

# Workshop CPAMP/GT-Metodologia

## Atividades do Ciclo 2020/2021

*GT METODOLOGIA*  
*27/01/2021*

Coordenação: CCEE

Assessoria Técnica:



# Agenda

1. **Cronograma das atividades do ciclo 2020/2021 e Consulta Pública**
2. **Apresentações dos temas priorizados**
  - **SG Taxa de Desconto**
  - **SG Volume Mínimo Operativo**
  - **SG Elevação do Armazenamento**


# Agenda

1. **Cronograma das atividades do ciclo 2020/2021 e Consulta Pública**
2. Apresentações dos temas priorizados
  - SG Taxa de Desconto
  - SG Volume Mínimo Operativo
  - SG Elevação do Armazenamento

# 1. Cronograma de atividades do ciclo 2020/2021 e Consulta Pública nº 103

- Cronogramas completos disponíveis em:

<http://antigo.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cnpe/cpamp>

CRONOGRAMAS	
 Cronograma de Trabalho do GT Governança da CPAMP 2019	<a href="#">DOWNLOAD</a>
 Cronograma de Trabalho da CPAMP Ciclo 2019/2020	<a href="#">DOWNLOAD</a>
 Cronograma de Trabalho da CPAMP Ciclo 2020/2021	<a href="#">DOWNLOAD</a> ←
 Cronograma de Trabalho da CPAMP Ciclo 2020/2021 - Resumo	<a href="#">DOWNLOAD</a> ←

- Atividades do GT Metodologia/CPAMP - Temas do ciclo 2019/2020

Consulta Pública MME Nº 103 aberta de **13/01/2021 a 22/02/2021** para contribuição, disponível em:

<http://antigo.mme.gov.br/web/guest/servicos/consultas-publicas> ←

- **Volatilidade do PLD:** Não considerar a ENA como variável de estado;
- **Geração de Cenários:** Cenários de afluência que preservem por um período de tempo maior a condição hidrológica atual;
- **Produtibilidade:** Representação do rendimento e das perdas hidráulicas variáveis na Função de Produção.



# 1. Cronograma de atividades do ciclo 2020/2021 (incluindo atividades bianuais)

## Avaliações e Testes Metodológicos

Temas	Ago/20	Set/20	Out/20	Nov/20	Dez/20	Jan/21	Fev/21	Mar/21	Abr/21	Mai/21	Jun/21	Jul/21
Ciclo 19/20												
Ciclo 20/21												
Ciclo 20/22												

## Validações de versões

Temas	Ago/20	Set/20	Out/20	Nov/20	Dez/20	Jan/21	Fev/21	Mar/21	Abr/21	Mai/21	Jun/21	Jul/21
Ciclo 19/20												
Ciclo 20/21												
Ciclo 20/22												

## Consultas públicas

Temas	Ago/20	Set/20	Out/20	Nov/20	Dez/20	Jan/21	Fev/21	Mar/21	Abr/21	Mai/21	Jun/21	Jul/21
Ciclo 19/20												
Ciclo 20/21												

### Ciclo 2019/2020 (Finalização)

- Volatilidade (s/ ENA VE)
- Rep. Hidrológica
- Produtibilidade

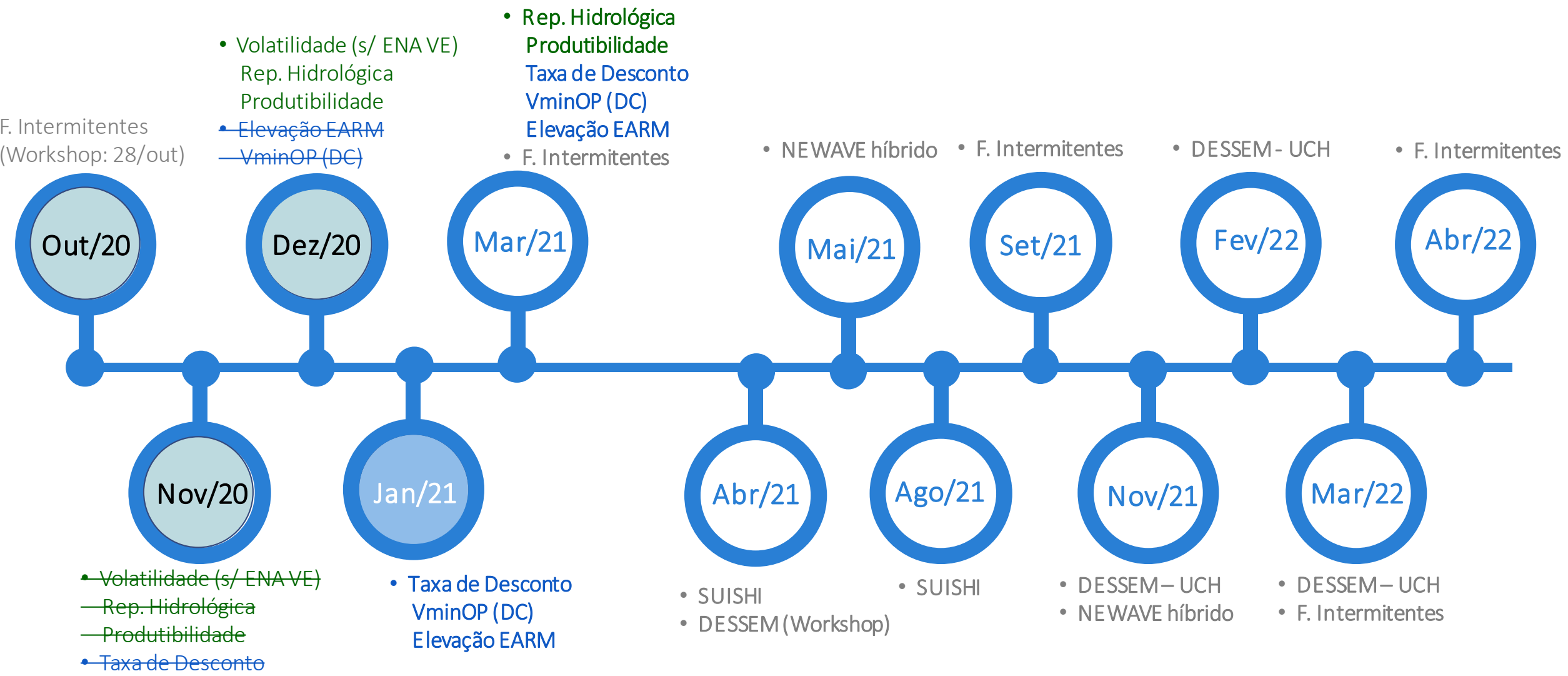
### Ciclo 2020/2021

- Taxa de desconto
- VminOP (DC)
- Elevação EARM

### Ciclo Bianual 2020/2022

- DESSEM UCH
- Fontes Intermitentes
- NW Híbrido
- SUISHI

# 1. Cronograma de atividades do ciclo 2020/2021: Encontro com os Agentes



Atividades do ciclo 2019-2020 (Finalização)  
Atividades do ciclo 2020-2021  
Atividades do ciclo bianual 2020-2022

# Agenda

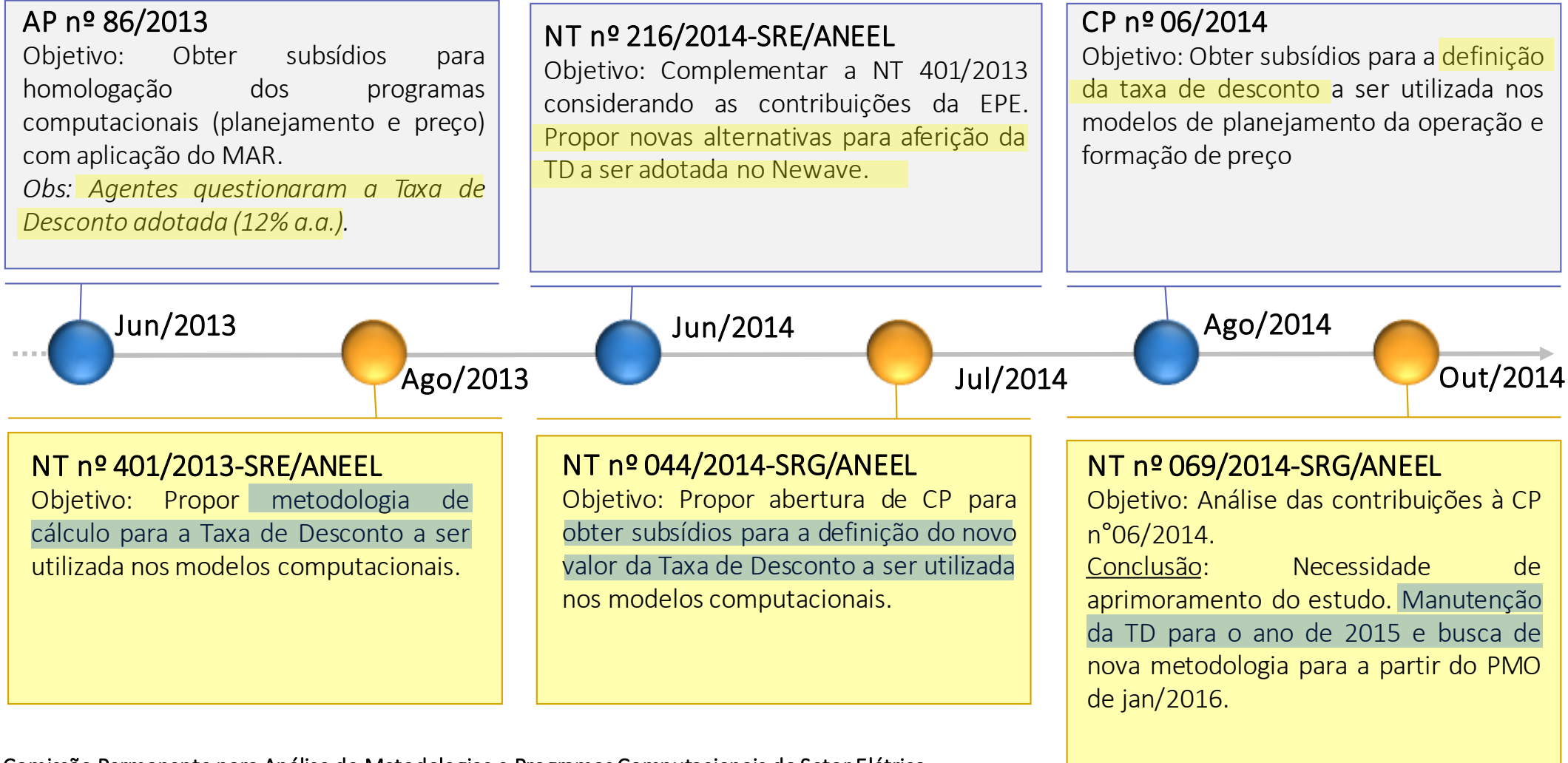
1. Cronograma das atividades do ciclo 2020/2021 e Consulta Pública
2. **Apresentações dos temas priorizados**
  - **SG Taxa de Desconto**
  - **SG Volume Mínimo Operativo**
  - **SG Elevação do Armazenamento**

# Revisão da Taxa de desconto nos modelos

Assessoria Técnica:



# Histórico Regulatório - ANEEL



# Audiência Pública

## nº 86/2013

### ANEEL

Não é adequada a utilização de uma taxa de retorno de ativos, o que implica descartar modelos de precificação do custo de capital;

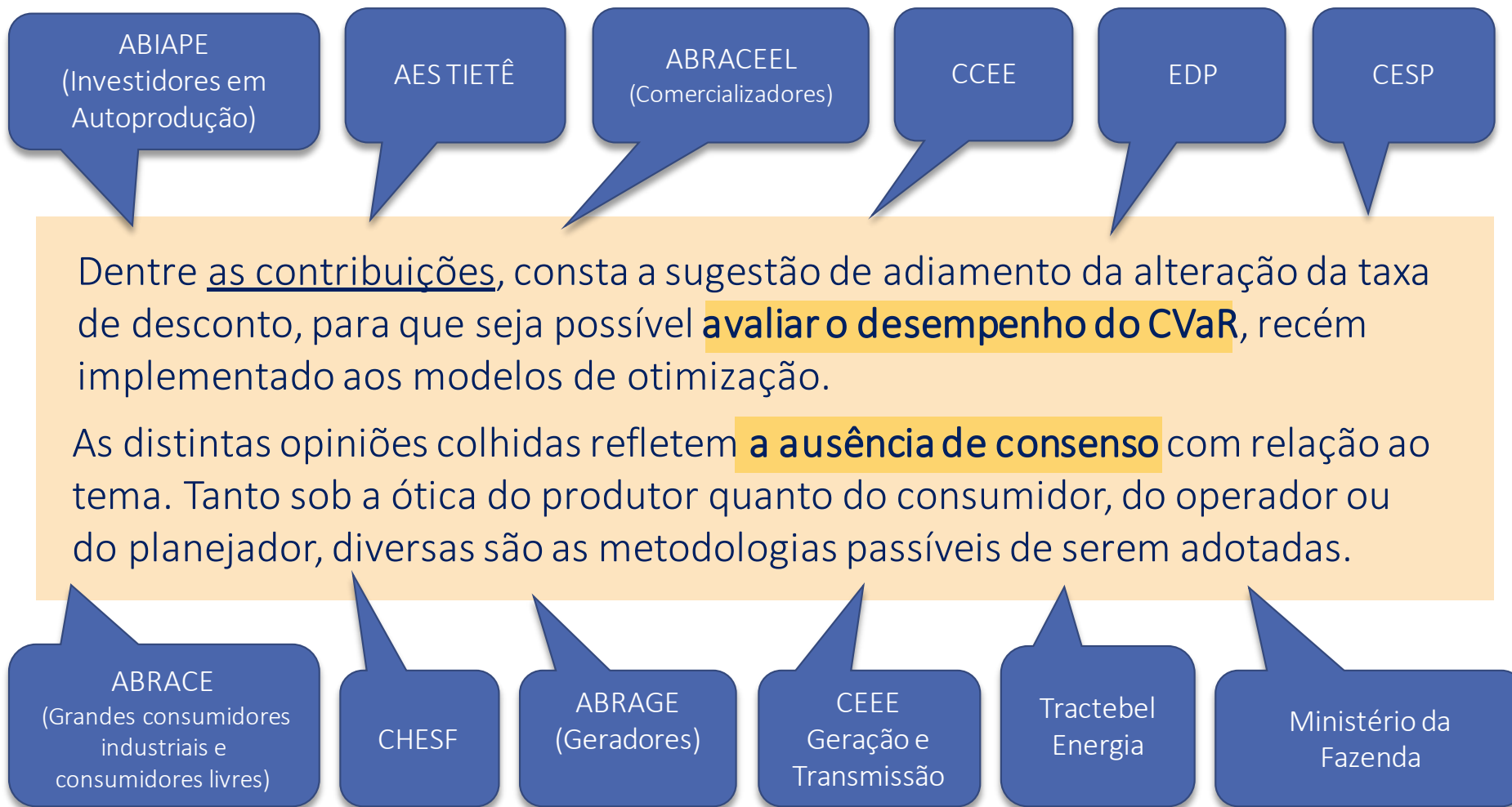
O mais apropriado é uma taxa de juros que reflita o prêmio de liquidez vis-à-vis o custo de carregamento da moeda. Ou seja, **taxas de juros referenciais prefixadas de títulos públicos, com prazo de vencimento equivalente ao prazo de projeção da função custo futuro utilizada no modelo.**

Sugerida a utilização das taxas reais contidas nas *Notas do Tesouro Nacional (NTN-B Principal)*, com vencimento em 5 anos.

Para eliminar fatores conjunturais presentes na taxa mais recente, propõe-se a utilização da média aritmética dos retornos reais oferecidos pelo título.

# Consulta Pública nº 06/2014 – ANEEL

Nota Técnica nº 069/2014-SRG/ANEEL







# Reavaliação do tema

## Conceito Econômico

A taxa de desconto quantifica a referência intertemporal de consumo.



Conceito muito vinculado com a capacidade de poupar

### Taxa de Desconto Alta

taxa juros BAIXA

consumir mais

poupar menos

### Taxa de Desconto Baixa

taxa juros ALTA

consumir menos

poupar mais

# Reavaliação do tema

## Conceito Modelos

No mercado de energia elétrica há a questão da essencialidade da energia como insumo e também a questão da incapacidade de estocagem da energia elétrica

Na operação podemos **estocar energia em reservatórios** e escolher quando usar esse armazenamento no lugar de fontes mais caras, mas

A carga deve “**sempre**” ser atendida

Pode-se trabalhar com eventual antecipação/postergação de geração térmica

Contudo, quando se trata do **planejamento** de investimento na capacidade de produção (**e não na produção em si**) temos novamente a opção de antecipar ou postergar os investimentos na capacidade de geração e transmissão



# Sensibilidades do efeito da taxa de desconto no NEWAVE

Assessoria Técnica:



MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

 **ANEEL**  
AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA



**ccee**

**ONS**

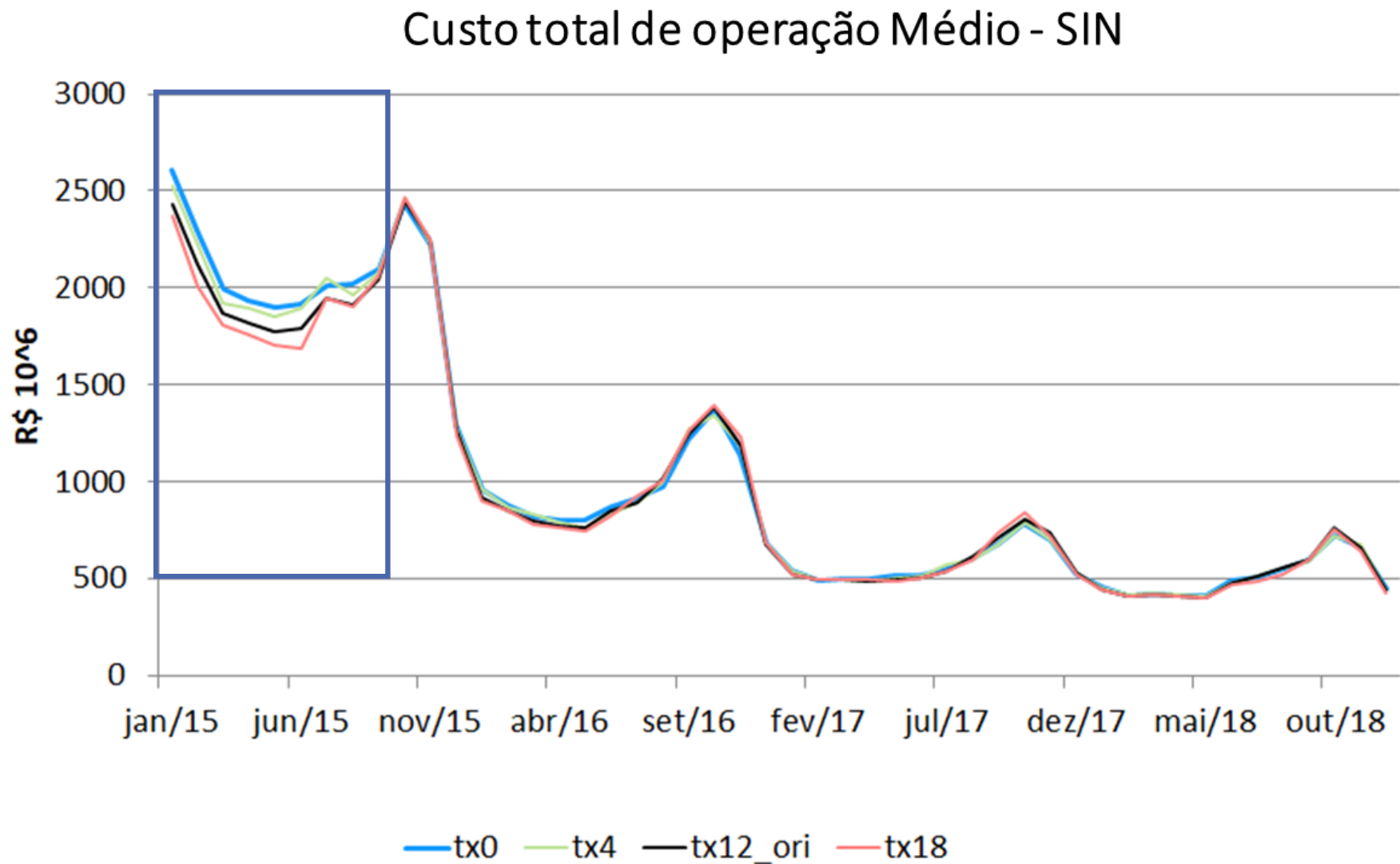
 **epe**

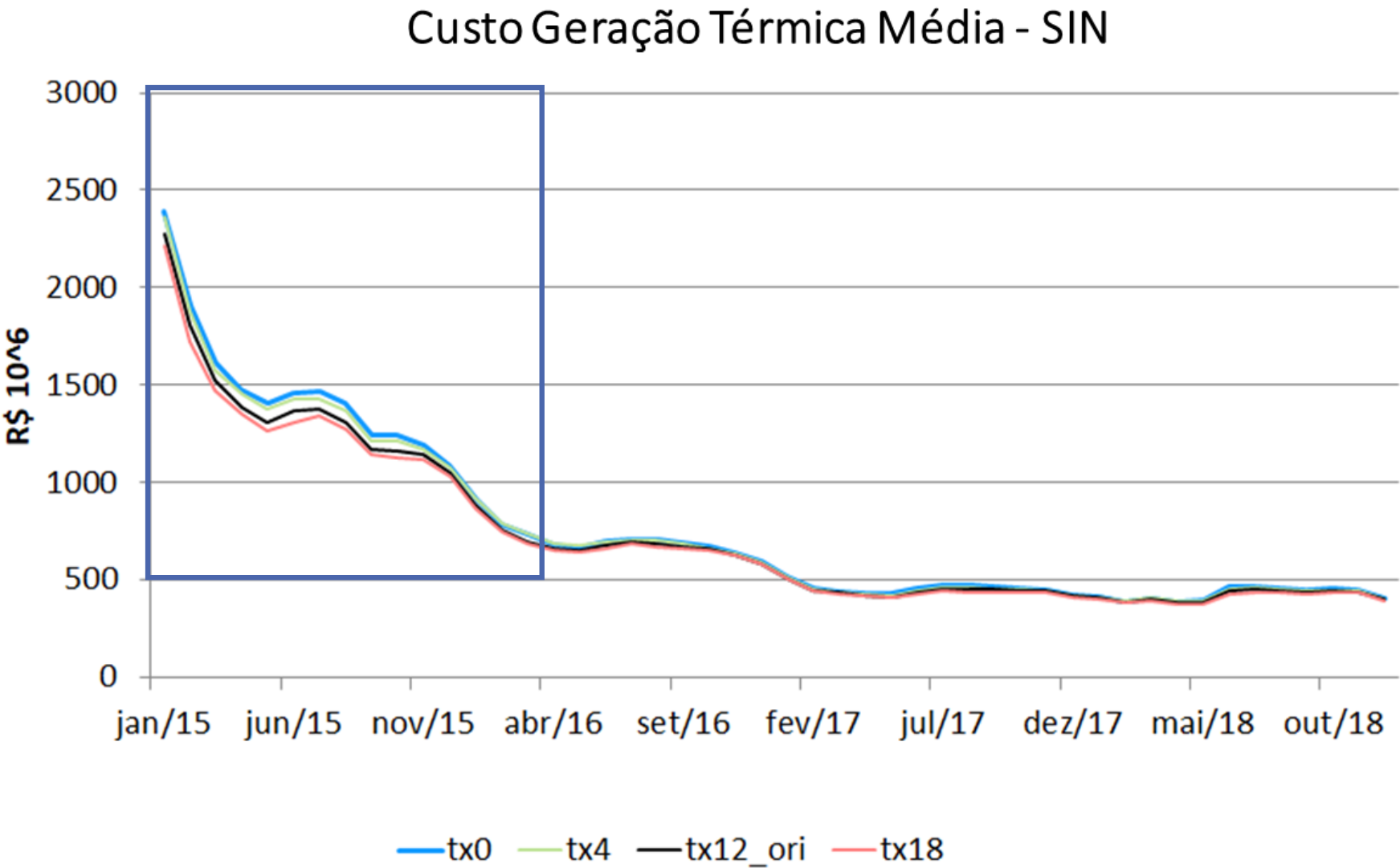
# Efeito ilustrativo da variação da taxa de desconto

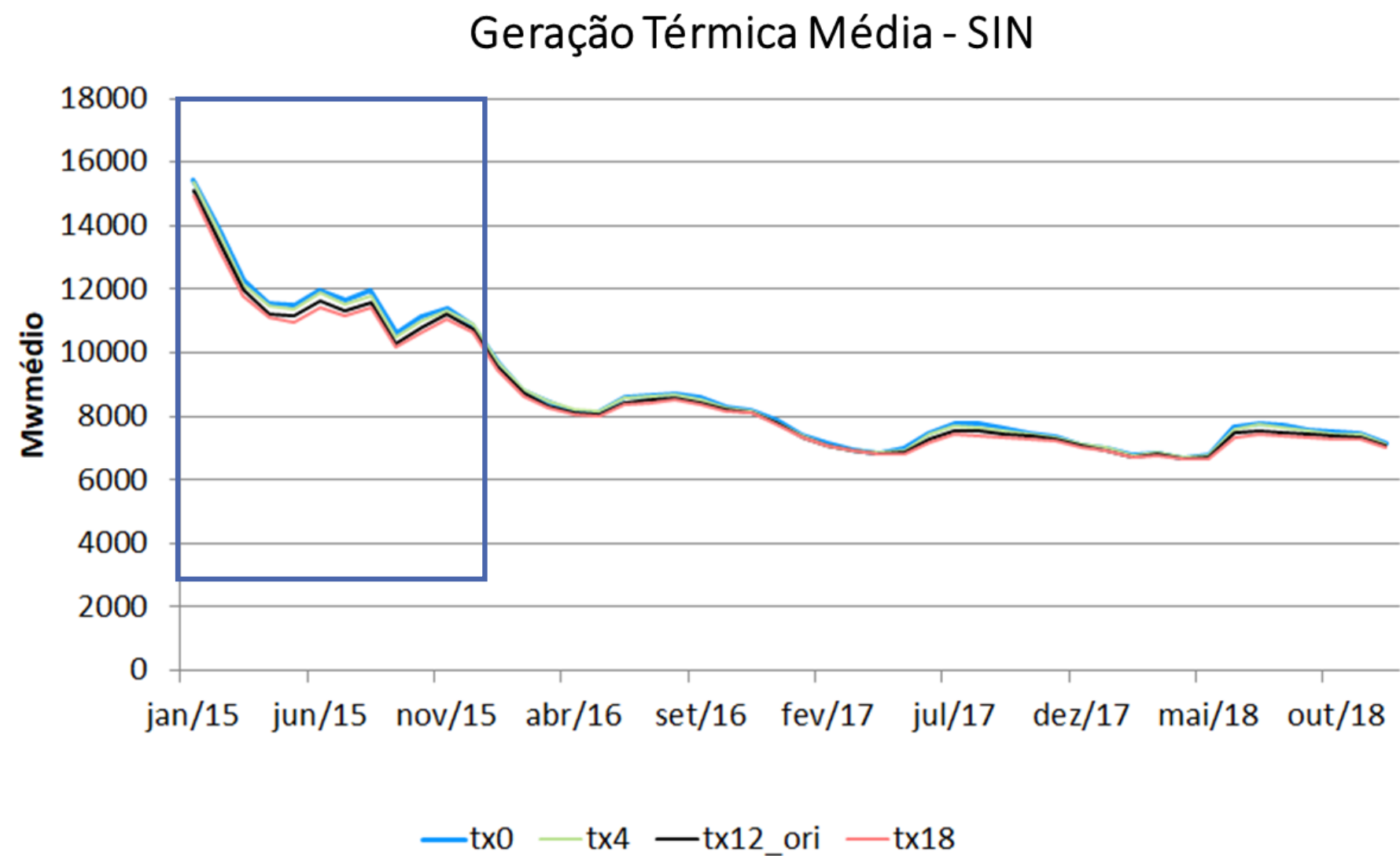
## Simulação da Operação

Pra verificar o efeito da taxa de desconto na operação foi feita uma simulação do **PMO 01/2015** com **CVaR oficial** (50,35).

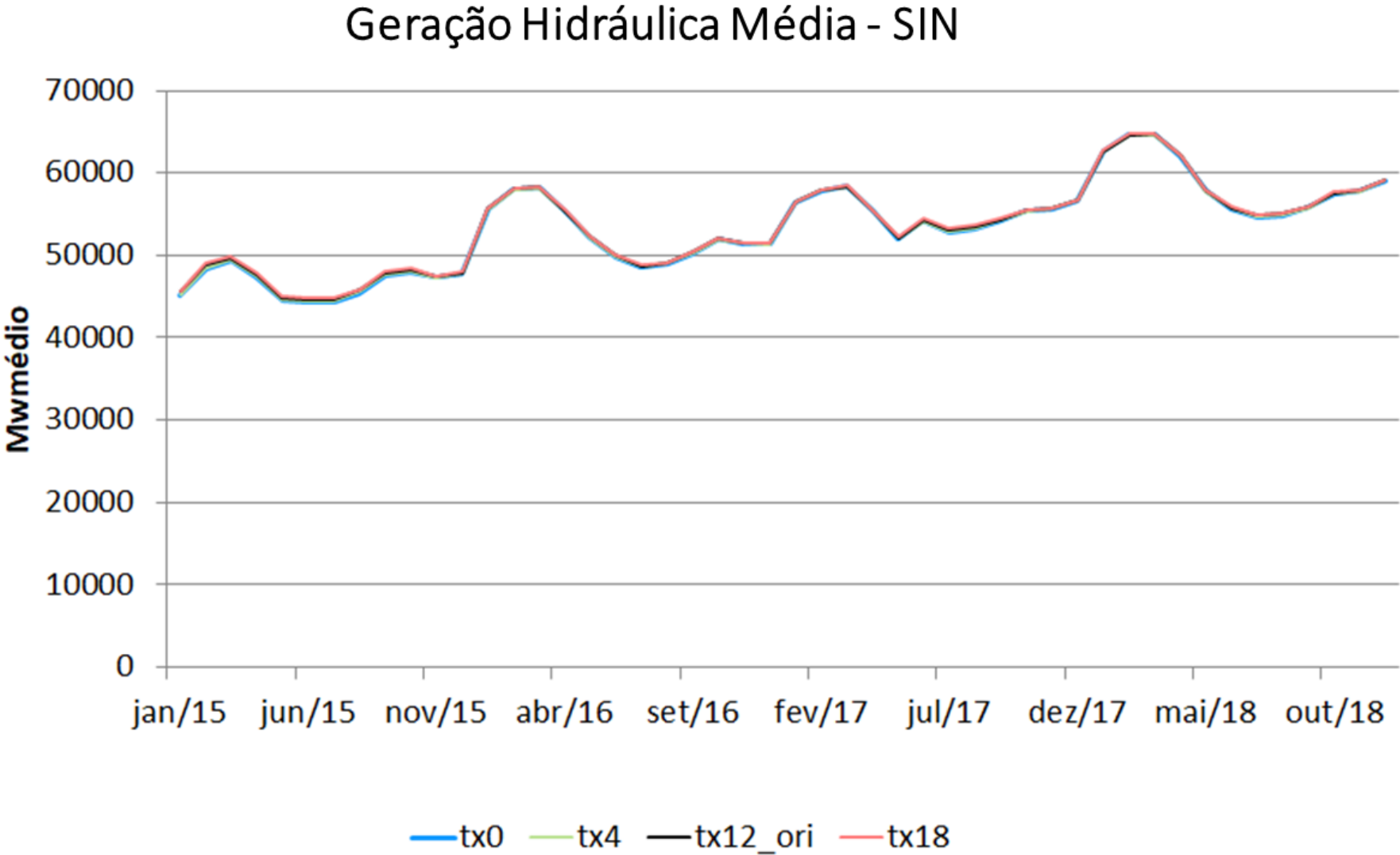
Esse caso foi simulado com a **taxa de desconto** original (**12%**) e três alternativas: **0%, 4% e 18%**.





