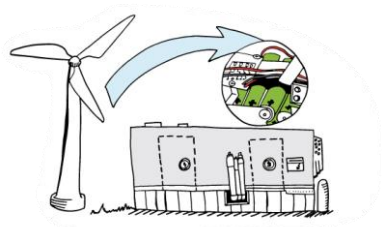
Cenário

Resumo

-
1. Deveria haver um Planejamento Integrado – Tudo é Energia
 2. Metas de redução de GEE
 3. Impactos econômicos da expansão do mercado de GN
 4. Transferência de intermitência do setor elétrico para o setor de gás – Armazenamento
 5. Benefício da cooperação mútua
 6. Expansão das Renováveis Não-Despacháveis
-

Interface entre os Setores

Visão Macro



Armazenamento de Energia



Geração Complementar



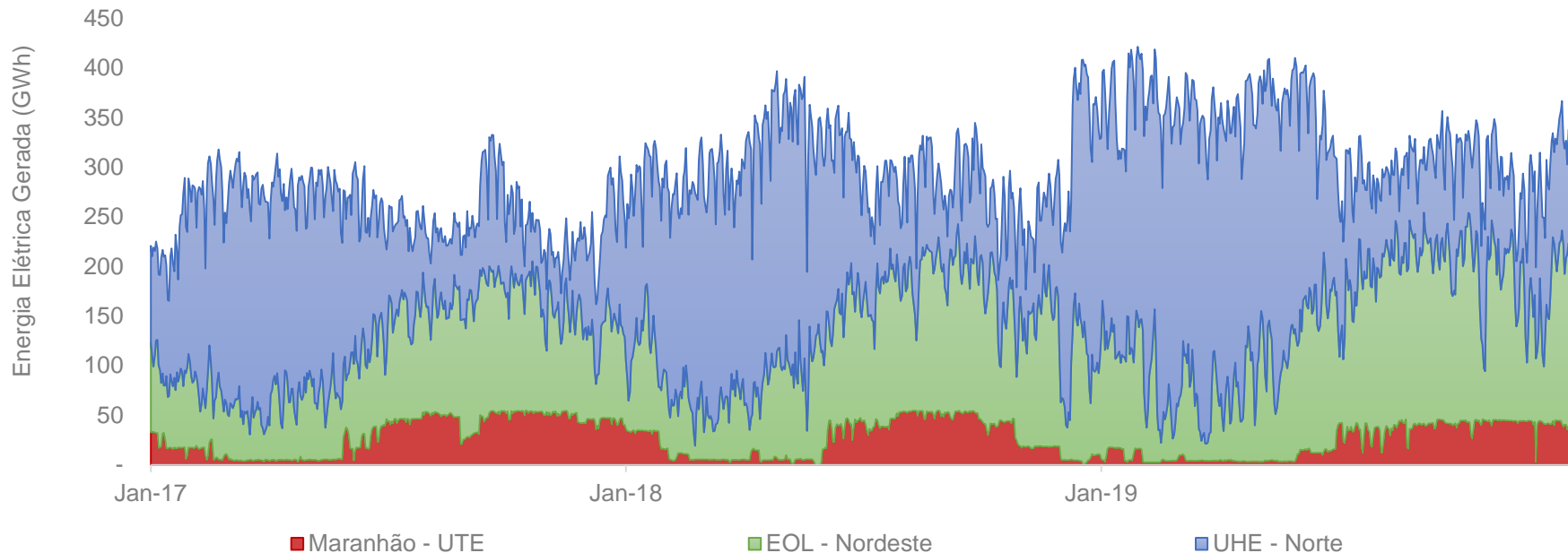
Geração Térmica na Base



Contratos Bilaterais

Interface entre os Setores

Geração Complementar



1

Térmicas complementam as REN

2

UHE e REN complementares

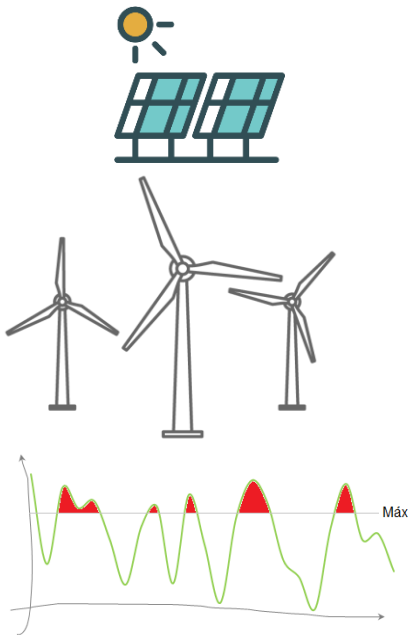
3

Térmicas compensam variabilidade

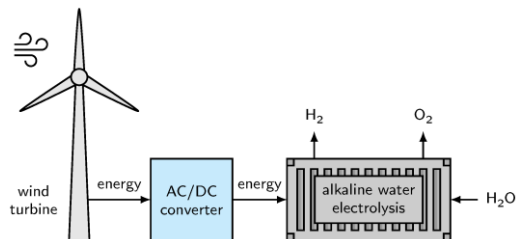
Interface entre os Setores

Solução de Armazenamento

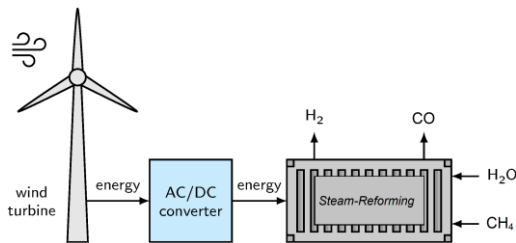
1 Excedente de geração renovável



2 Necessidade de Armazenamento



Produção de H₂ por Eletrólise

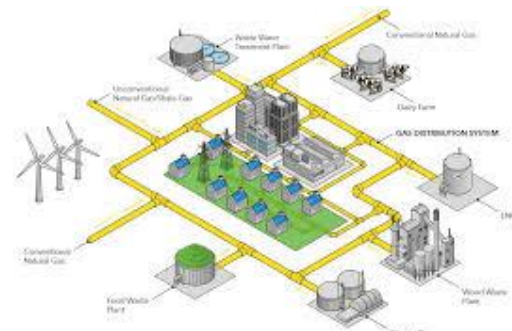


Produção de H₂ por *steam-reforming*

3 Necessidade de Transporte



Transporte Rodoviário



Transporte em Dutos:

- Somente H₂
- *Blend* de H₂ + GN

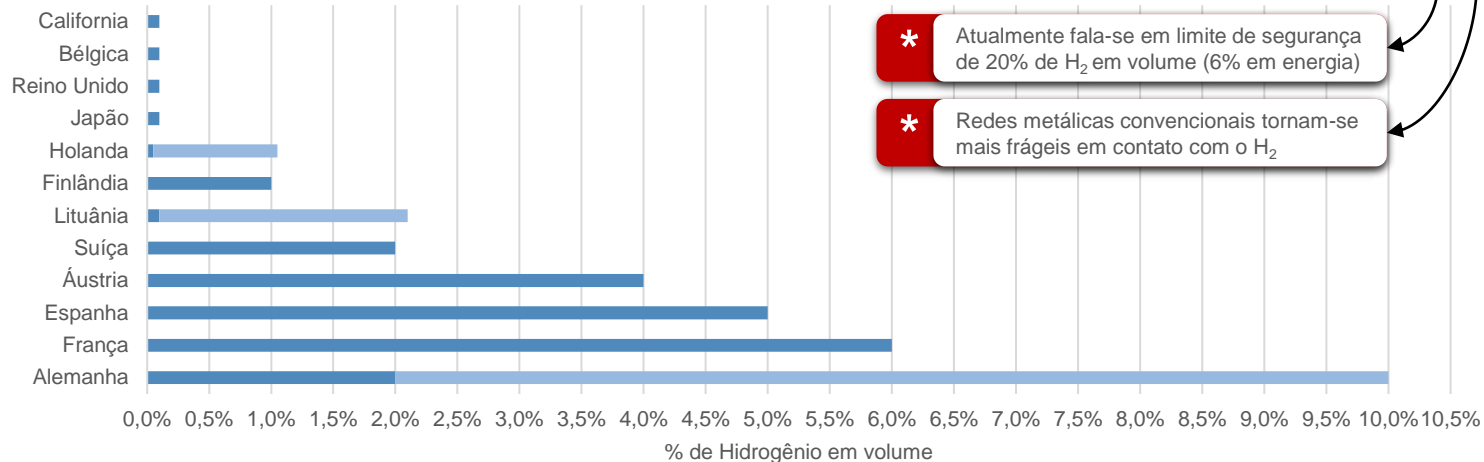
Interface entre os Setores

Solução de Armazenamento

1 O H₂ pode substituir completamente o GN

2 A substituição completa das redes de GN por redes de H₂ é improvável: necessidade de substituição de toda a rede

3 Em vários países há possibilidade de existência de H₂ na composição do GN comercializado



■ Qualquer Gás ■ Sob Certas Circunstâncias

Fonte: IEA

Interface entre os Setores

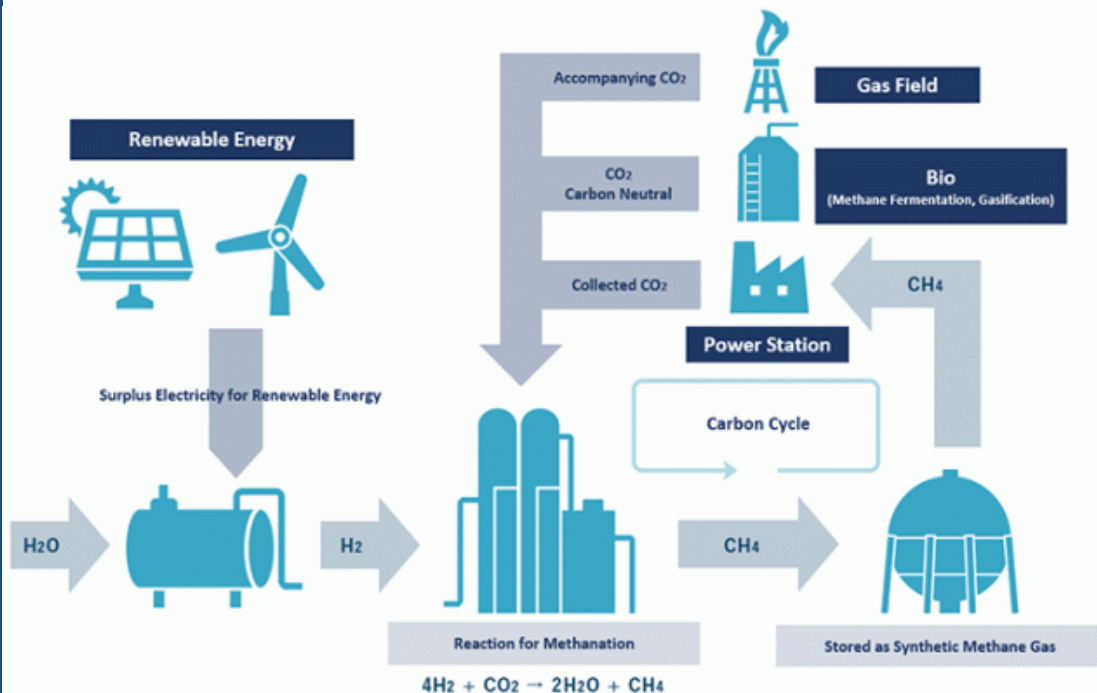
Solução de Armazenamento

4 O H₂ pode ser queimando em conjunto com o GN

5 O *blend* de GN + H₂ resulta em uma queima mais limpa (na proporção de 20% em volume não é necessário alterar equipamentos dos consumidores finais)

6 Há a possibilidade de extração do H₂ da rede de GN (alternativa à construção de redes dedicadas)

7 O H₂ também pode ser utilizado para produção de Metano combinado com plantas que possuem tecnologia de captura de carbono

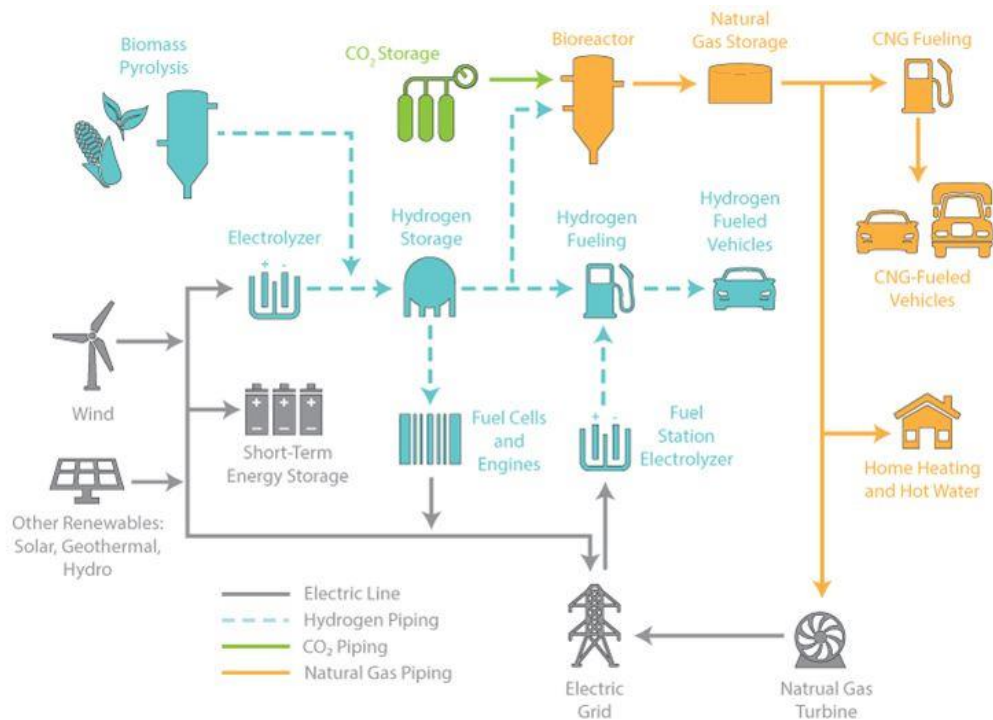


Interface entre os Setores

Solução de Armazenamento

8 O H₂ pode fazer parte da integração entre os setores elétrico e de gás natural

9 O H₂ pode ser utilizado para produzir Metano



Discussão

Vantagens

Vantagens



Desvantagens

1 Infraestrutura amortizada por dois setores: eficiência

2 Geração de energia termelétrica mais próxima dos centros de consumo, na comparação com o modelo atual que prevê térmicas associadas a terminais portuários.

3 Há ganhos em transportar o gás ao interior, em vez de gerar energia elétrica no litoral e transmiti-la ao interior.

4 Aumento da demanda por Gás Natural. Aumento na necessidade de atividades de E&P (aumento de arrecadação).

1 A intermitência da rede elétrica passará à rede de gás

2 Aumento da complexidade de planejamento

Discussão

Leilões de Energia

1

É possível criar um horizonte de longo prazo mais previsível a partir da construção de térmicas a GN na base.

1.1

Garantia de suprimento mínimo:
Térmicas na base

1.2

Suprimento excedente: Térmicas
flexíveis (menores)

2

Necessidade de revisão das regras para participação nos leilões de energia elétrica: garantia de reservas.

3

Integração entre eólicas *Offshore* e Termelétricas *Offshore*: possibilidade de viabilizar poços no *Offshore* e compartilhar a infraestrutura da transmissão de E.E.