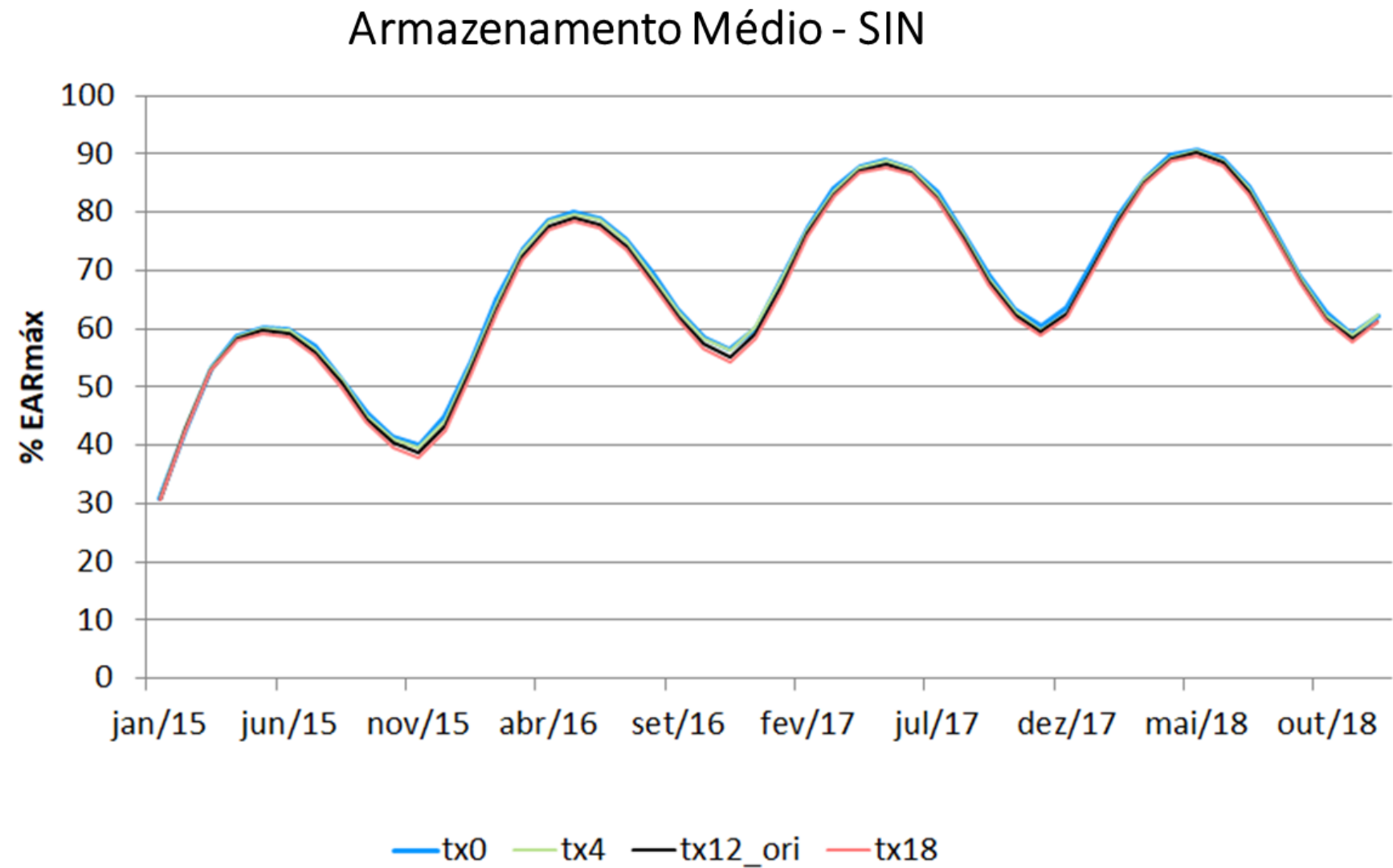


# Média do SIN – PMO 01/2015

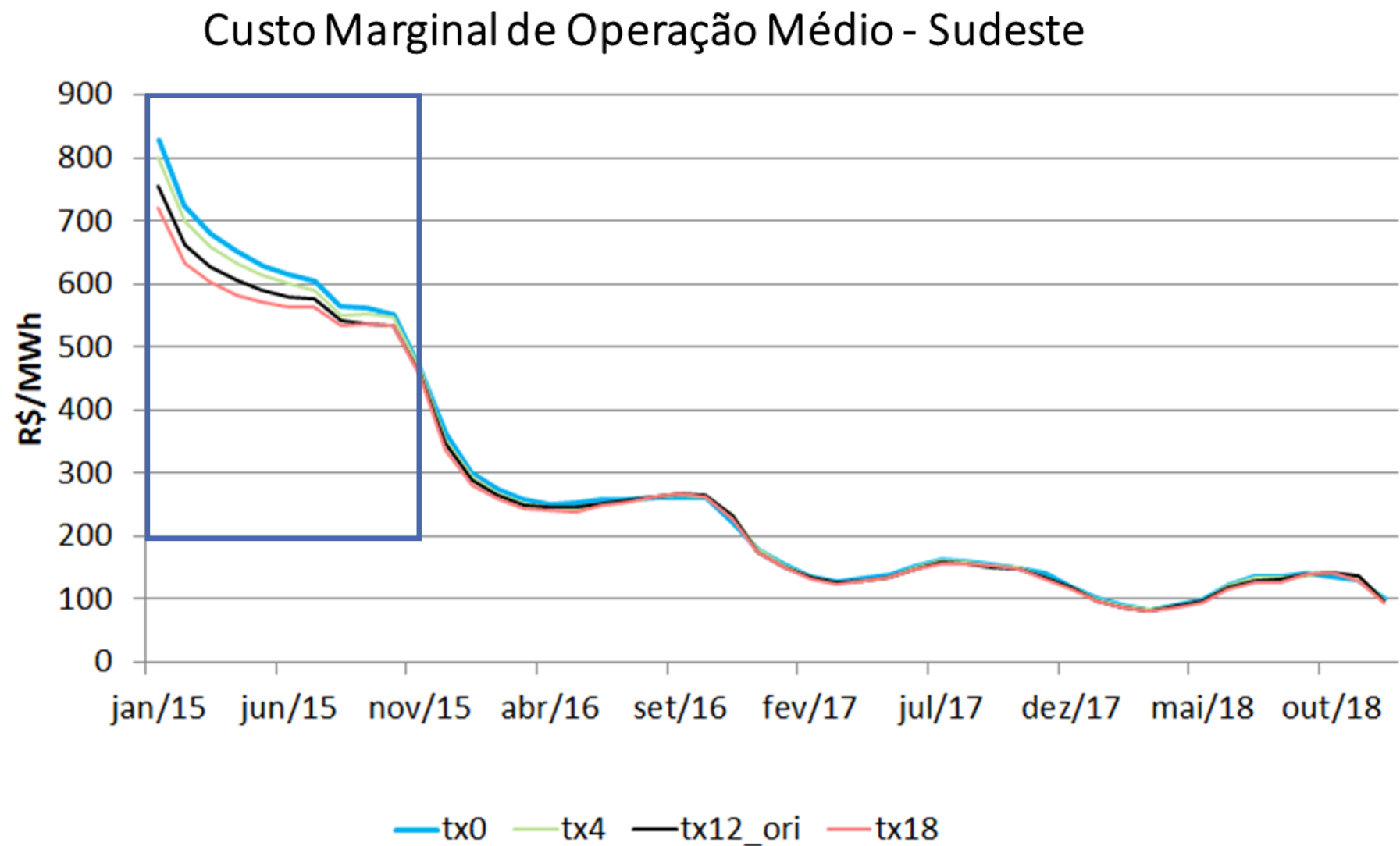




# Média do SIN – PMO 01/2015



# Média do Submercado Sudeste – PMO 01/2015



# Efeito ilustrativo da variação da taxa de desconto

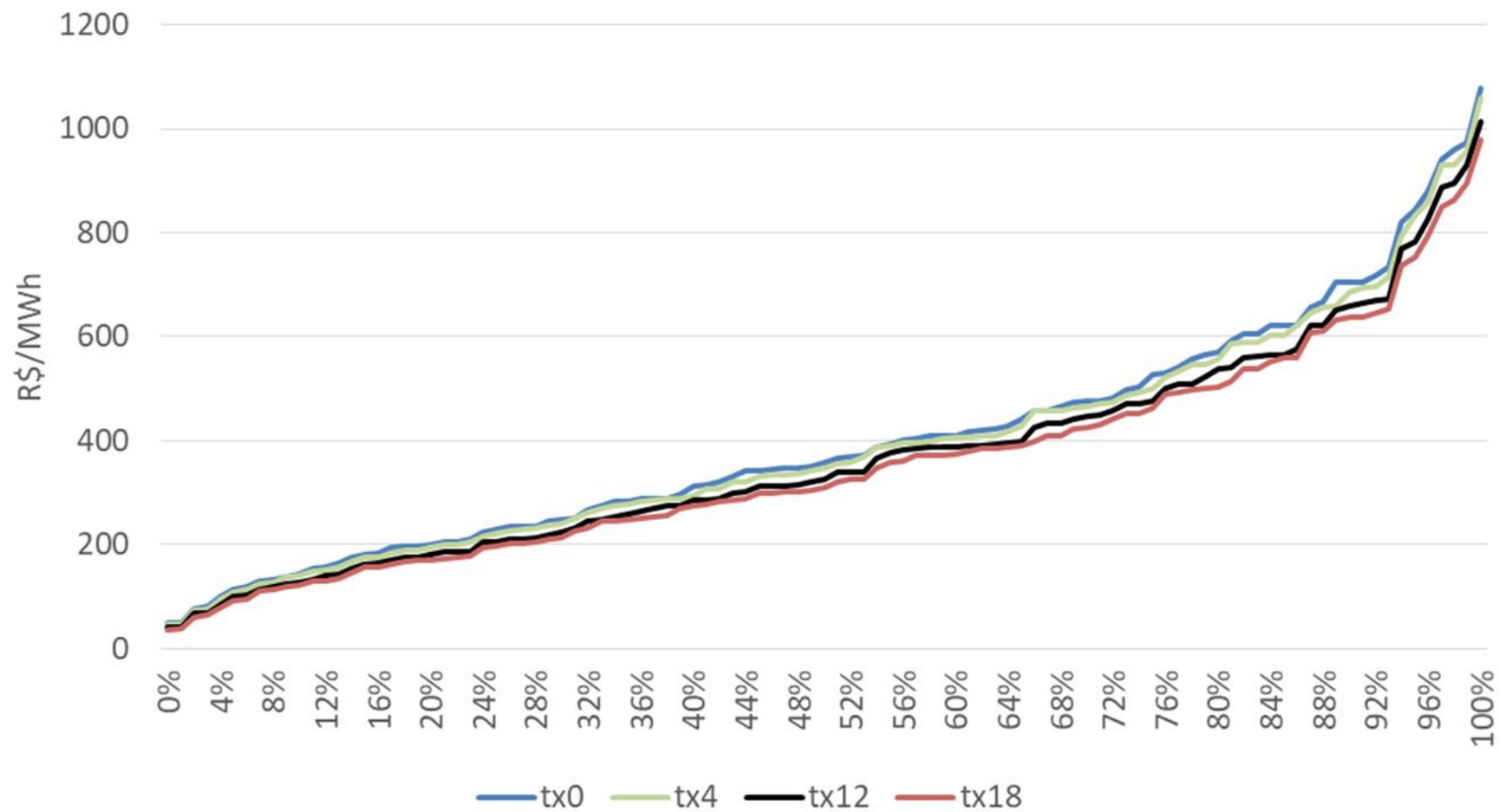
## Simulação da Operação

Pra verificar o efeito da taxa de desconto na operação foi feita uma simulação do **PMO 01/2015 neutro a risco**.

Esse caso foi simulado com a **taxa de desconto** original (**12%**) e três alternativas: **0%, 4% e 18%**.

# Média do Submercado Sudeste – PMO 01/2015

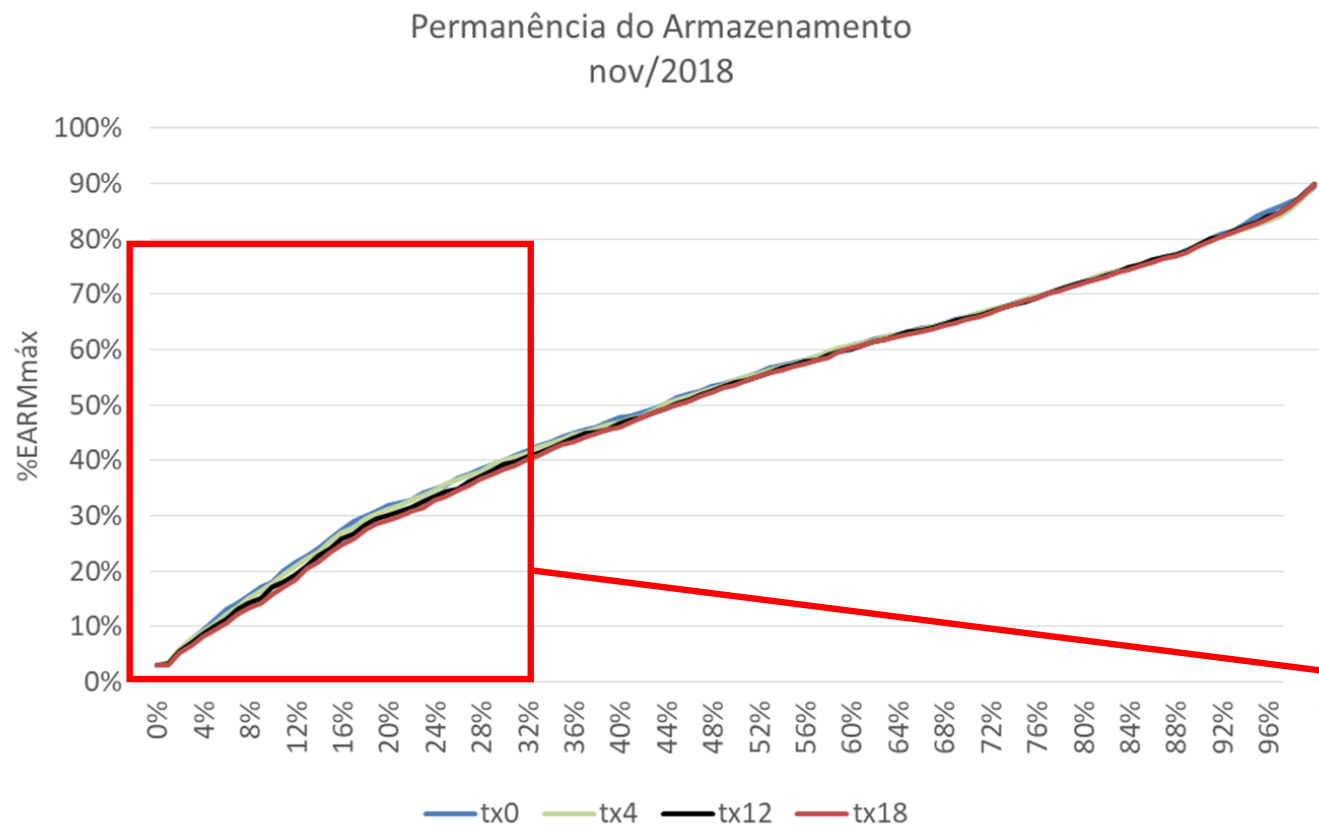
Permanência do CMO  
jan/2015



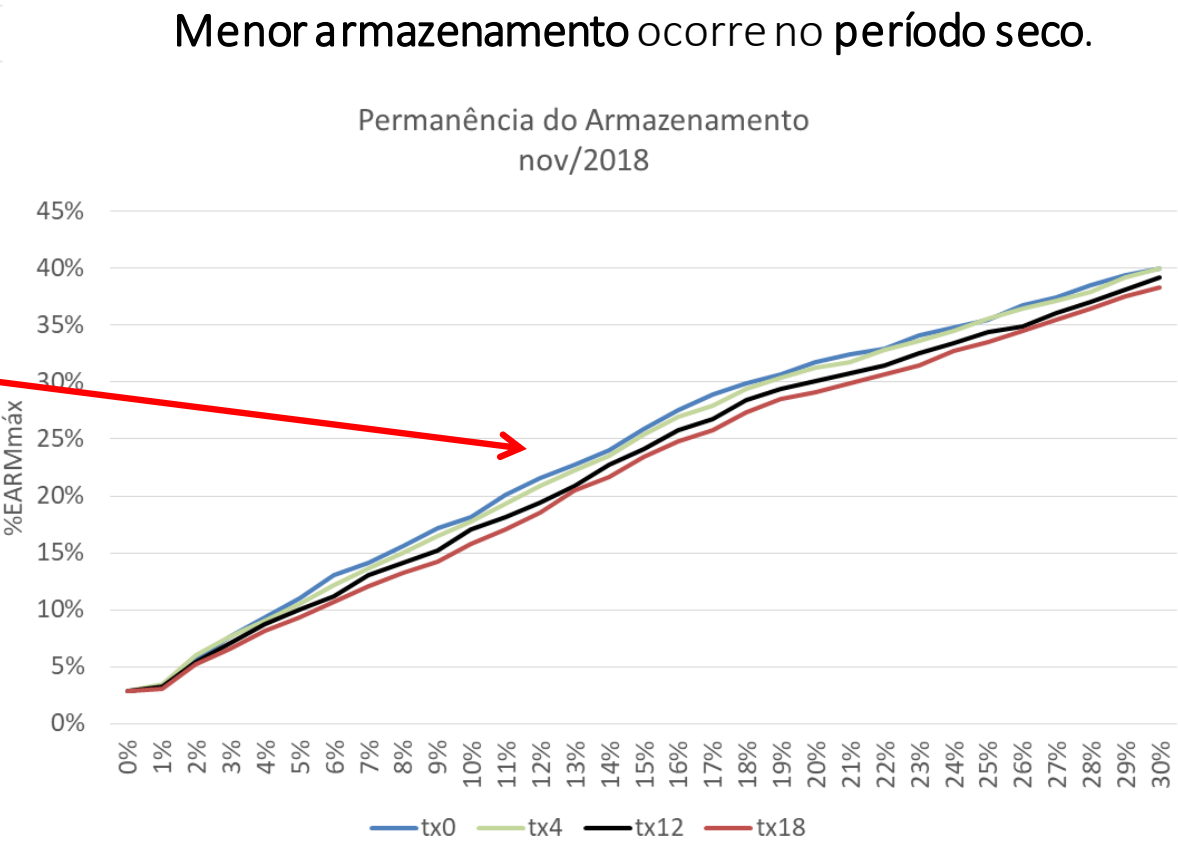
Maiores valores de CMO ocorrem no início do estudo. Daí exibindo jan/2015

Permanência do CMO SE: observa-se que a redução da taxa de desconto aumenta a probabilidade dos CMO mais elevados

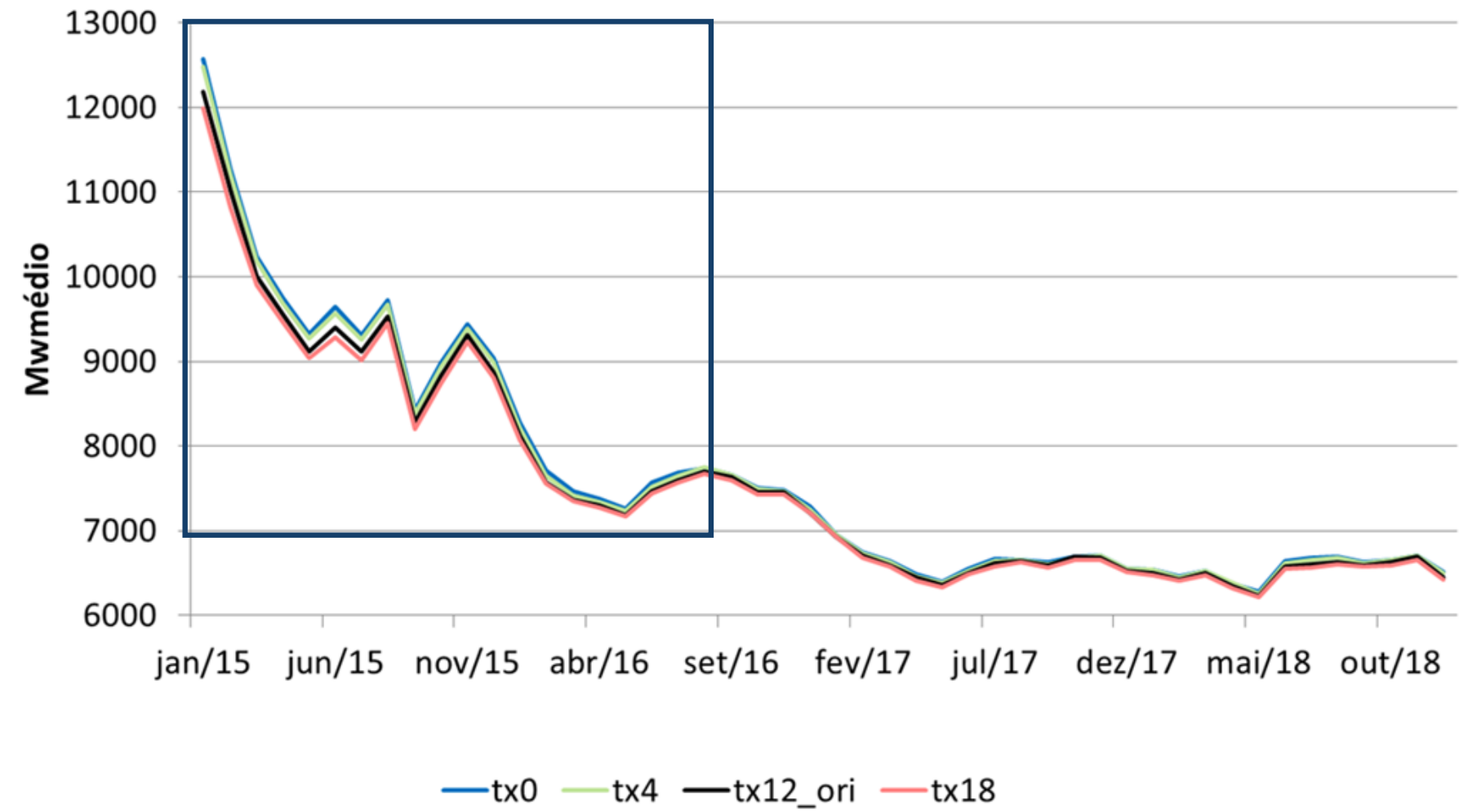
# Média do SIN – PMO 01/2015



Energia Armazenada SIN: observa-se que a **redução da taxa de desconto aumenta a probabilidade de um maior estoque** em mais de 97% dos cenários

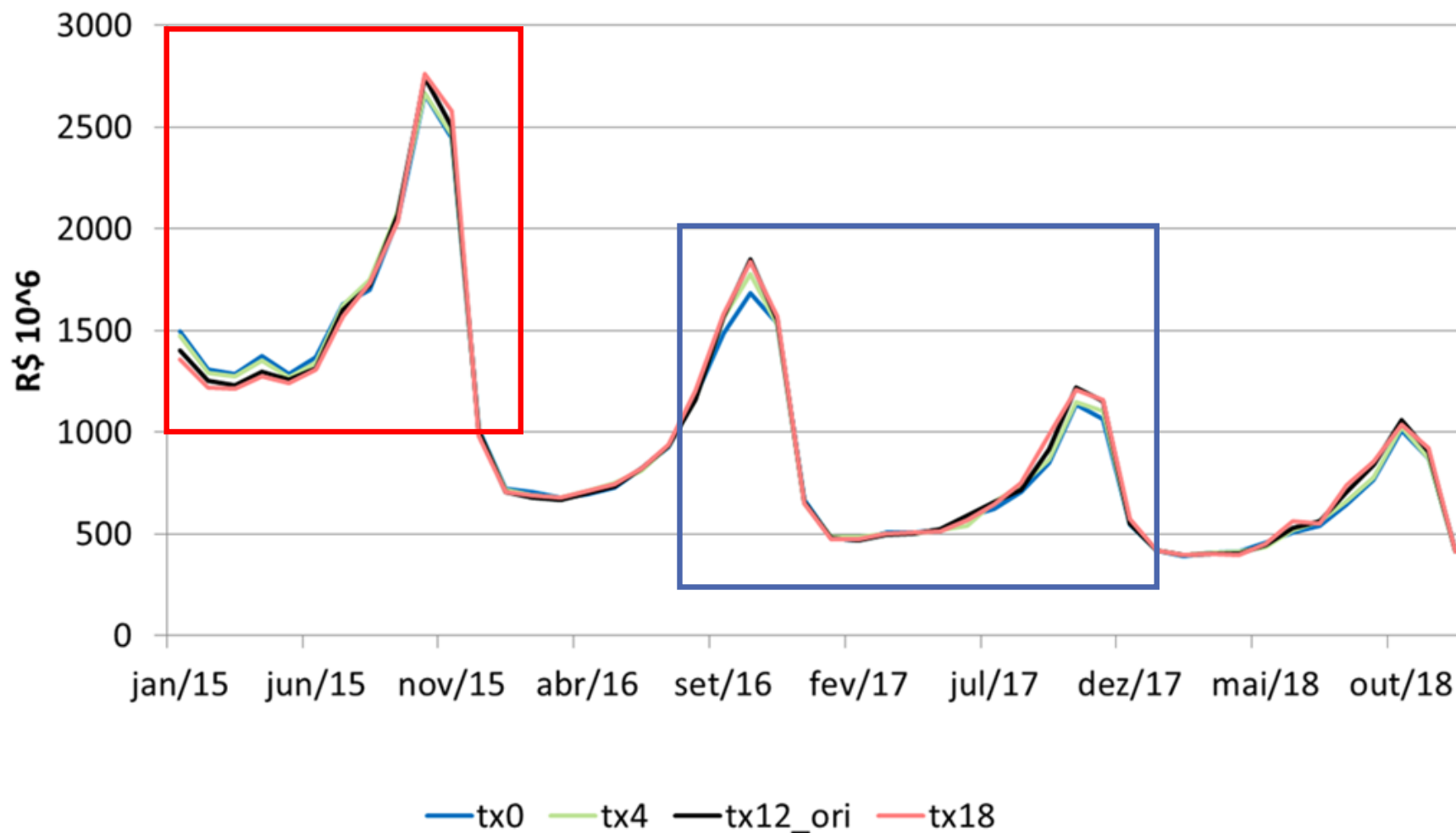


## Geração Térmica Média - SIN



O Aumento da taxa de desconto posterga/reduz a geração térmica, sobretudo nos cenários mais críticos e no início do horizonte de estudo

## Custo Total de Operação Médio - SIN



Observa-se um **aumento** do custo de operação em decorrência de um aumento do despacho térmico no início do horizonte (e redução no restante).