Discussão

Flexibilidade

Flexibilidade:

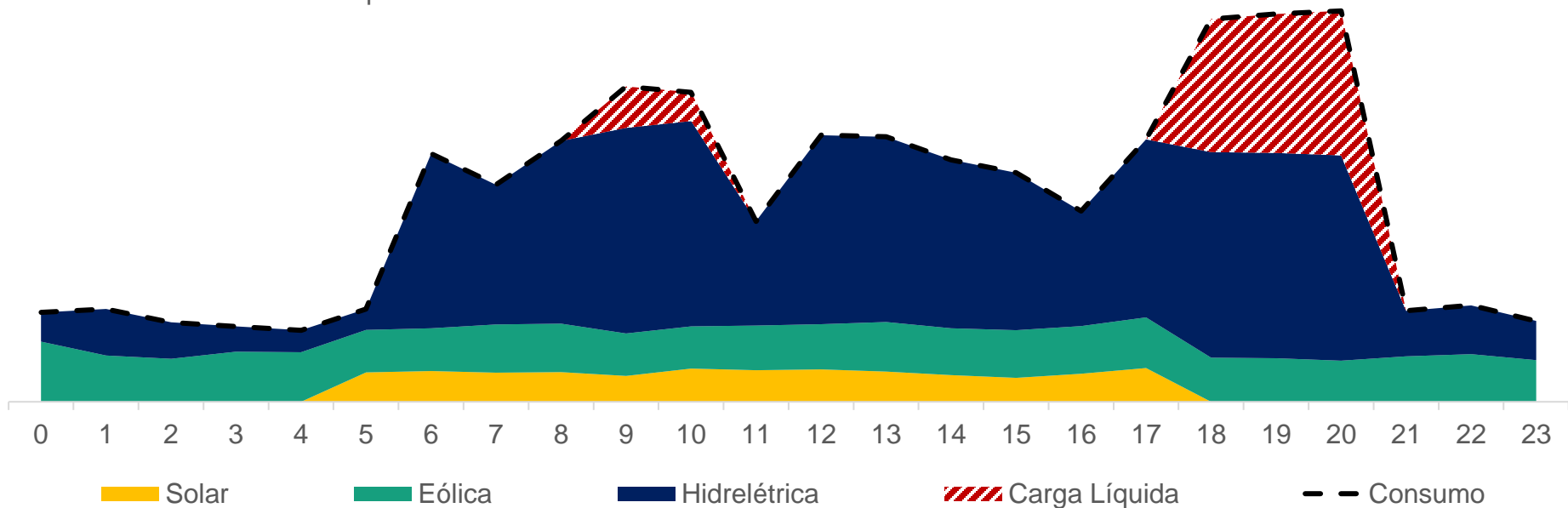
Um sistema de potência é dito flexível se puder – dentro dos limites econômicos – responder rapidamente a grandes flutuações na demanda e na oferta, variações e eventos programados ou não previstos, reduzindo a produção em rampa quando a demanda reduz, aumentando a produção em rampa quando a demanda aumenta.

Discussão

Flexibilidade

Carga Líquida:

Carga residual que deve ser suprida por geradores convencionais depois que todas as renováveis não-despacháveis estiverem em uso



Discussão

Flexibilidade

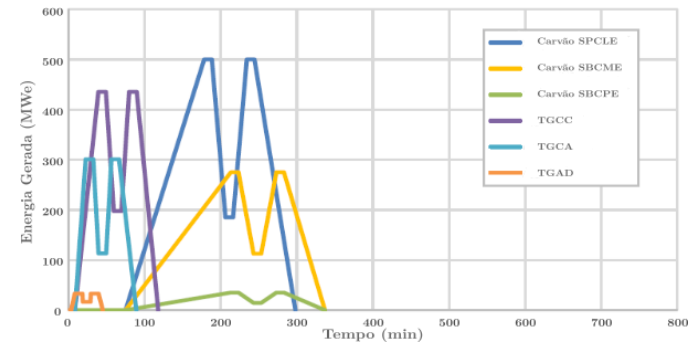
- Flexibilidade precisa ser medida
- Flexibilidade individual de um gerador x Flexibilidade de um sistema:
 - Para o gerador: é a mesma independente do sistema
 - Para o sistema: depende do *mix* de geradores que o compõem

Discussão

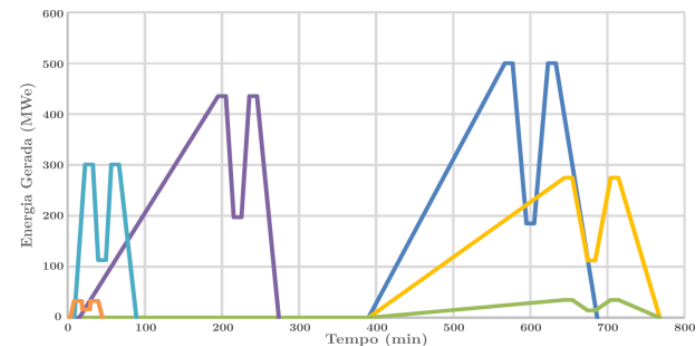
Flexibilidade

Tecnologia	Carga Mínima (%P _{máx})	Rampa (%P _{máx} /min)	Partida a quente (h)
Hidrelétrica	5	15	0,1
Gás – Ciclo Aberto	15	20	0,16
Gás – Ciclo Combinado	20	8	2
Solar Concentrada	25	6	2,5
Carvão	30	6	3
Bioenergia	50	8	3
Nuclear	50	2	24

Hot Start-up

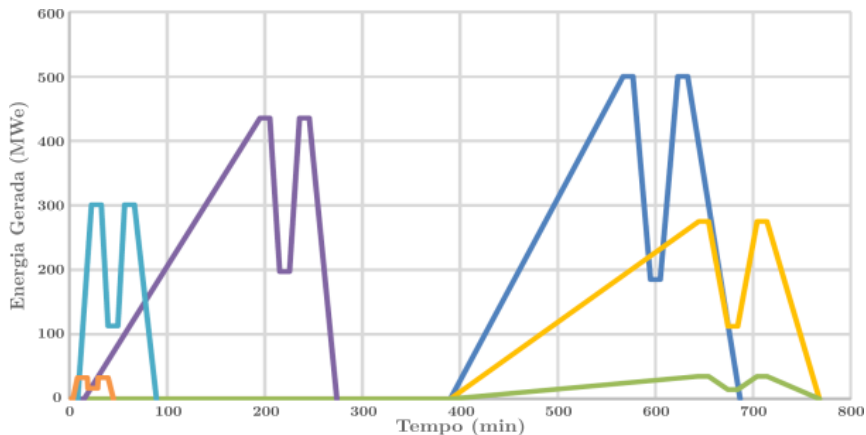


Cold Start-up



Discussão

Flexibilidade



Tecnologias que dependem de transferência de calor para geração de energia elétrica são mais afetadas pelo tempo em que permanecem desligadas

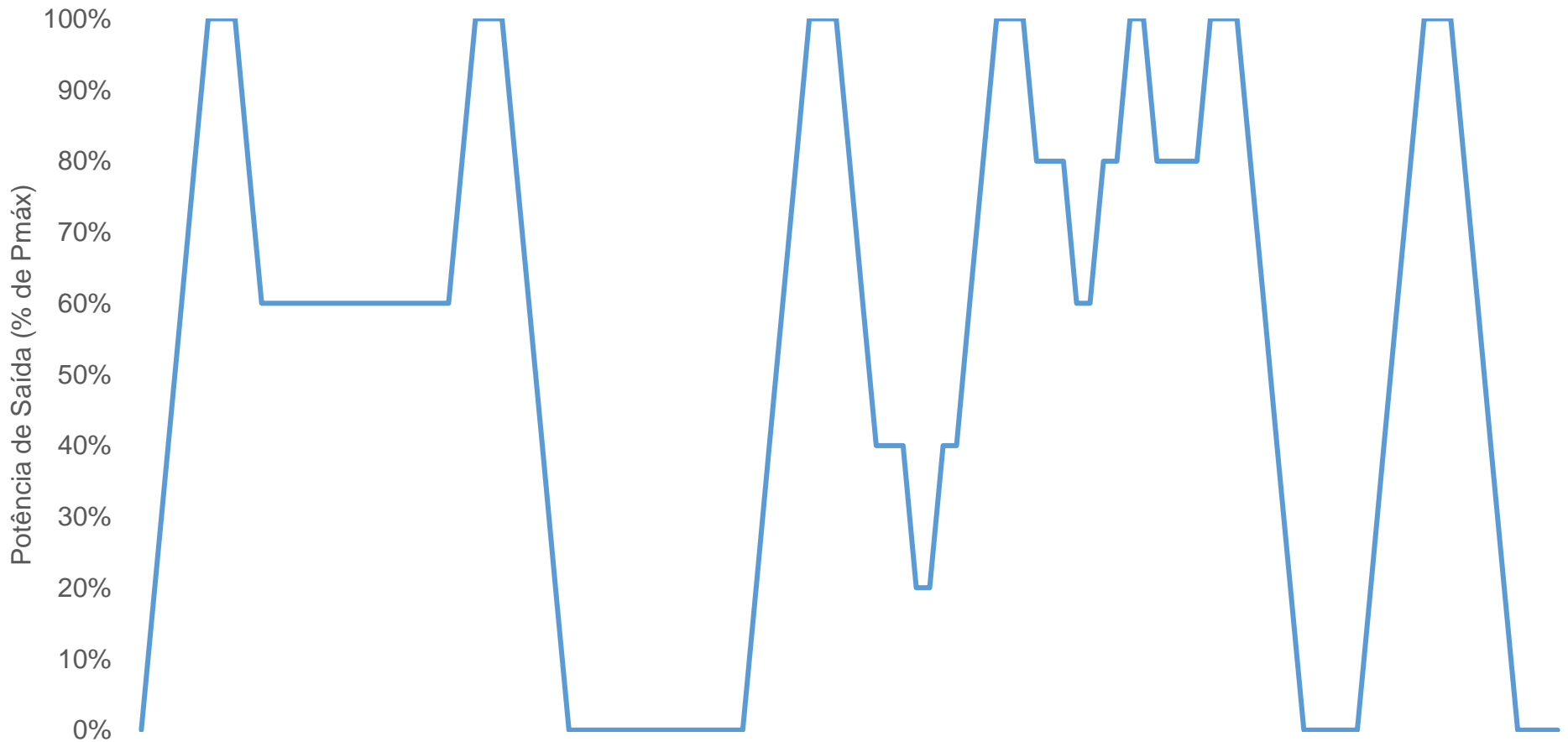
Quanto menor a temperatura do material: (a) maior o tempo de startup; (b) maior custo variável; (c) maiores as emissões de gases de efeito estufa (GEE)

Plantas que não são preparadas para operarem em ciclos sofrem impacto direto na: (a) vida útil; (b) consumo de combustível; (c) custos de O&M; (d) emissões de GEE

As plantas devem ser otimizadas para operarem em ciclos. Fabricantes informam o número máximo de ciclos no *data sheet* das máquinas.

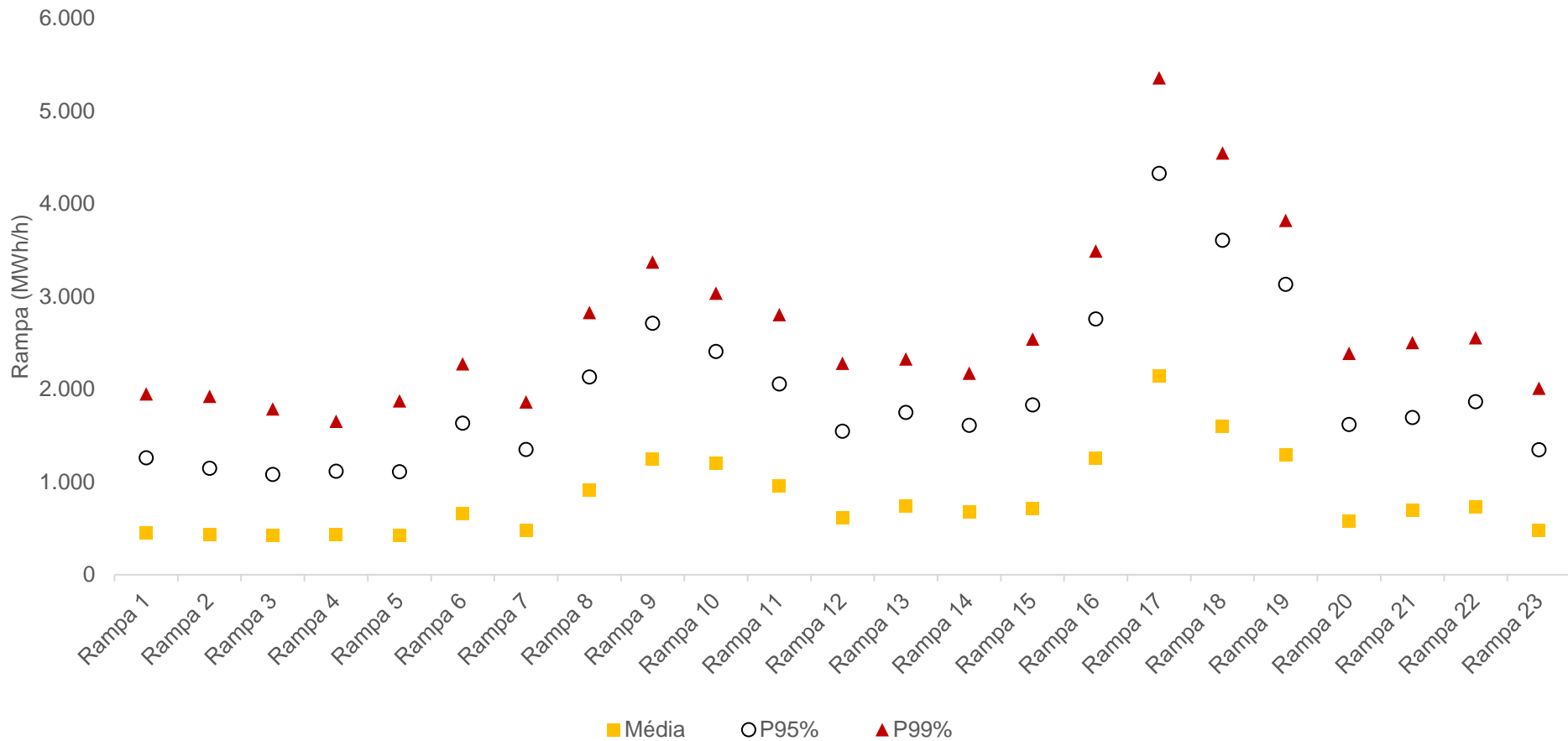
Discussão

Flexibilidade



Discussão

Flexibilidade



Discussão

Impactos da Geração Não-Despachável

Aumento da incerteza na geração

Aumento do risco de desabastecimento

Necessidade de instalação de recursos flexíveis

Aumento do custo da energia gerada

Mudança no perfil de geração das termelétricas

Efeitos sobre a ordem de mérito

Saturação/superdimensionamento na transmissão



A maneira como as renováveis não-despacháveis afetam os custos varia conforme o mercado

Discussão

Impactos da Geração Não-Despachável

Mercados baseados em lances

- Geradores submetem suas curvas de oferta como lances em um leilão centralizado
- Geradores podem ofertar energia e serviços ancilares em mercados distintos

X

Mercados baseados em custo

- Operador do sistema audita todos os parâmetros dos geradores para estimar os custos marginais em cada barra
- Serviços ancilares são mandatórios, seguindo as instruções do operador, não via mecanismo de mercado

Discussão

Impactos da Geração Não-Despachável

Curto prazo: intra-horário e intradiário

Aumentam os requisitos de rampa

Aumentam as necessidades de reserva

Concorrência com as contingências pela reserva

Usinas de base podem ser desligadas

Aumento de emissões de GEE

Aumento dos custos de O&M

Em caso de previsões imperfeitas, as renováveis não despacháveis passam a concorrer com os recursos da reserva operativa originalmente destinados às contingências

Caso uma térmica de base seja desligada e a carga líquida aumente em seguida, em função do alto TSU dessas usinas, o operador precisará despachar uma usina mais cara, porém mais rápida