# Efeito ilustrativo da variação da taxa de desconto

Considerando as **execuções com e sem CVaR**, percebe-se um efeito de **postergação do despacho térmico** conforme se **aumenta** o valor da **taxa de desconto** aplicada ao modelo.

Percebe-se um **efeito indireto na aversão ao risco** do modelo.



# Análise conceitual da taxa de desconto na Operação

Assessoria Técnica:



# Taxa de Desconto na Operação

- **Introdução**

- A **operação** de um sistema hidrotérmico com reservatórios de acumulação busca **otimizar o uso do estoque de água** (energia potencial) **decidindo** a cada momento o quanto **poupar** ou **consumir** esse recurso escasso e de oferta incerta
- Quanto **maior a taxa de desconto**, **menor o valor** presente da poupança de **água** e, portanto, maior a atratividade em utilizá-la de imediato.

## Taxa de Desconto na Operação

Para mostrar que a aplicação da **taxa de desconto atua no sentido de postergação do despacho térmico**:

No NEWAVE a **função de custo futuro** (FCF) informa o custo de operação do próximo estágio (mês) em função do estado hidro-energético do sistema.

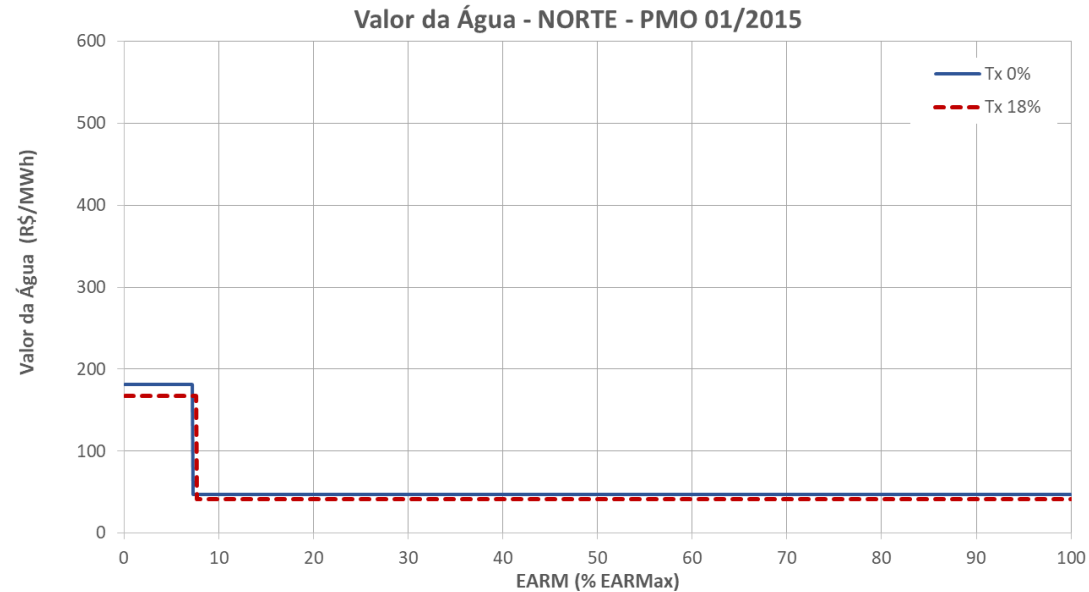
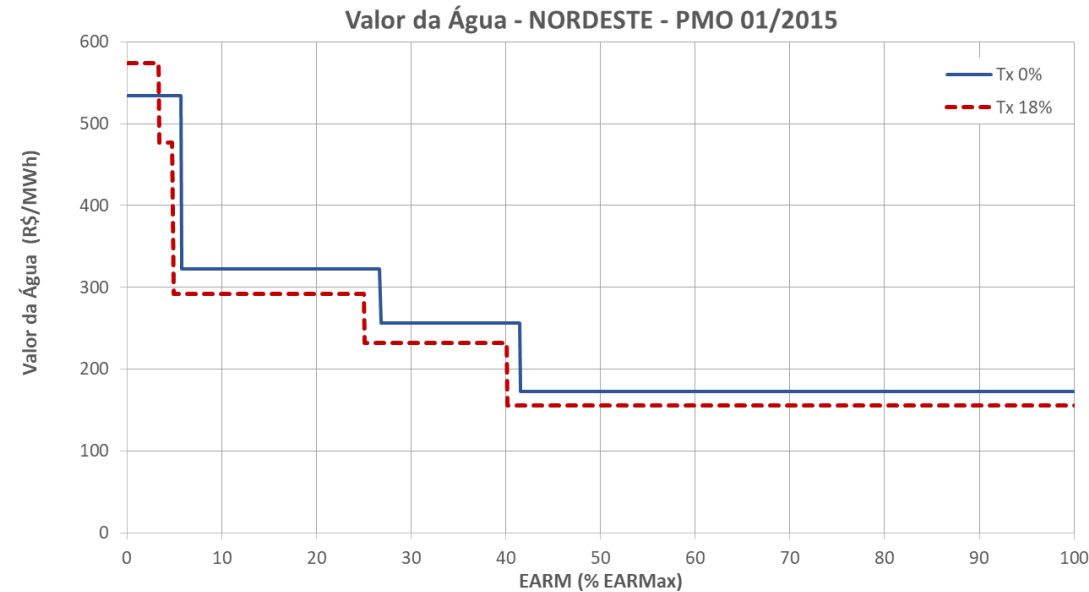
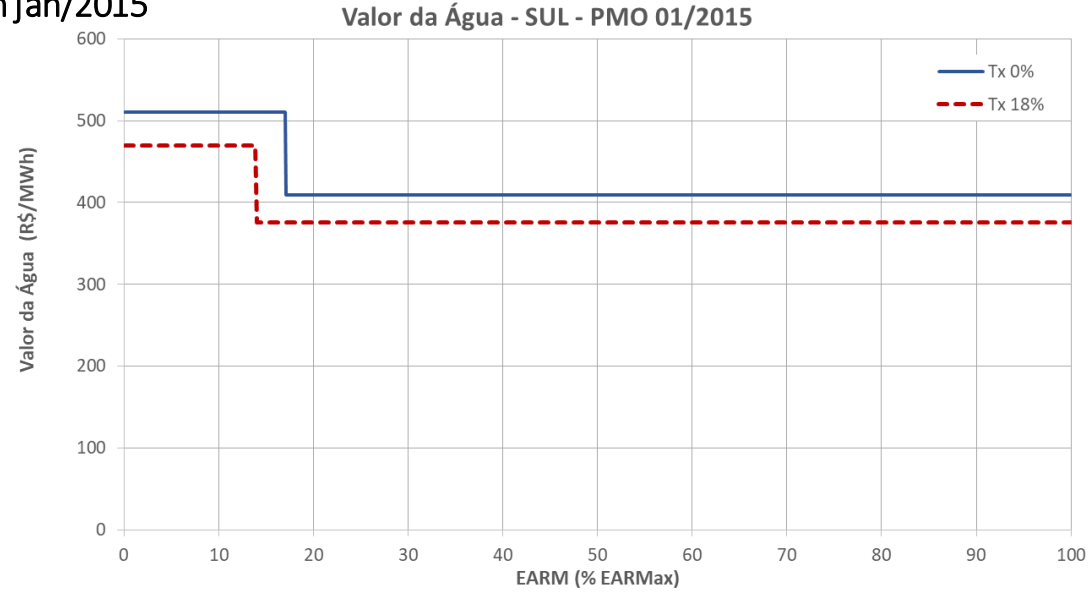
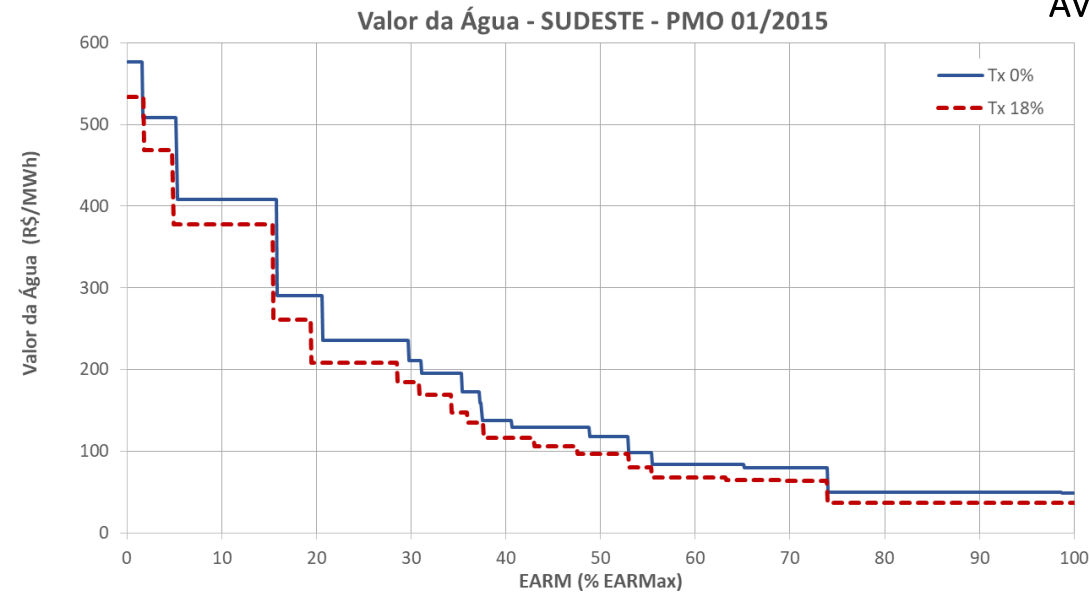
Nesse estudo, feito com o auxílio do **NEWDESP**, **fixamos** os estados de **todas as dimensões da FCF, exceto o do volume** de cada subsistema, que foi então variado de 0 a 100%.

O estudo foi feito sobre o **PMO de 01/2015 neutro ao risco**, que apresenta uma interessante **variação das condições hidrológicas**.

Foi analisada a **FCF** considerando **taxas de desconto de 0% e 18%** (para se ter um bom **contraste**).

# Efeito da taxa de desconto no valor da água

Avaliação em jan/2015



## Taxa de Desconto e efeito no Mecanismo de Aversão ao Risco

Como observado, a aplicação de **taxas de desconto positivas** reduz o valor da água, e, em consequência, há um impacto na aversão ao risco.

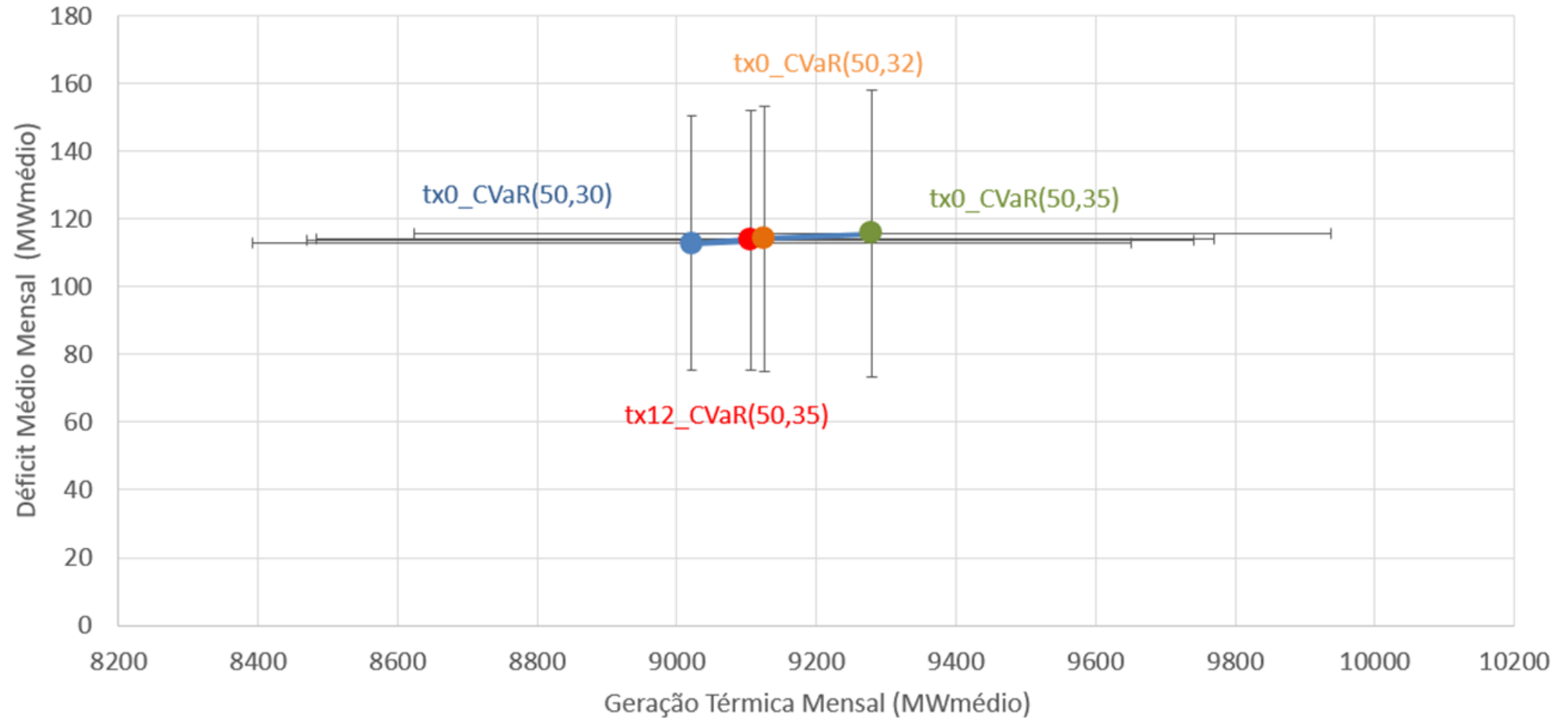
Portanto, seria interessante **verificar** se poderia existir uma **nova parametrização do CVaR, para uma taxa de desconto** da operação reduzida a 0% a.a., **que tivesse uma operação equivalente à atual** (CVaR (50, 35) e taxa de desconto de 12% a.a.), ou seja, **testar uma simplificação de parâmetros**.

A **análise** foi feita inicialmente sobre o **PMO de 01/2015**, comparando os **resultados de CMO, Estoque de Água, Geração Térmica, Geração Hidro e Custo de Operação** para casos com taxa de desconto de 0% a.a. e parâmetros de CVaR (50,30), (50,32) e (50,35) com o caso com taxa de desconto de 12% a.a. e CVaR (50,35).

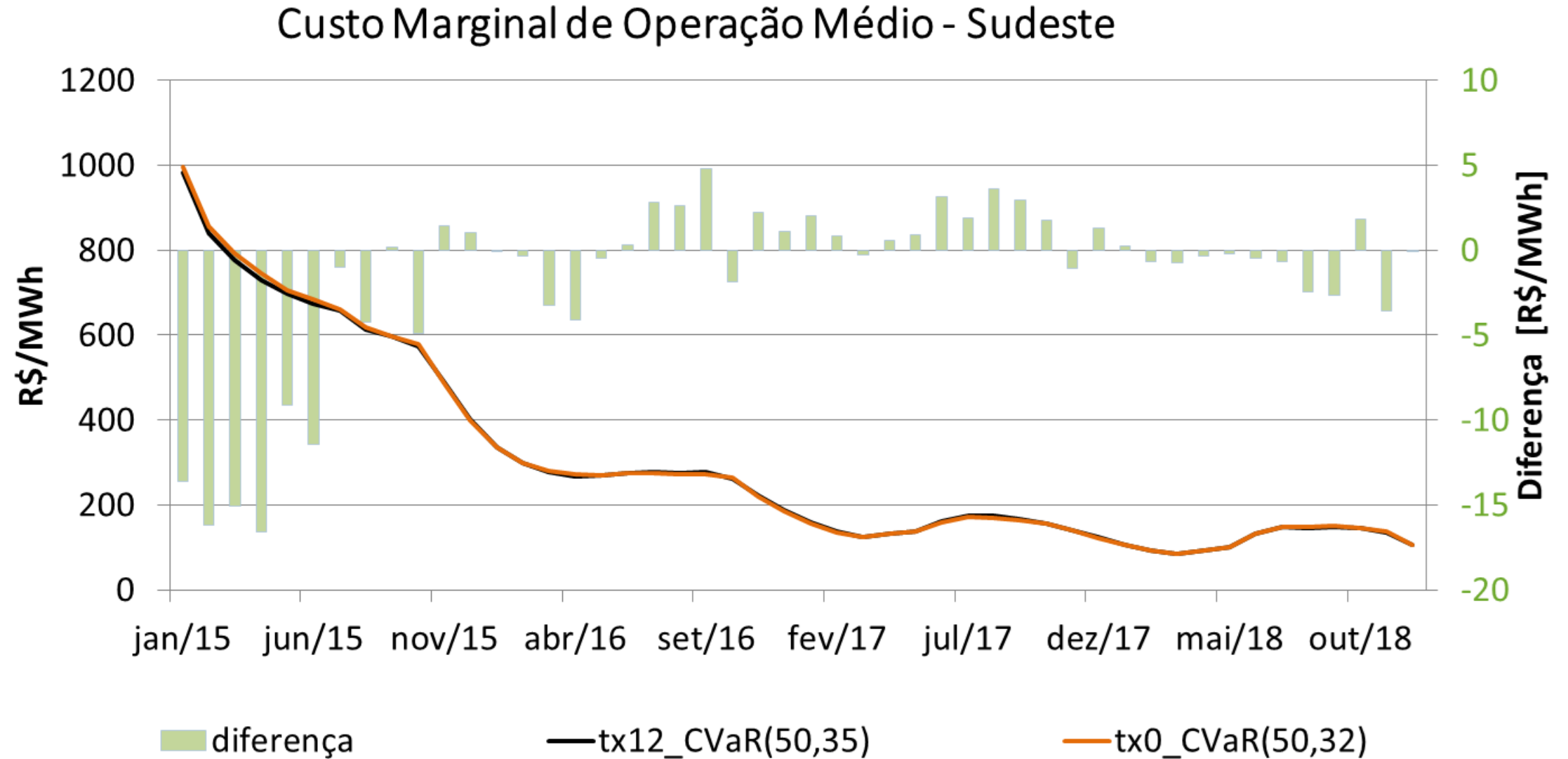
Como os **resultados** mais **aderentes** foram do **CVaR (50,32)**, somente detalharemos este resultado.