Discussão

Impactos da Geração Não-Despachável

Médio prazo: superior aos comandos de despacho

Necessidade de ciclagem em UTE

Aumento da taxa de interrupções forçadas

Aumento dos custos de O&M

Redução da eficiência das plantas

Discussão

Impactos da Geração Não-Despachável

Longo Prazo: horizonte de planejamento

Redução no despacho de termelétricas

Redução do retorno sobre o investimento das não-despacháveis

Plantas de *baseload* perdem competitividade

Demanda por plantas de GN de ciclo aberto

Necessidade de reforço no sistema de transmissão

Há redução no despacho, porém a capacidade instalada não reduz na mesma proporção

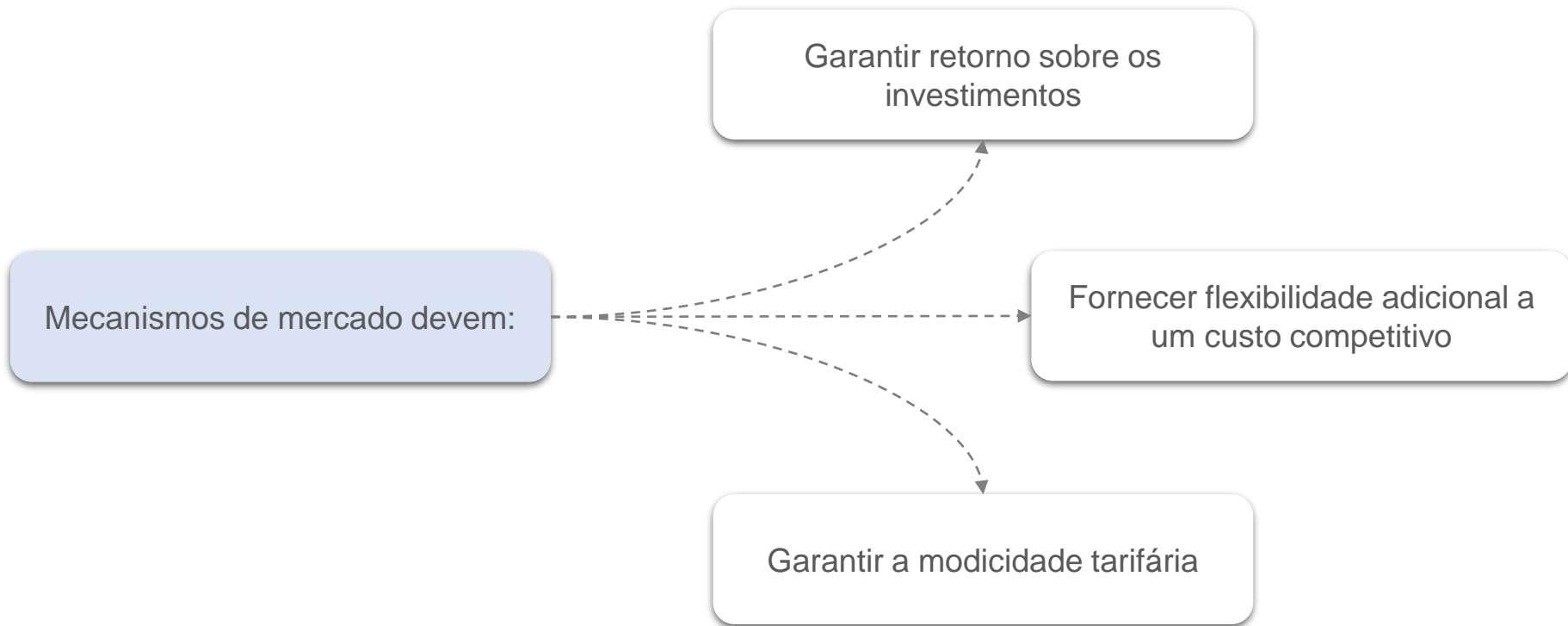
Devido ao aumento dos cortes na geração não-despachável (*cut-off*) quando há excesso de energia gerada.

Alta concentração geográfica de recursos. Necessidade de reforço nas interligações com outras regiões.

Necessidade de integração entre o planejamento da expansão da oferta de energia e do planejamento da expansão da transmissão

Discussão

Mecanismos de Mercado



Discussão

Mecanismos de Mercado

- Variações na carga líquida têm várias fontes
- As renováveis não despacháveis aumentam os requisitos por flexibilidade
- Os mecanismos de respostas a essas variações têm seus custos associados
- Esses mecanismos têm representatividade no valor final da energia

Quem paga a conta?

Discussão

Mecanismos de Mercado

Contratos Bilaterais

```
graph LR; A[Contratos Bilaterais] -.-> B[Geradores híbridos (variável + flexível)]; A -.-> C[Portfólios comerciais (contratos por quantidade)]; A -.-> D[Geradores não-despacháveis podem tornar-se despacháveis]; D --- E[Simplifica os leilões];
```

Geradores híbridos
(variável + flexível)

Portfólios comerciais
(contratos por quantidade)

Geradores não-despacháveis podem
tornar-se despacháveis

Simplifica os leilões

Discussão

Mecanismos de Mercado

Geradores não-despacháveis podem tornar-se despacháveis

Simplifica os leilões

- Leilões podem ser por quantidade ou capacidade
- Fontes renováveis são contratadas por quantidade
- Há transferência de risco do empreendedor ao sistema
- Cenário favorável para a associação de eólicas *offshore* a térmicas flutuantes que utilizam gás natural extraído no *offshore*

Discussão

Mecanismos de Mercado

Contratos Bilaterais

Questões em aberto:

- A regulação atual permite que um gerador flexível faça contratos bilaterais com mais de um gerador não-despachável? Essa opção permitiria um fluxo de caixa mais estável para o gerador flexível ao longo do ano, na medida em que pode fechar contratos com fontes renováveis complementares.
- A mudança na forma de contratação das renováveis não-despacháveis (de quantidade para capacidade) reduziria sua competitividade e alteraria as metas de longo prazo de garantir uma matriz elétrica mais renovável?

Discussão

Mecanismos de Mercado

Serviços Ancilares:

Serviços suplementares aos prestados pelos agentes de geração e de distribuição, conforme regulamentação pertinente, que compreendem os controles primário e secundário de frequência das unidades geradoras, e suas respectivas reservas de potência; a reserva de prontidão; o suporte de reativos, o sistema especial de proteção – SEP e o autorrestabelecimento (*black start*) de unidades geradoras.

Discussão

Mecanismos de Mercado

Serviços Ancilares de Rampa

```
graph LR; A[Serviços Ancilares de Rampa] -.-> B[Mercados baseados em lance seriam mais apropriados?]; A -.-> C[Serviços ancilares e de geração competindo em mercados diferentes];
```

The diagram consists of three rounded rectangular boxes. On the left is a light blue box containing the text 'Serviços Ancilares de Rampa'. To its right are two white boxes with grey borders. The top white box contains the text 'Mercados baseados em lance seriam mais apropriados?'. The bottom white box contains the text 'Serviços ancilares e de geração competindo em mercados diferentes'. Two dashed grey arrows originate from the right side of the blue box. One arrow curves upwards and to the right, pointing towards the top white box. The other arrow curves downwards and to the right, pointing towards the bottom white box.

Mercados baseados em lance seriam mais apropriados?

Serviços ancilares e de geração competindo em mercados diferentes

Discussão

Mecanismos de Mercado

Serviços Ancilares – Oportunidades de negócio:

- Geradores entrarem em leilão ofertando capacidade abaixo da sua capacidade instalada, para garantir uma receita aproximadamente fixa com o fornecimento de energia elétrica, e manter uma reserva de capacidade para concorrer em um mercado competitivo de serviços ancilares;
- Empresas de exploração e produção de gás natural podem ofertar suas reservas em campos maduros para geradores que operem nos mercados de serviços ancilares, haja vista que esses campos não possuem garantia de grandes volumes de gás e os geradores flexíveis tentem a ter um fator de capacidade baixo.

Discussão

Mecanismos de Mercado

Serviços Ancilares – Como o mercado de gás natural pode participar?

- Modelo *gas-to-wire* aplicado a campos maduros ou em campos com baixa vazão associados a pequenas termelétricas totalmente flexíveis – receita adicional ao mercado de GN;
- Em um mercado competitivo de serviços ancilares, os provedores do serviço não necessariamente precisariam comprovar a reserva de gás, haja vista que dariam lances para participar do mercado.

Discussão

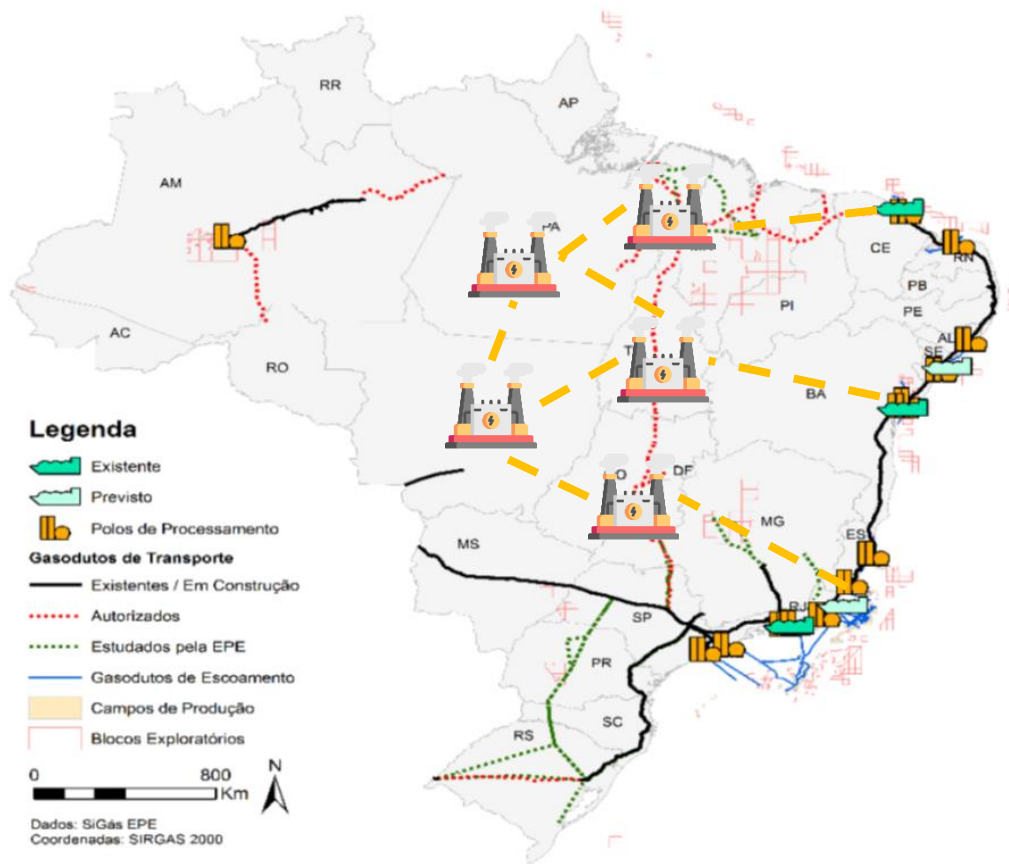
Mecanismos de Mercado

Serviços Ancilares – Questões em aberto:

- As térmicas flexíveis vendem energia ou vendem um serviço de confiabilidade?
- Os consumidores também podem vender serviço de flexibilidade?
- Como os serviços ancilares de flexibilidade devem ser alocados entre os agentes participantes do mercado?

Discussão

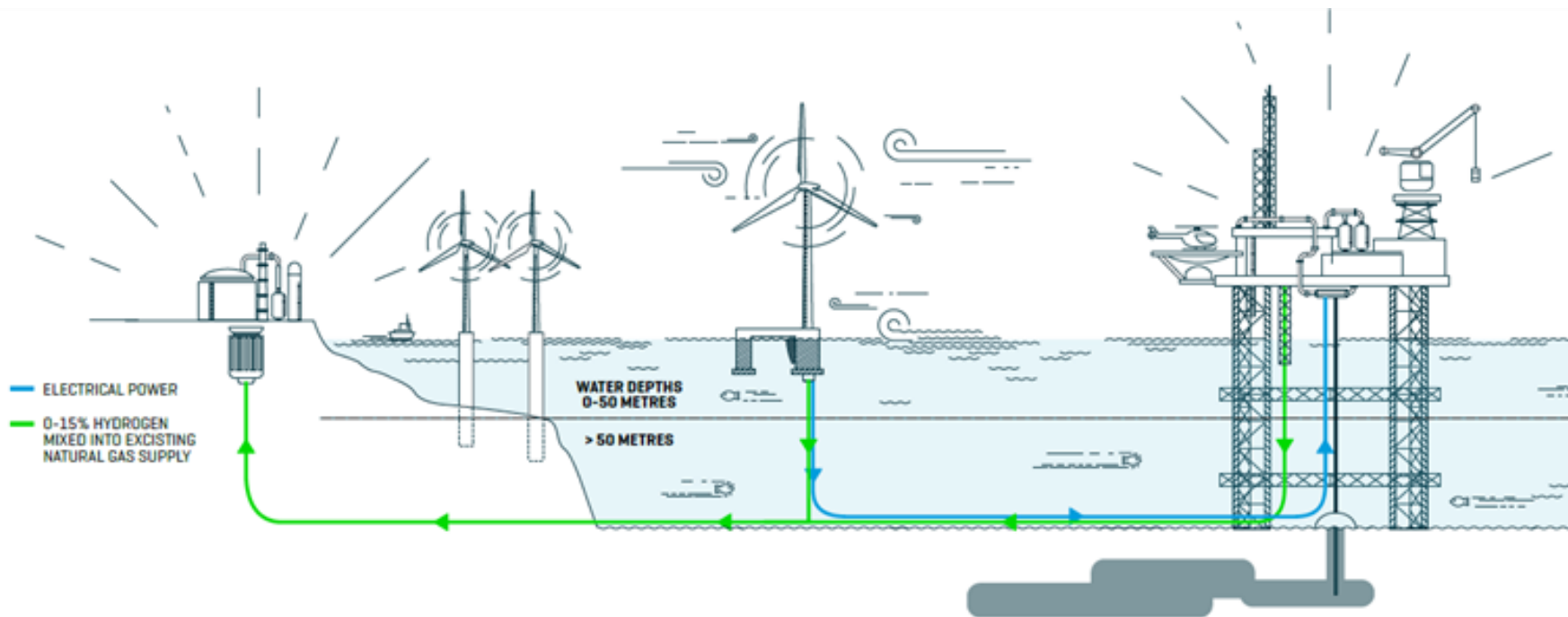
Interiorização da malha de GN



- 1 Térmicas com garantia de despacho no interior do país
- 2 Redução do risco nos contratos de fornecimento de gás
- 3 Possível redução de CVU dessas usinas
- 4 Interiorização da malha
- 5 Geração de energia próxima a alguns centros de consumo
- 6 Redução de investimentos em transmissão
- 7 Custo do transporte de GN x Custo da Transmissão de E.E.