# Taxa de Desconto e efeito no Mecanismo de Aversão ao Risco

## Déficit Médio Mensal x Geração Térmica Média Mensal

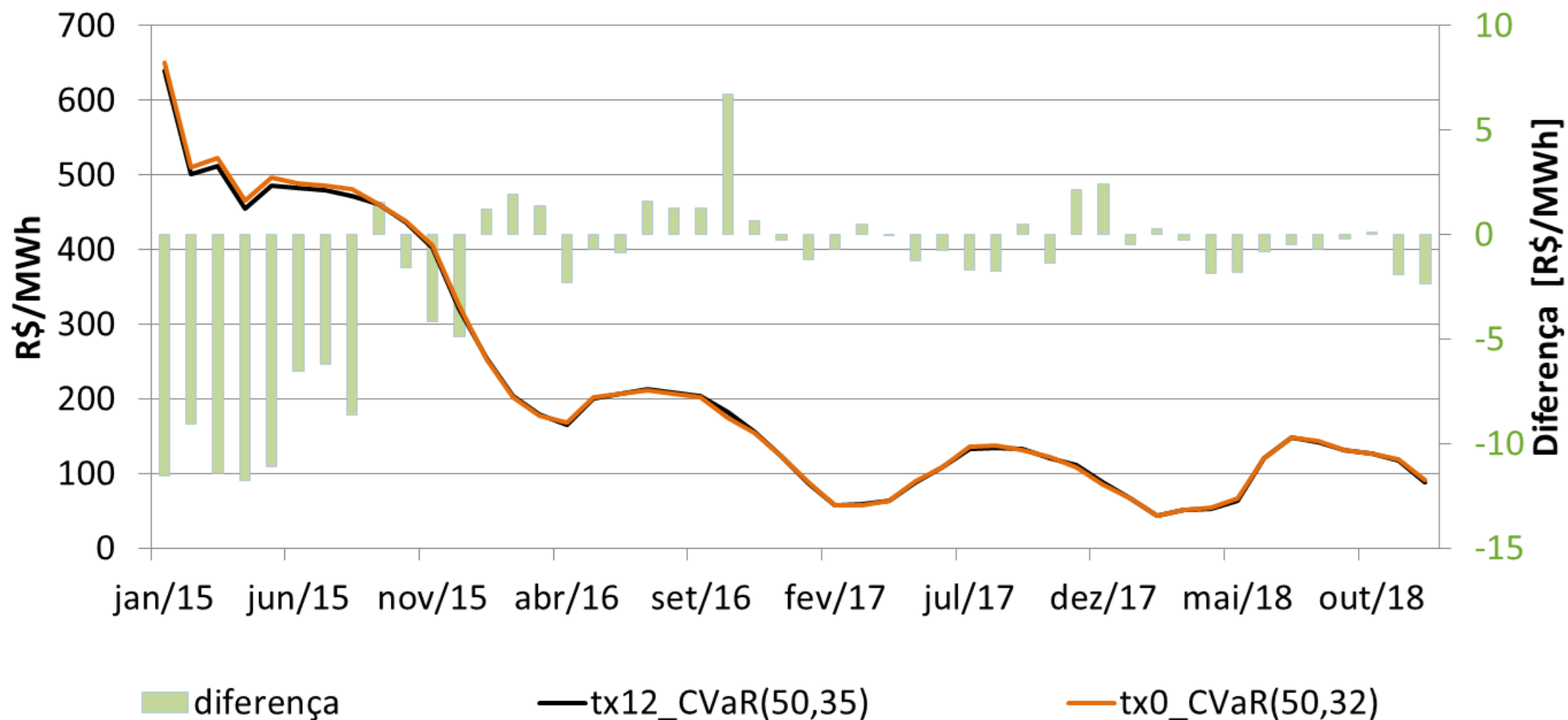


# Taxa de Desconto e efeito no Mecanismo de Aversão ao Risco



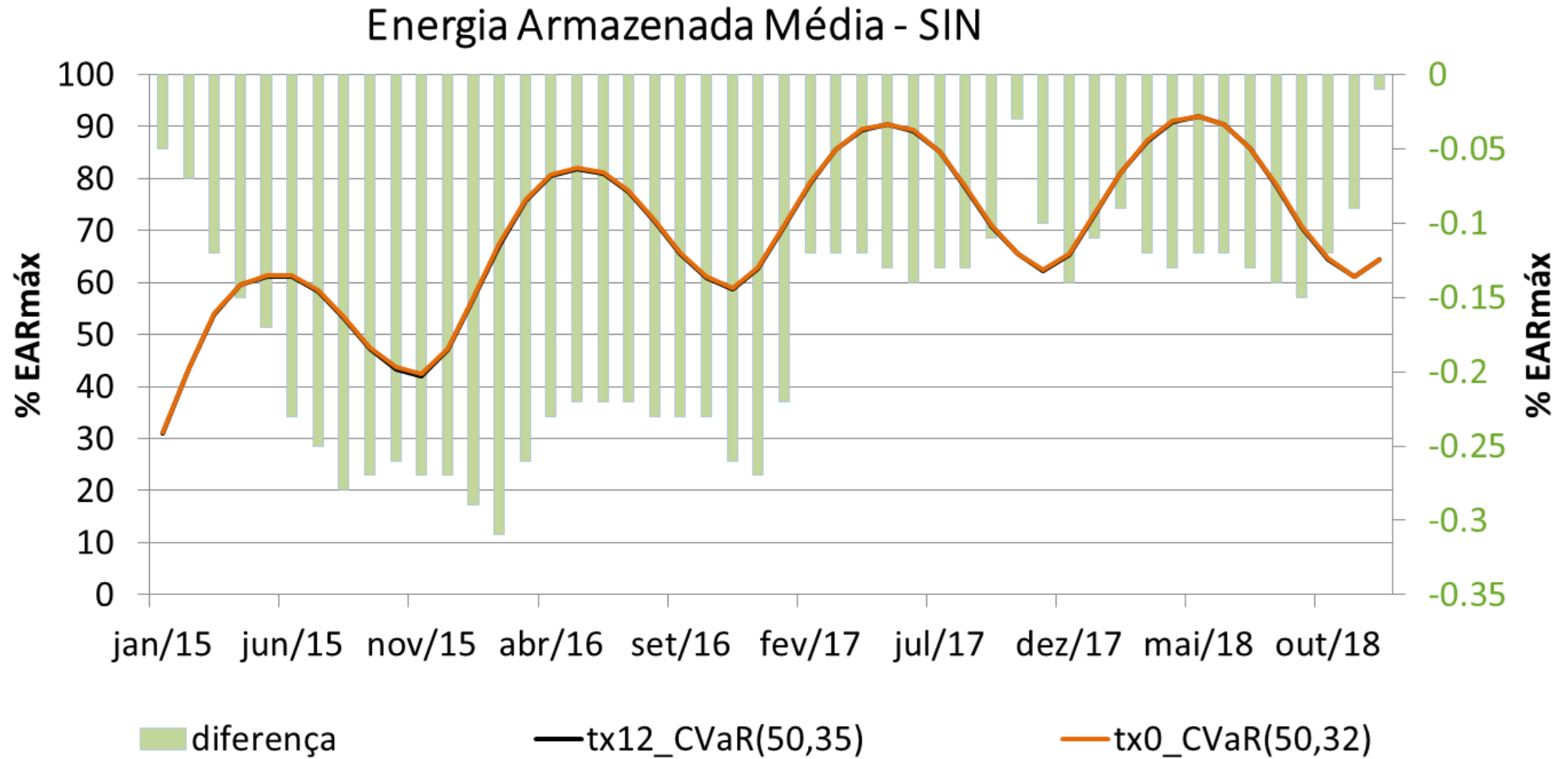
# Taxa de Desconto e efeito no Mecanismo de Aversão ao Risco

## Custo Marginal de Operação Médio - Nordeste





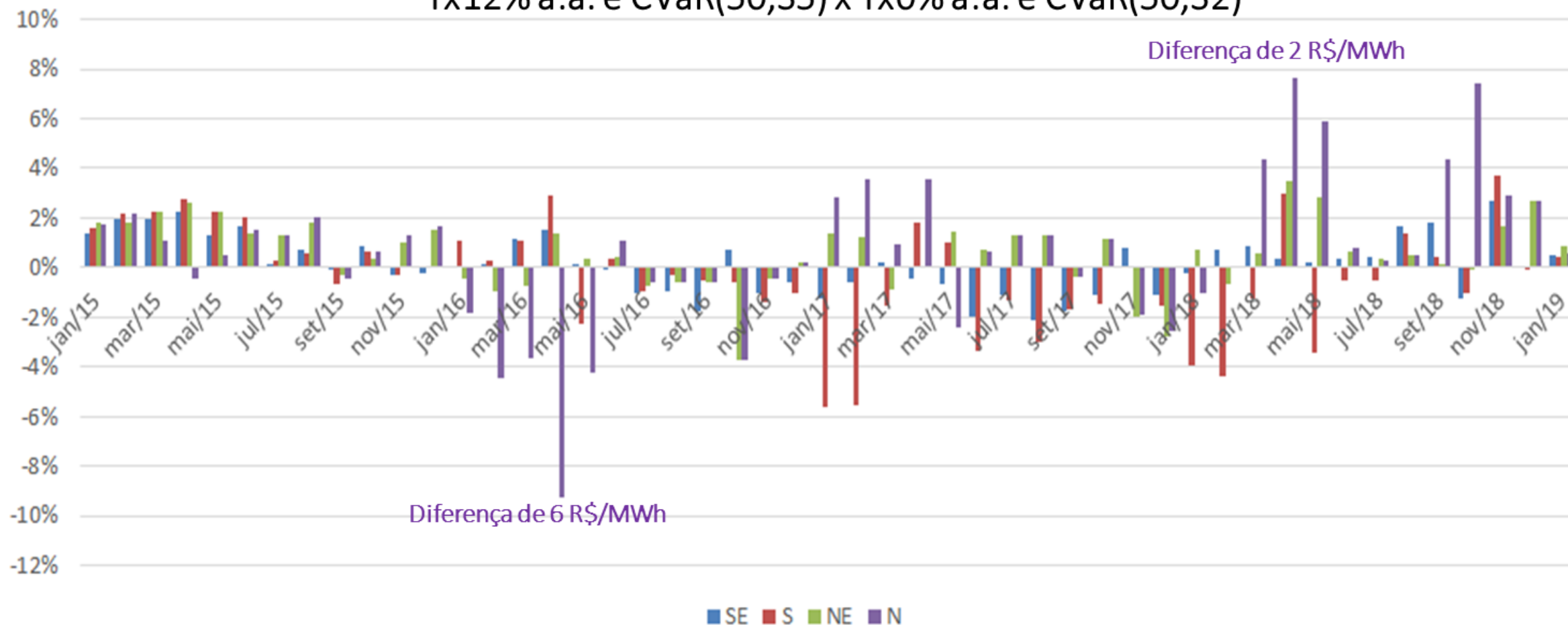
# Taxa de Desconto e efeito no Mecanismo de Aversão ao Risco



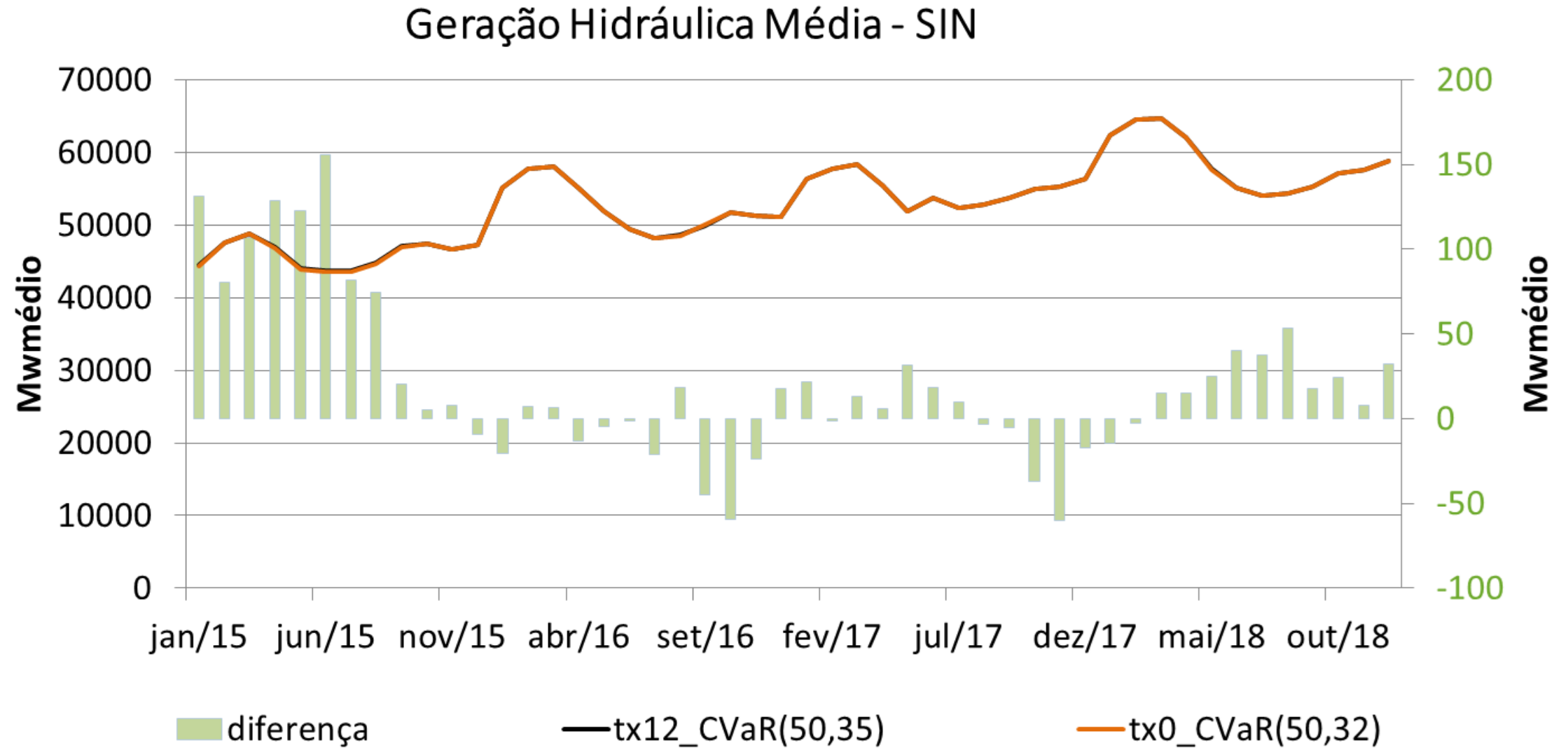
# Taxa de Desconto e efeito no Mecanismo de Aversão ao Risco

## Variação Percentual do Custo Marginal de Operação Médio

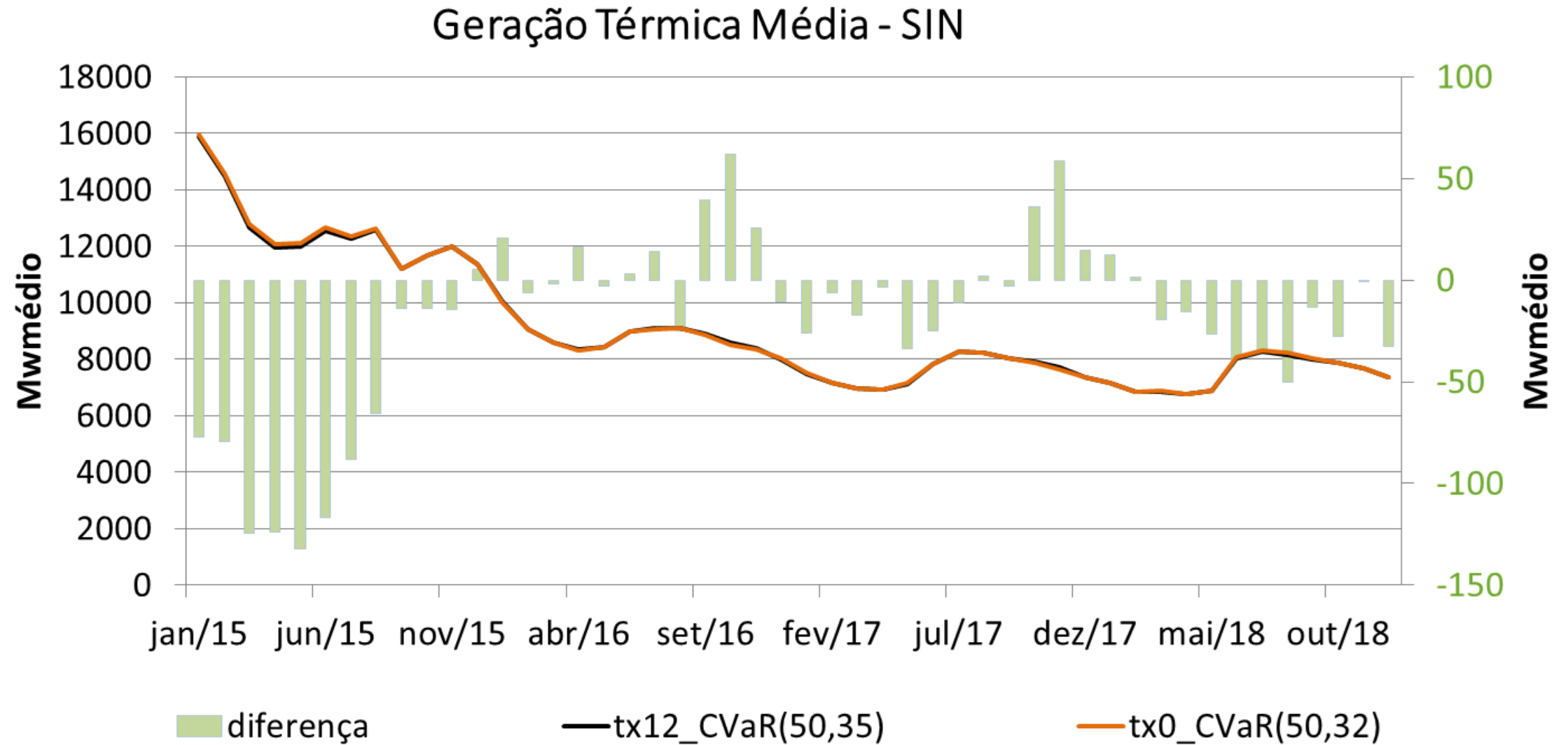
Tx12% a.a. e CVaR(50,35) x Tx0% a.a. e CVaR(50,32)



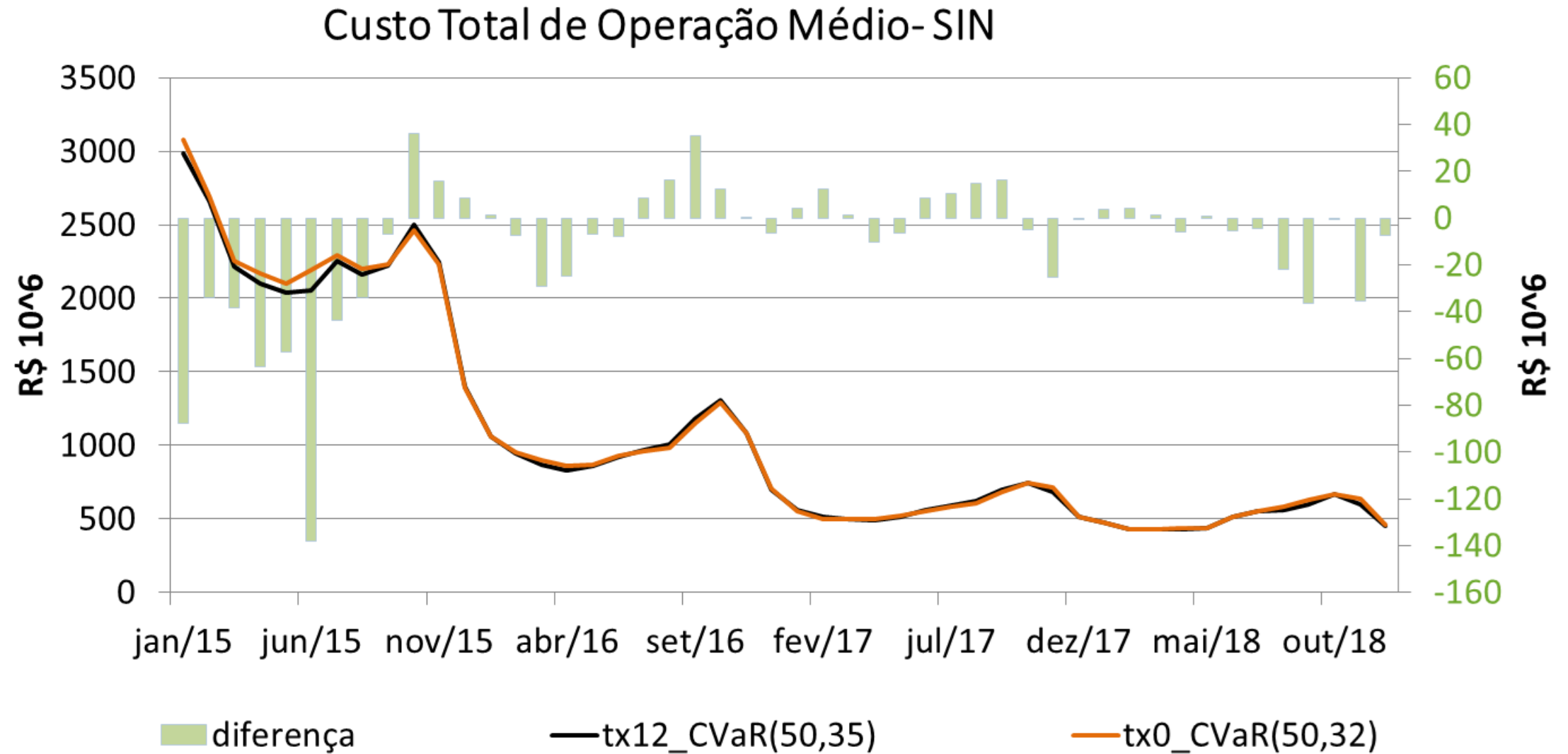
# Taxa de Desconto e efeito no Mecanismo de Aversão ao Risco