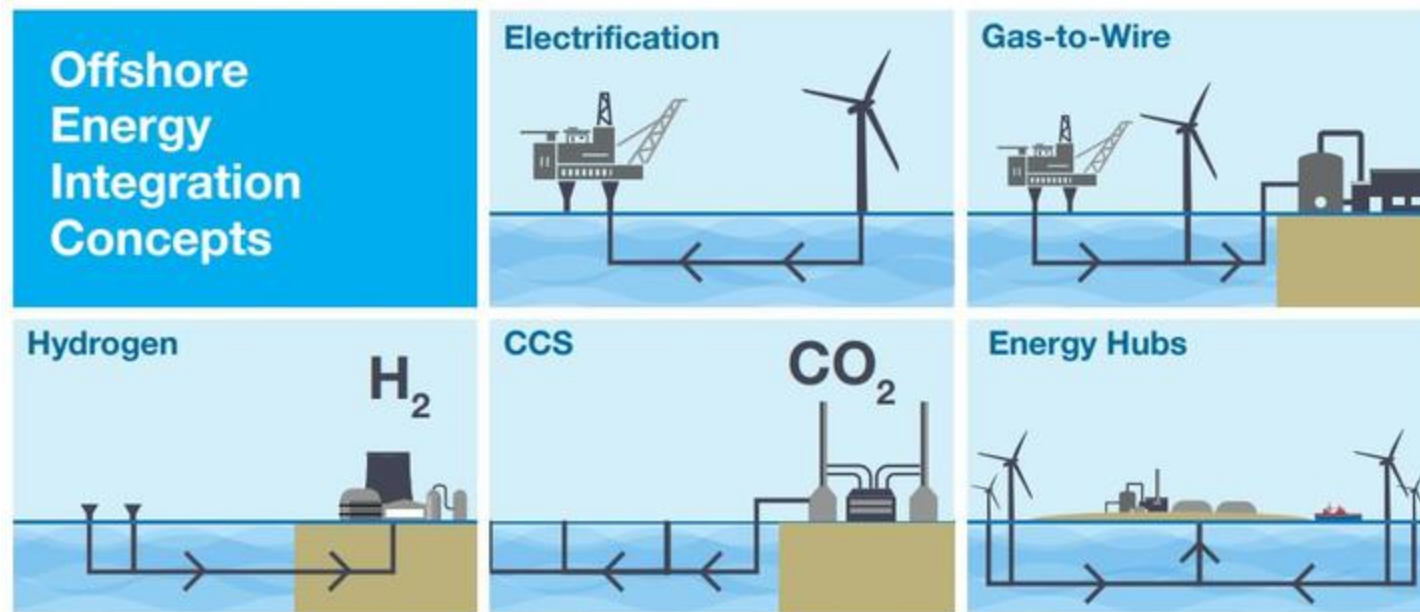
Discussão

Eólicas Offshore



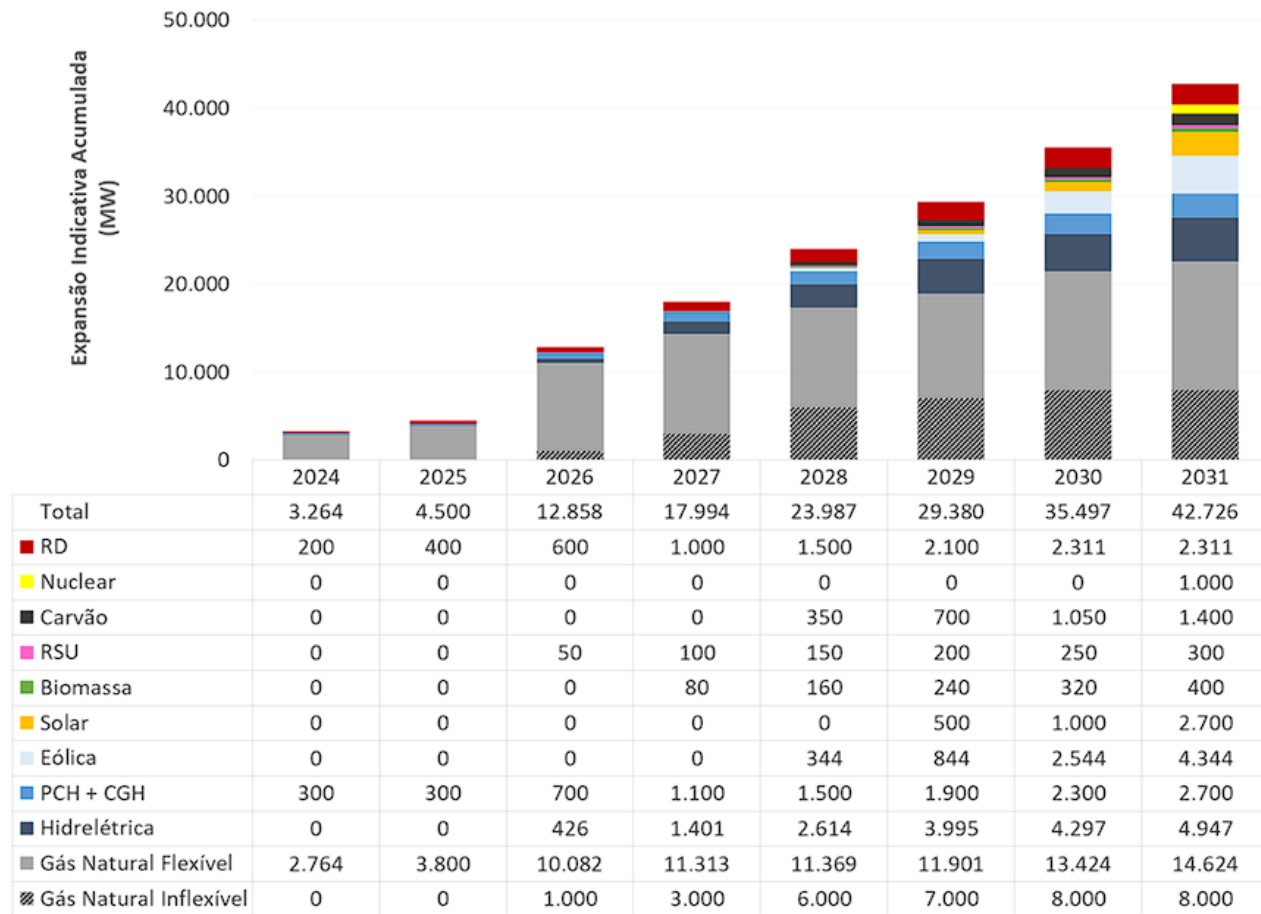
Discussão

Eólicas Offshore



Discussão

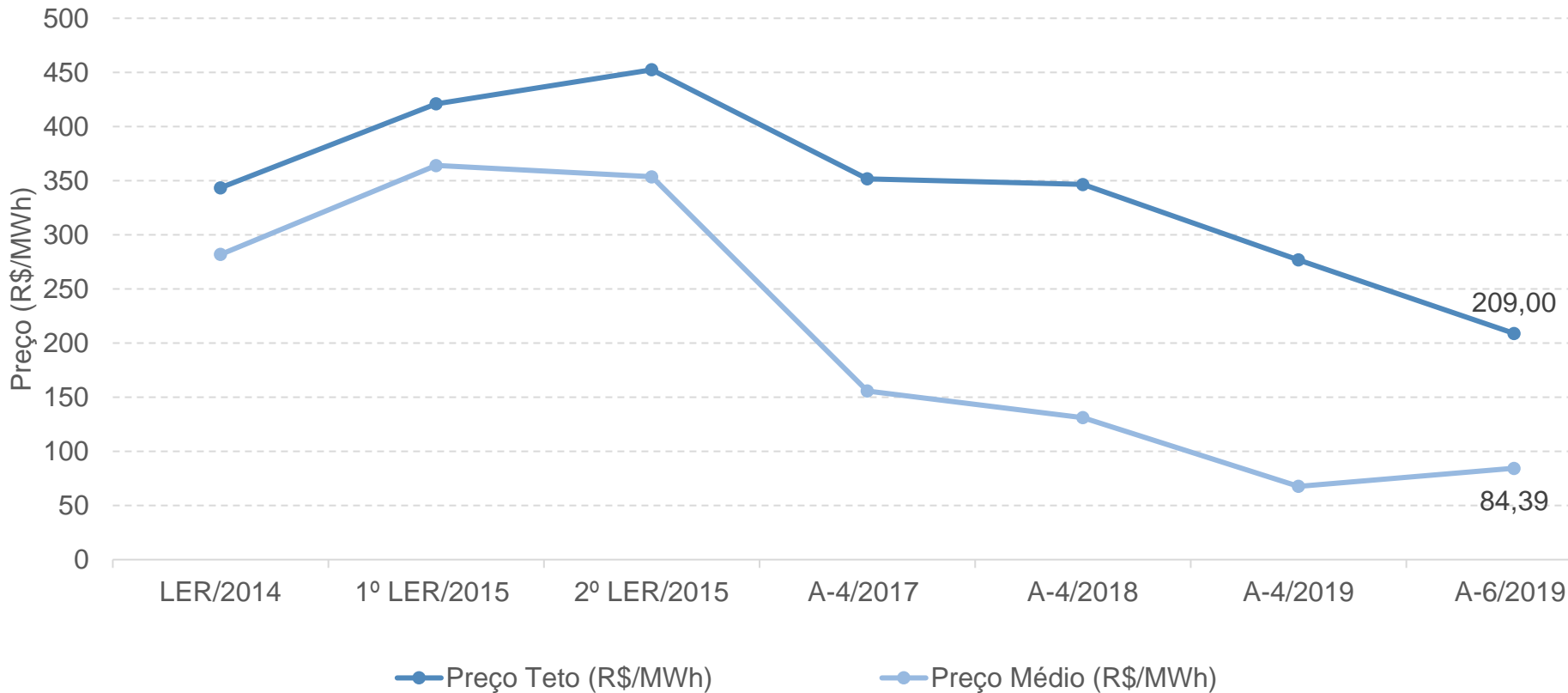
Previsão da Expansão da Geração



Discussão

Preços

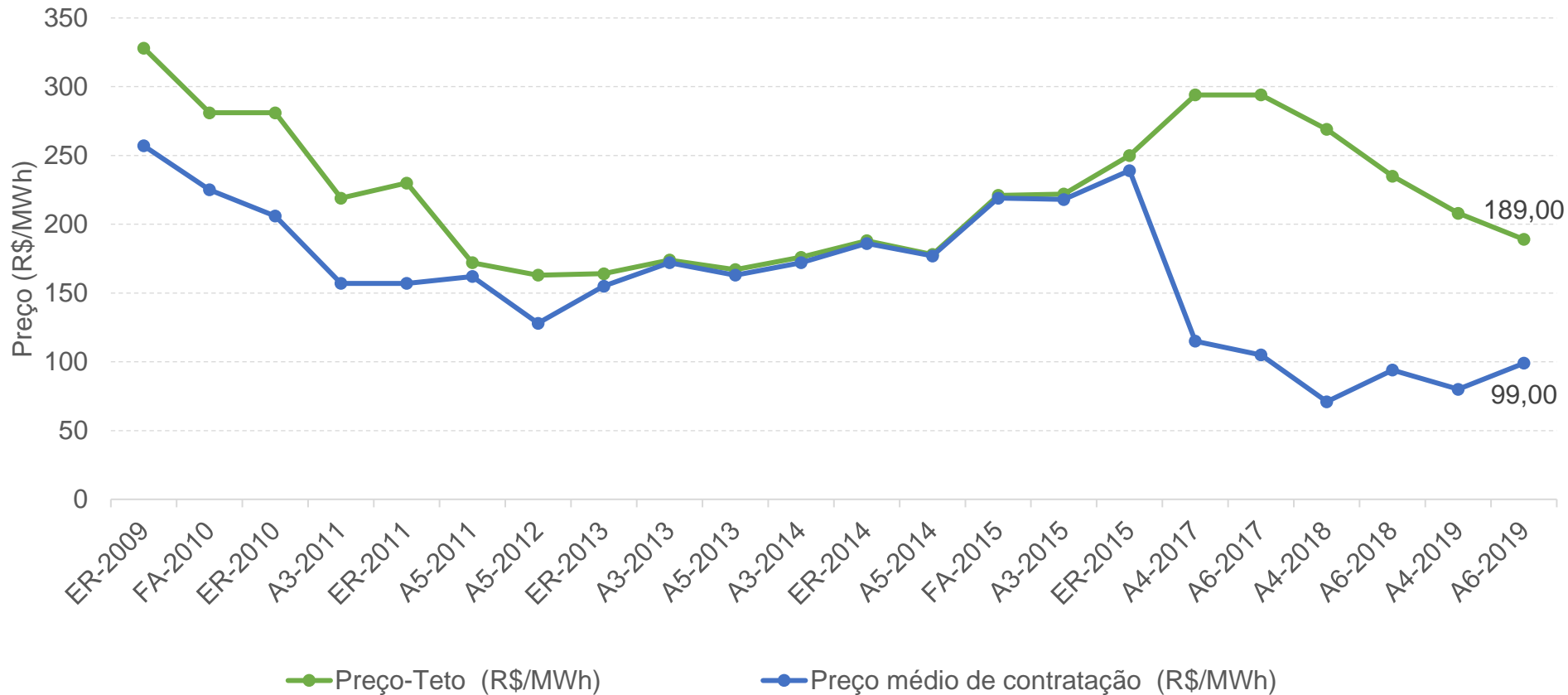
Solar



Discussão

Preços

Eólica



Discussão

Preços

Como definir o preço da energia?



$$VPL = -I + \sum_{t=1}^N \frac{FC_t}{(1+r)^t}$$

Para serviços públicos

LCOE ou ICB

Para Geradores

Tipo de Oferta	Faixas de CAPEX, mín e máx [R\$/kW]	CAPEX Referência, sem JDC [R\$/kW]	O&M [R\$/kW/ano]	Encargos/Impostos [R\$/kW/ano]	CVU [R\$/MWh]
Armazenamento – Baterias	5.000 a 9.800	6.200	60	270	-
Biogás –Resíduo sucroenergético	3.000 a 10.000	8.000	480	205	-
Biomassa – Bagaço de Cana (1)	2.000 a 5.500	3.000	90	140	-
Biomassa – Bagaço de Cana (2)		4.000	90	145	-
Biomassa – Bagaço de Cana (3)		5.000	90	155	-
Biomassa – Cavaco de Madeira	4.000 a 8.000	6.000	120	170	200
Carvão Nacional	8.000 a 13.500	10.300	160	595	130
Eólica Onshore (1)	3.200 a 5.500	3.800	90	145	-
Eólica Onshore (2)		4.200	90	150	-
Eólica Onshore (3)		4.500	90	150	-
Eólica Onshore (4)		5.000	90	155	-
Eólica Offshore	9.800 a 18.600	10.300	360	415	-
Gás Natural (Ciclo Combinado) 100% Flexível	3.400 a 5.900 (apenas a UTE)	4.300	80 (UTE) + 80 (Regas)	250	385
Gás Natural (Ciclo Combinado) 30% Inflexível (Sazonal)	3.400 a 5.900 (apenas a UTE)	4.300	80 (UTE) + 80 (Regas)	250	303