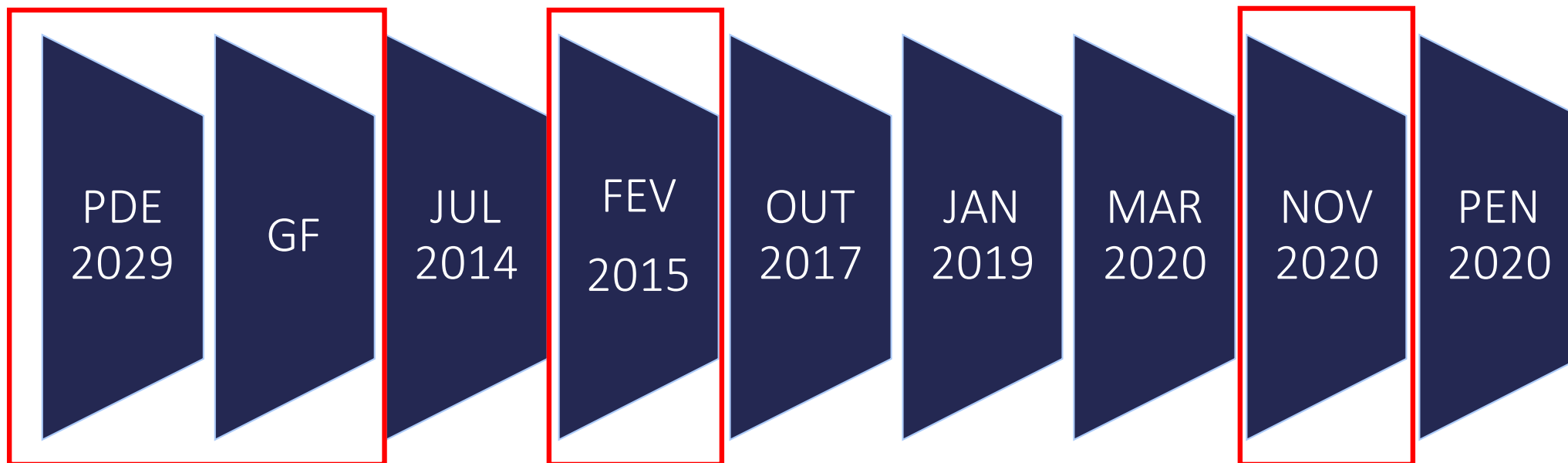
# Taxa de Desconto e efeito no Mecanismo de Aversão ao Risco



# Taxa de Desconto e efeito no Mecanismo de Aversão ao Risco



# Mais testes em outros decks

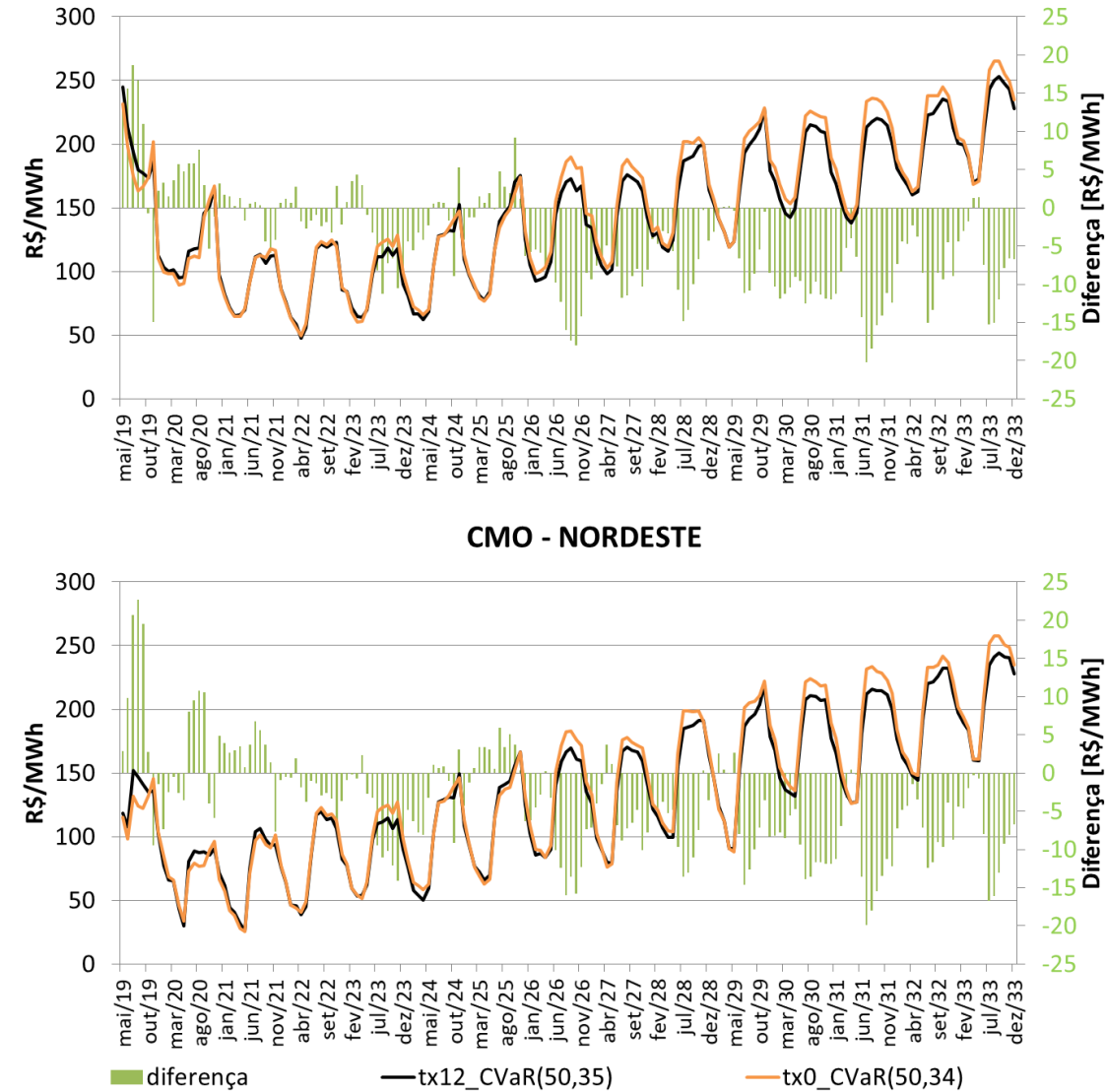


# Mais testes em outros decks

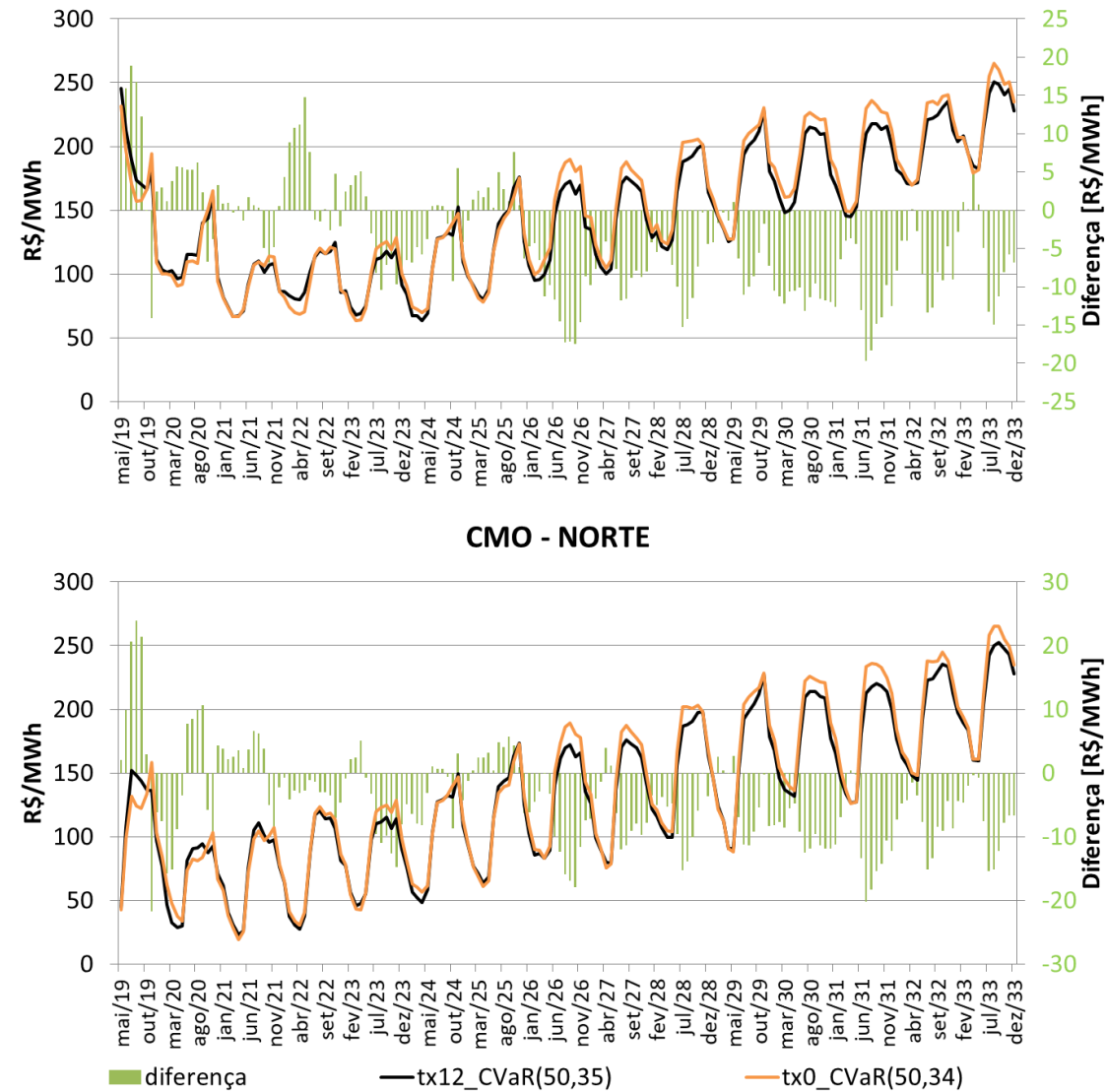


# Equivalência de operação para caso de PDE 2029

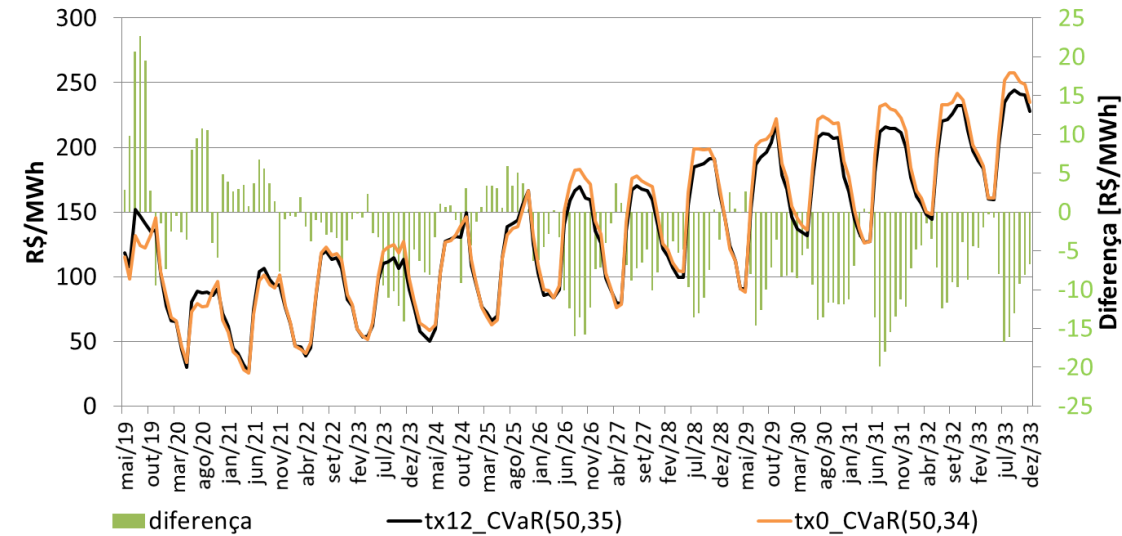
CMO - SUDESTE



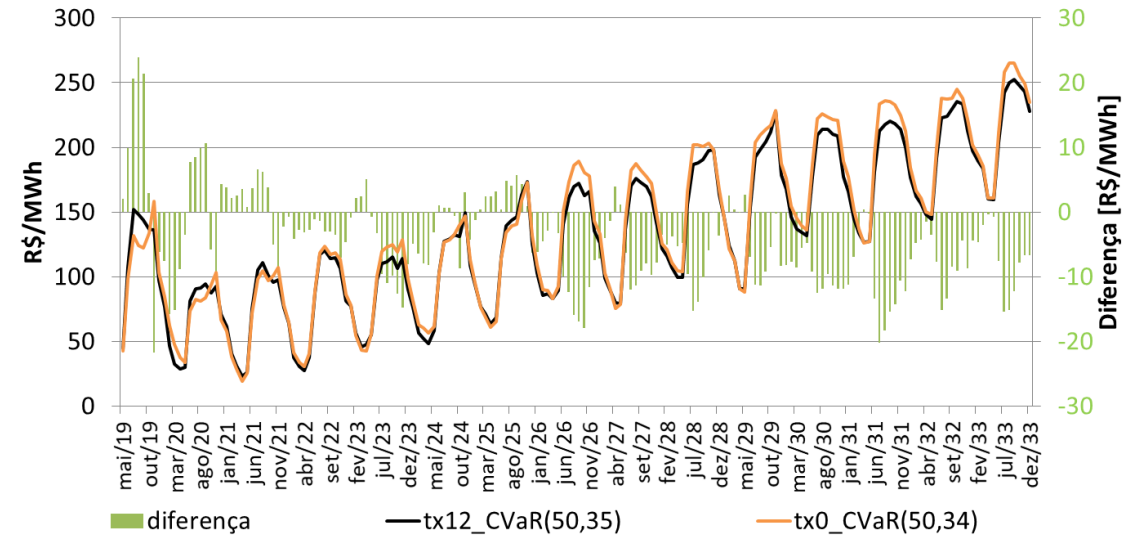
CMO - SUL



CMO - NORDESTE

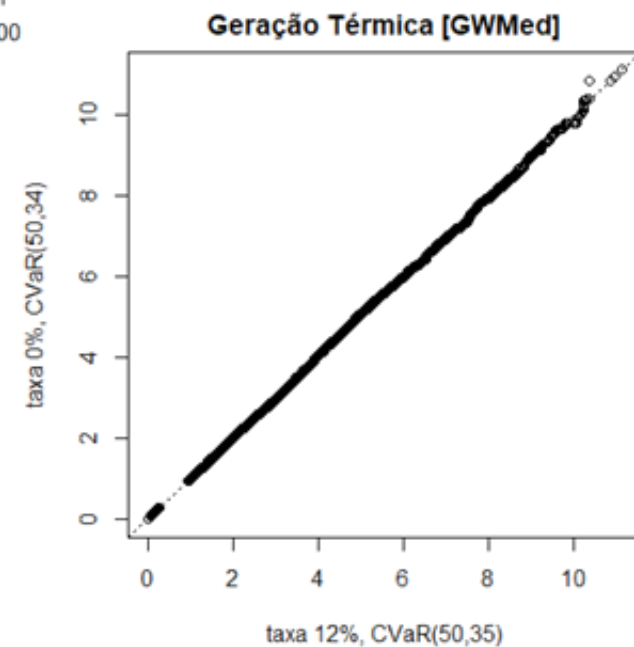
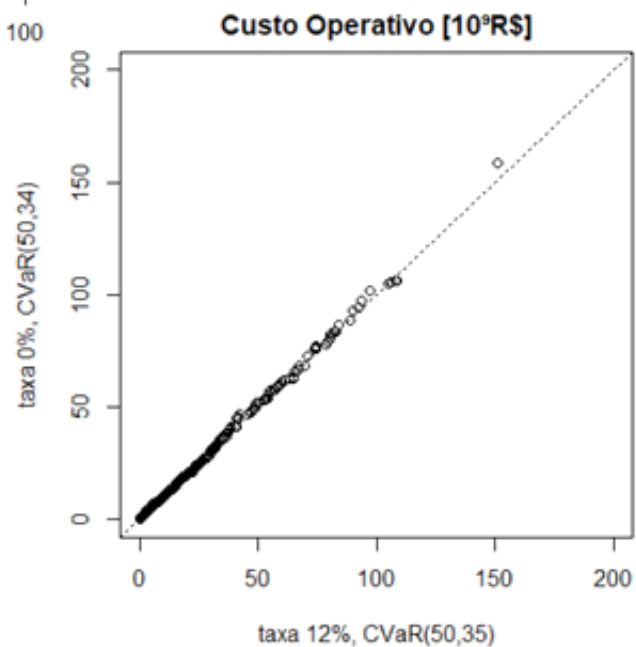
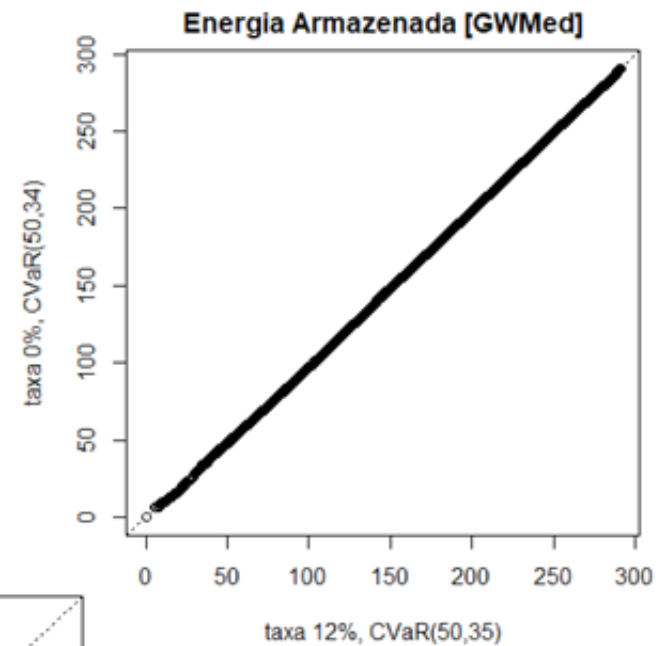
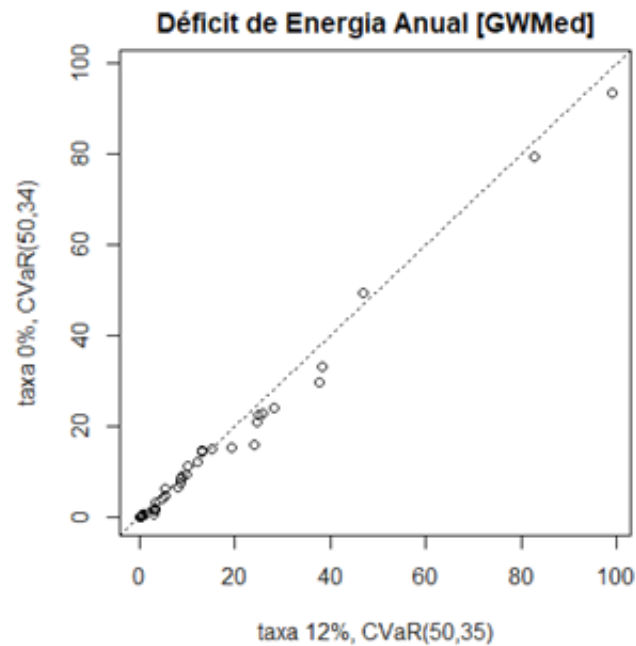