Gás Natural (Ciclo Aberto) 100% Flexível	2.900 a 4.700	3.600	80 (UTE)	220	600
Gás Natural – Nacional (C Comb.) 30% a 70% Inflexível (Flat)	3.400 a 5.900 (apenas a UTE)	5.300	150	280	259
Gás Natural – Nacional (C Comb.) 100% Inflexível (Flat)	3.400 a 5.900 (apenas a UTE)	5.300	150	280	215
Hidrelétricas	Variável (Tabela 3-3)	Variável (Tabela 3-3)	30 a 50	480 a 700	-
Hidrelétricas Reversíveis	2.400 a 12.000	6.500	70	330	-
Nuclear	22.000 a 29.400	25.800	520	660	47
PCH (1)	3.500 a 11.500	6.000	90	140	-
PCH (2)		8.000	90	150	-
PCH (3)		11.000	90	180	-
RSU (Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos)	14.500 a 27.000	23.000	920	845	-
Solar Fotovoltaica (1)	2.500 a 5.000	2.800	50	130	-
Solar Fotovoltaica (2)		3.300	50	135	-
Solar Fotovoltaica (3)		3.800	50	140	-
Solar Fotovoltaica (4)		4.500	50	145	-
Fotovoltaica Flutuante	3.800 a 6.500	5.000	65	150	-
Modernização UHE	1.150 a 2.250	-	50	300	-
Resposta da Demanda	-	-	39 – 151	5	464 – 1.824

Considerações Finais

1. Geração Distribuída a GN: adiamento de investimentos em ampliação de capacidade de redes elétricas
 2. A integração pode acelerar os investimentos em eólicas offshore e exploração de GN offshore
 3. Teoricamente a visão integrada já existe no âmbito da CNPE e MME
 4. Publicações oficiais já tratam dessa integração: Balanço Energético Nacional
 5. Nova Lei do Gás: Lei nº 14.134/2021
 6. Novo Mercado de Gás
-



Gabriel Nascimento
Companhia Maranhense de Gás (GASMAR)
Gerente de Operação e Manutenção
(98) 9 9123 6092