CMO - NORTE





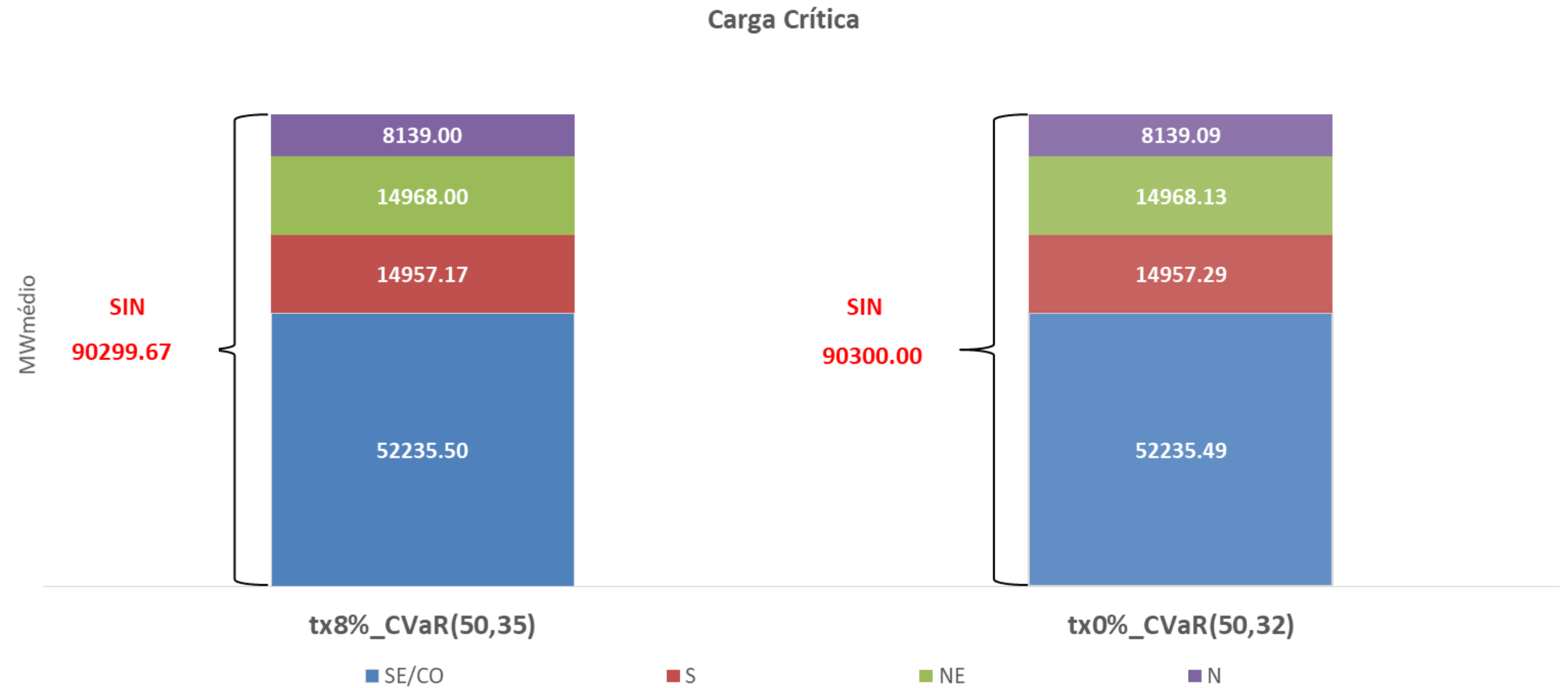
# Equivalência de operação para caso de PDE 2029



# Mais testes em outros decks

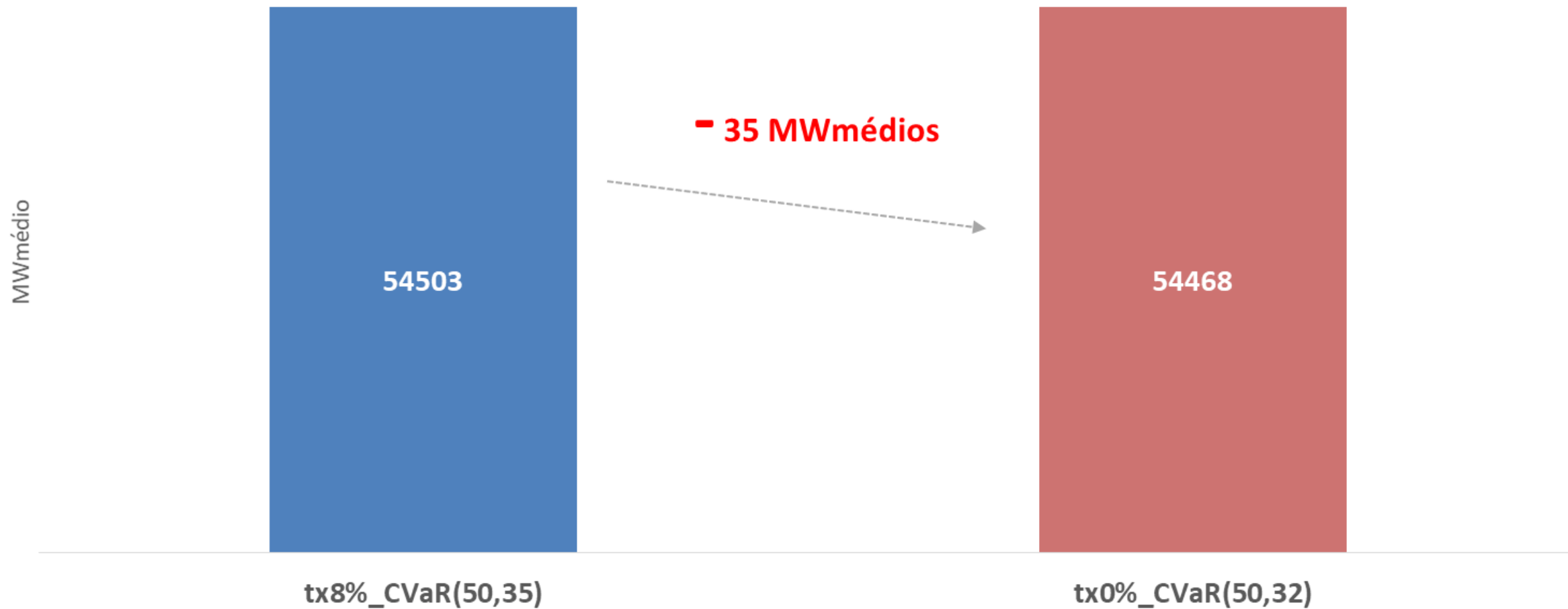


# Equivalência de operação para caso de GF

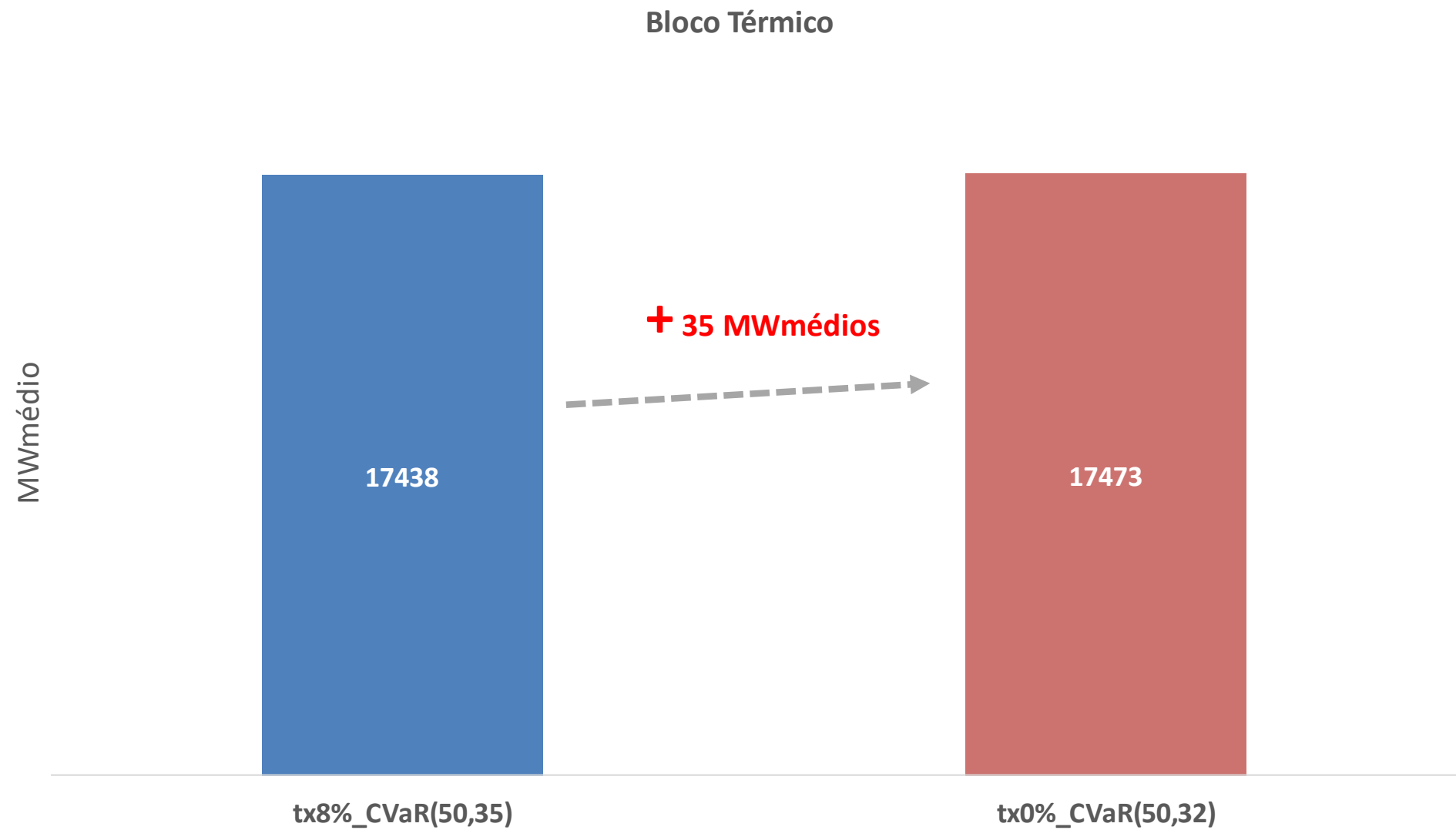


# Equivalência de operação para caso de GF

## Bloco Hidráulico

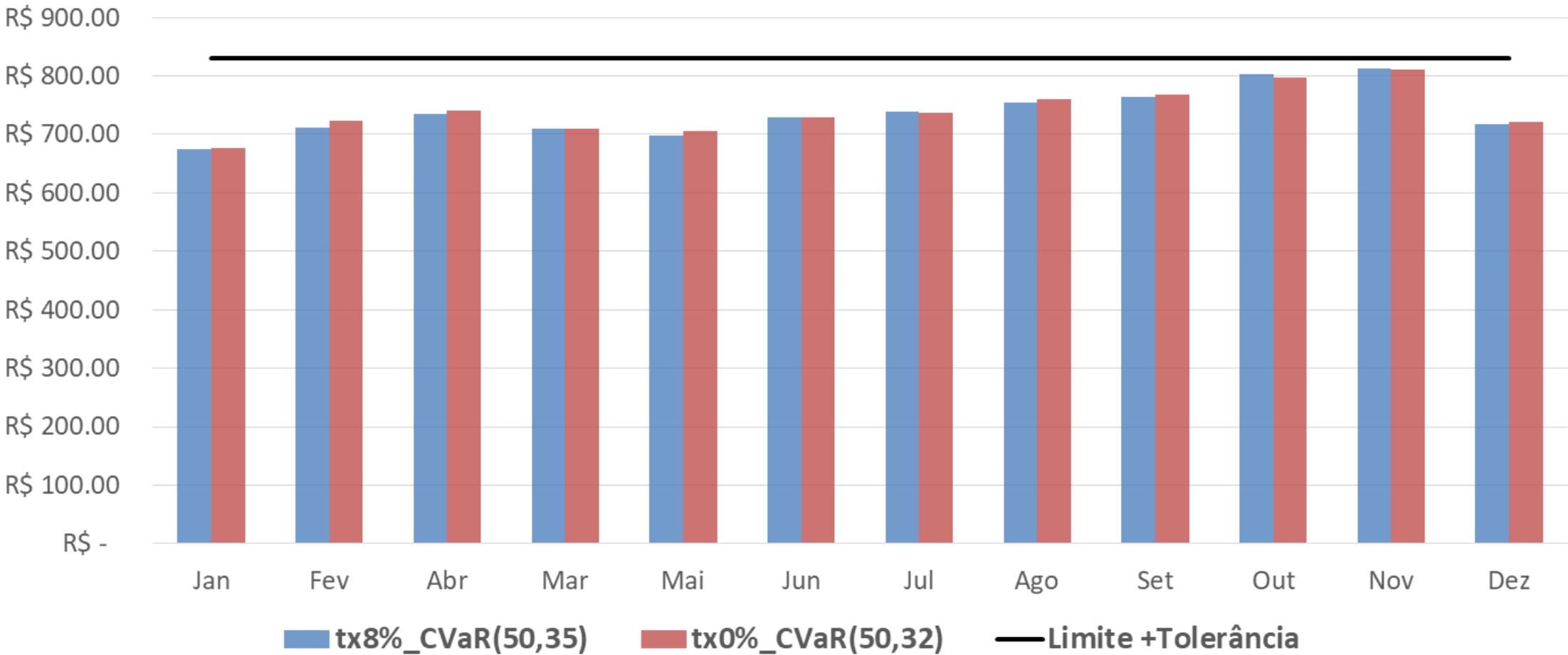


# Equivalência de operação para caso de GF

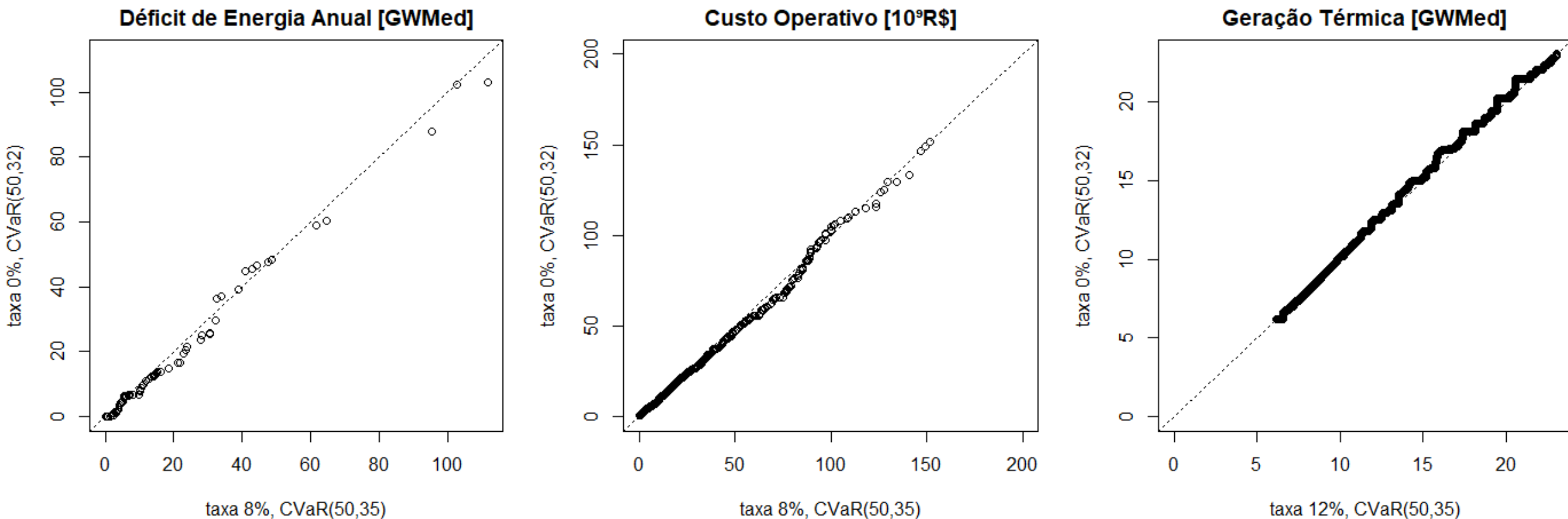


# Equivalência de operação para caso de GF

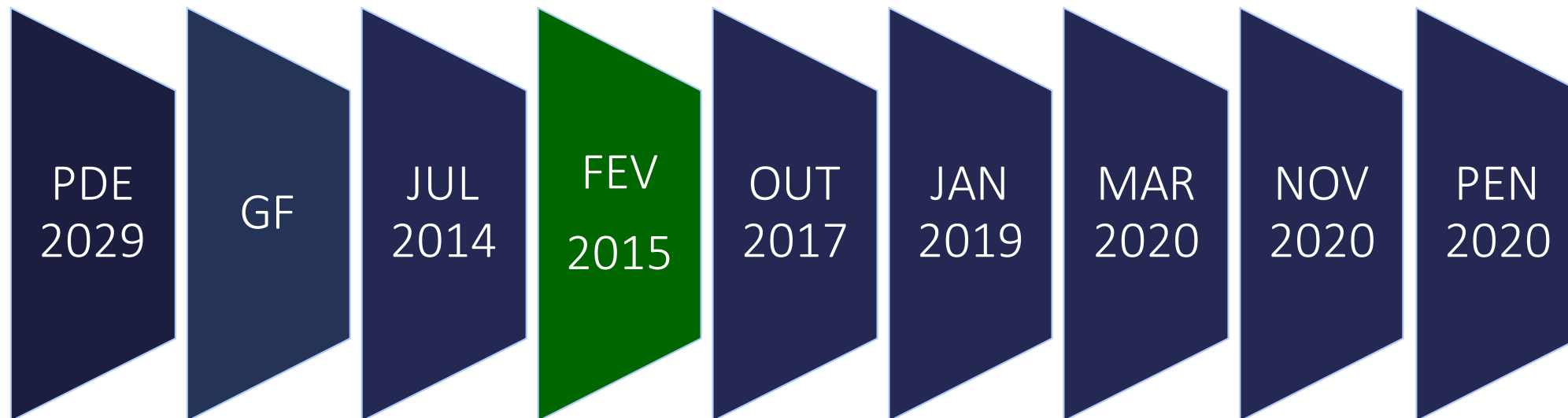
CVaR<sub>10%</sub> CMO  
Sudeste



# Equivalência de operação para caso de GF

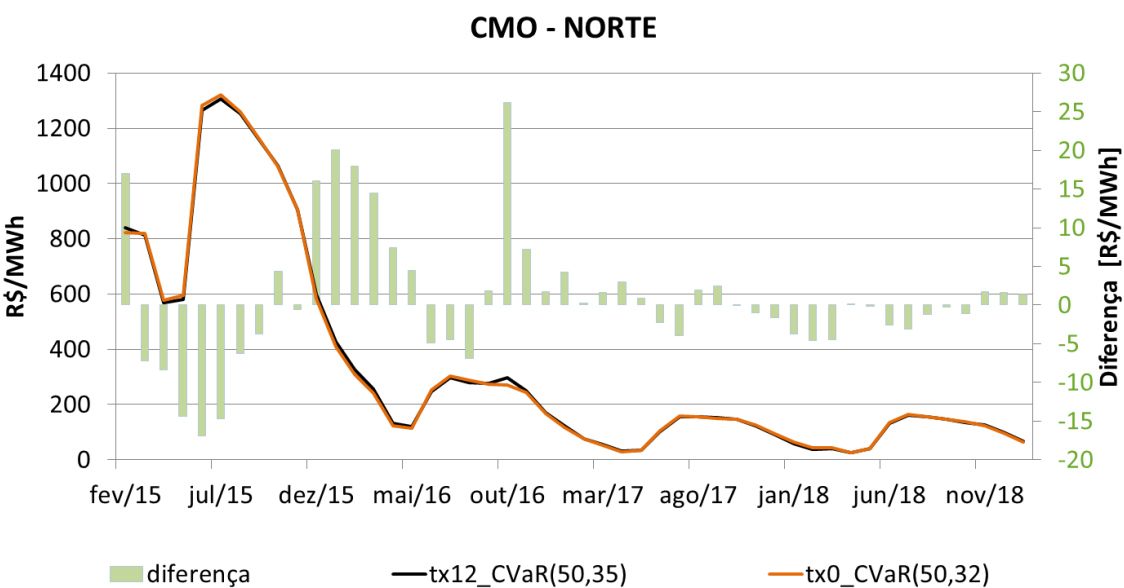
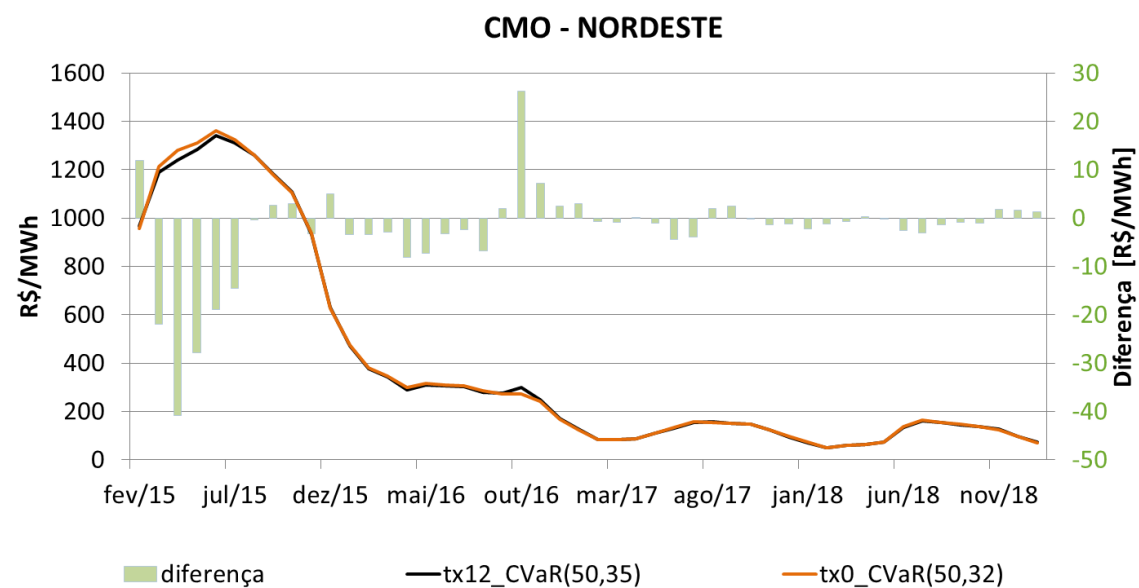
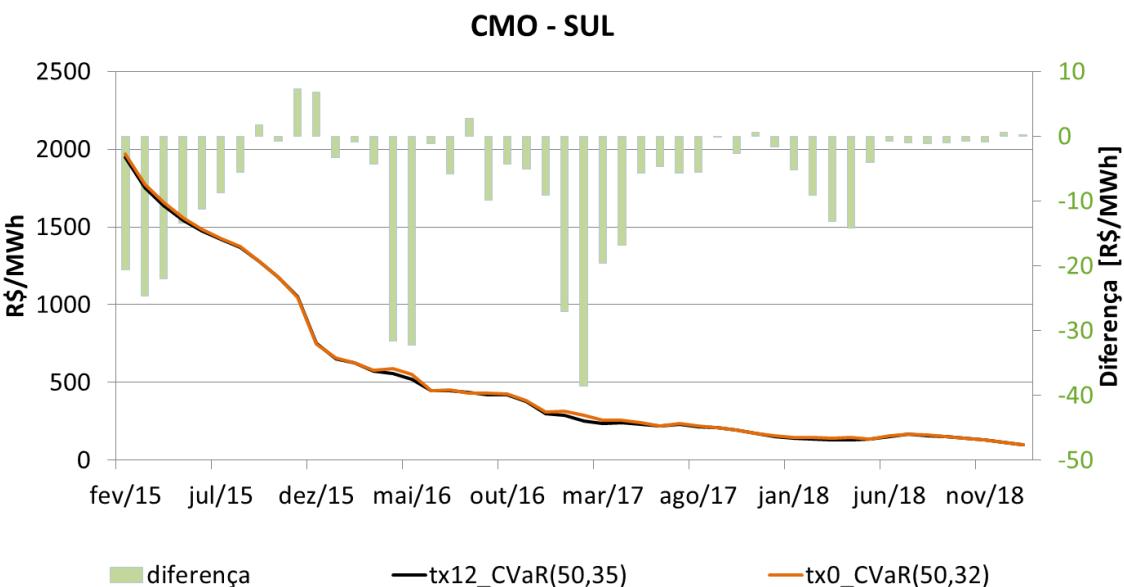
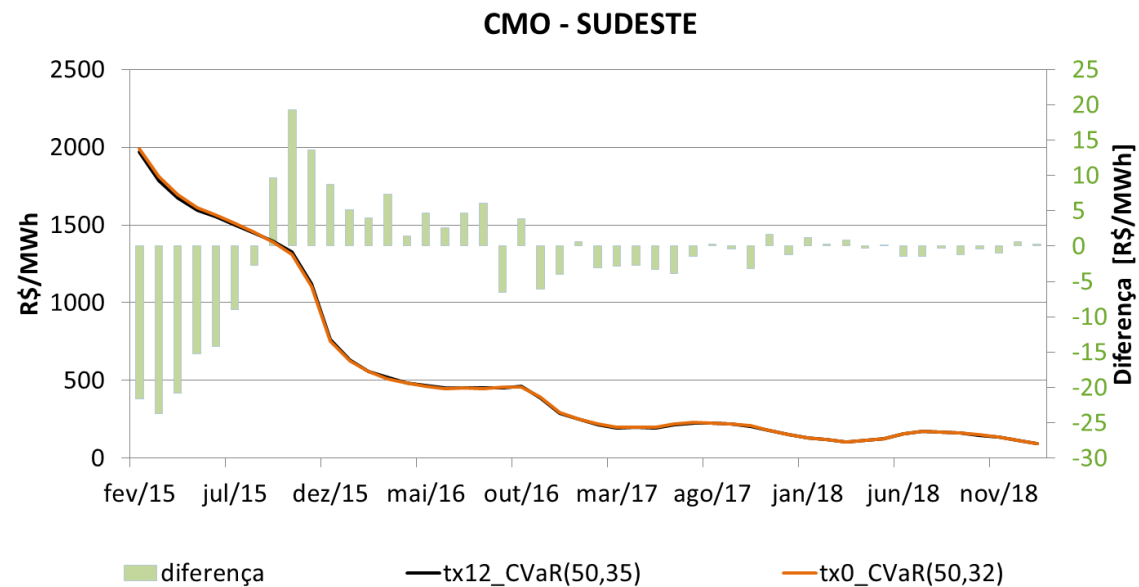


# Mais testes em outros decks

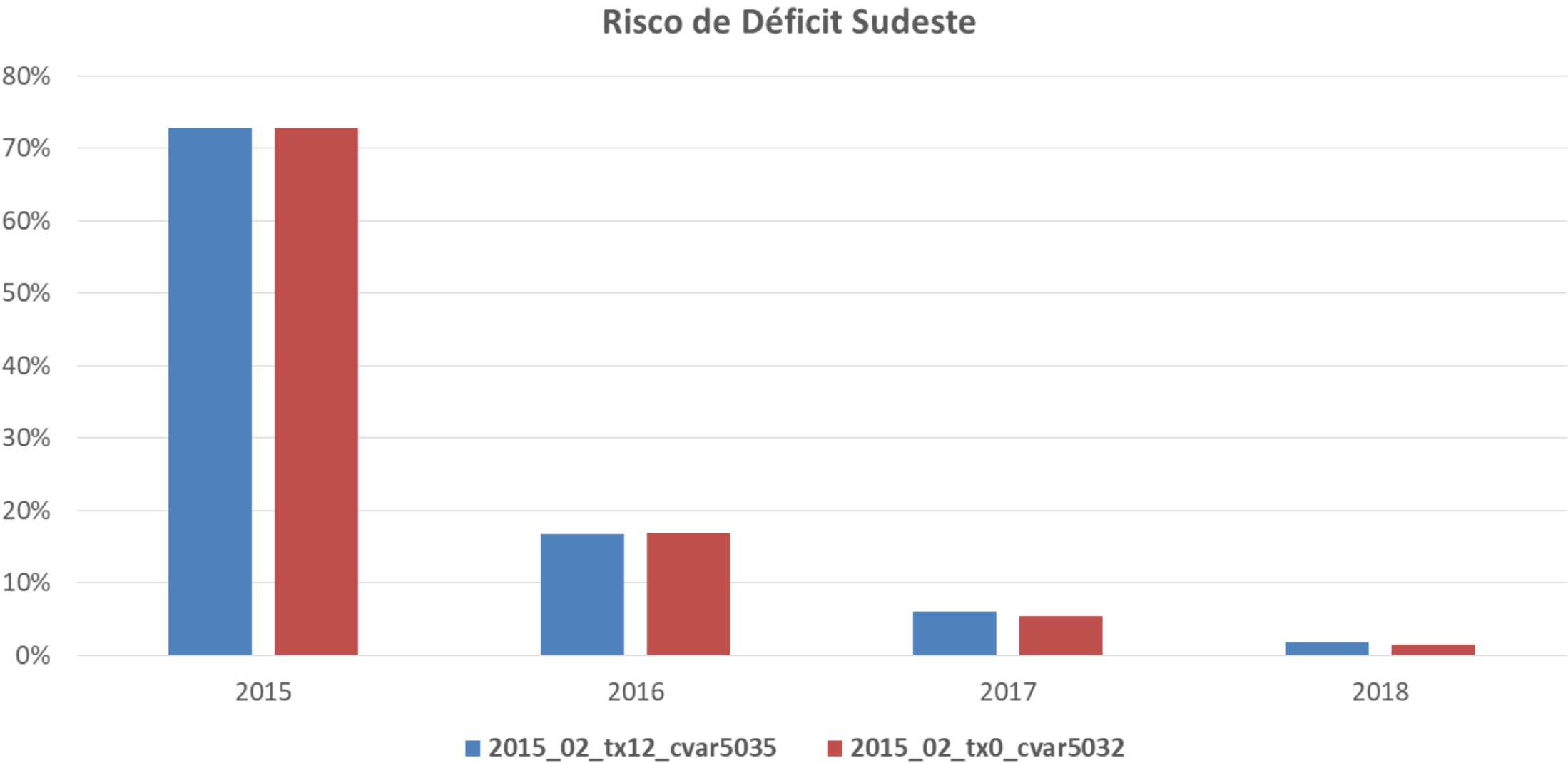




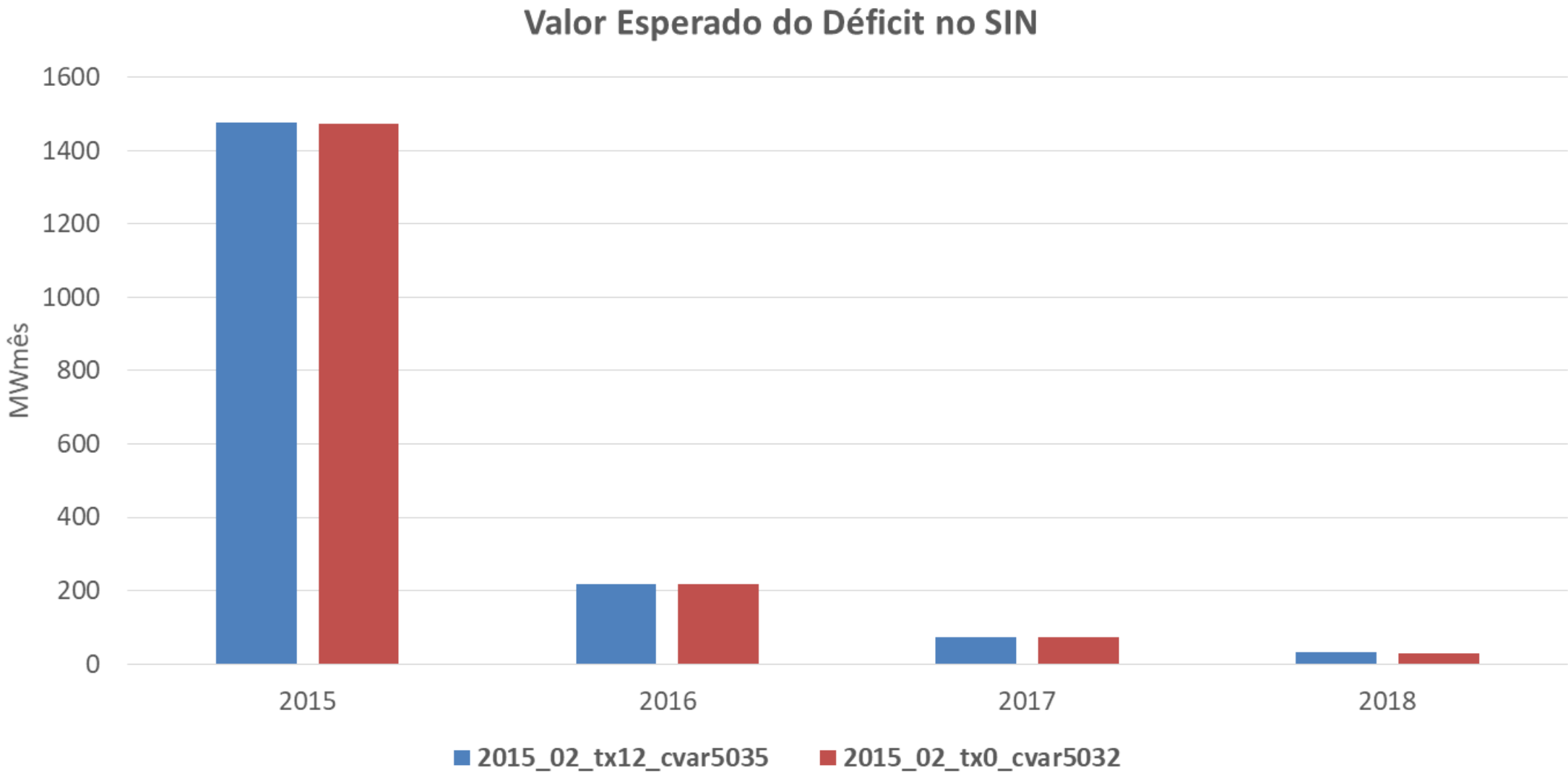
# Equivalência de operação para caso de PMO de Fevereiro de 2015



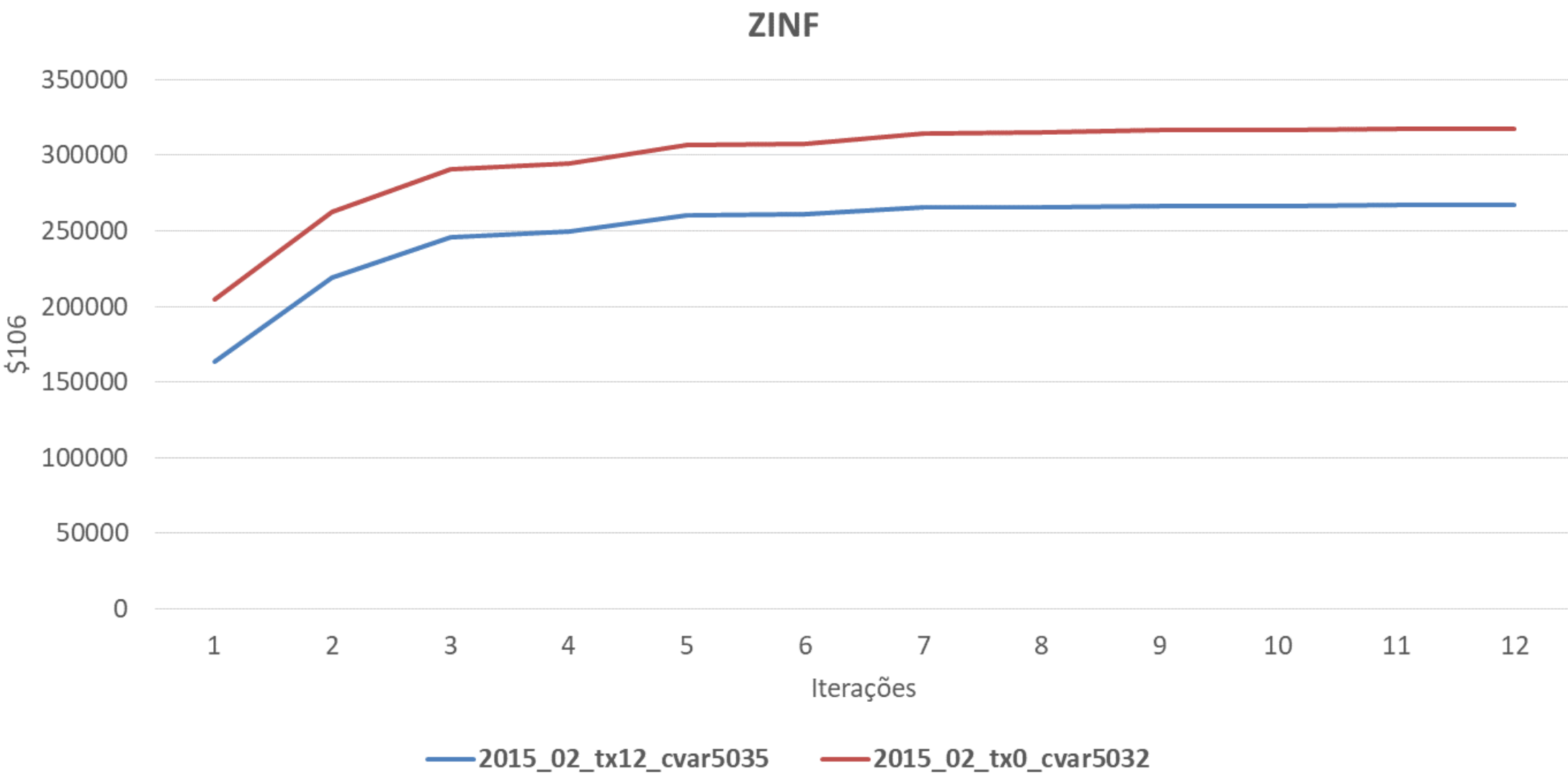
# Equivalência de operação para caso de PMO de Fevereiro de 2015



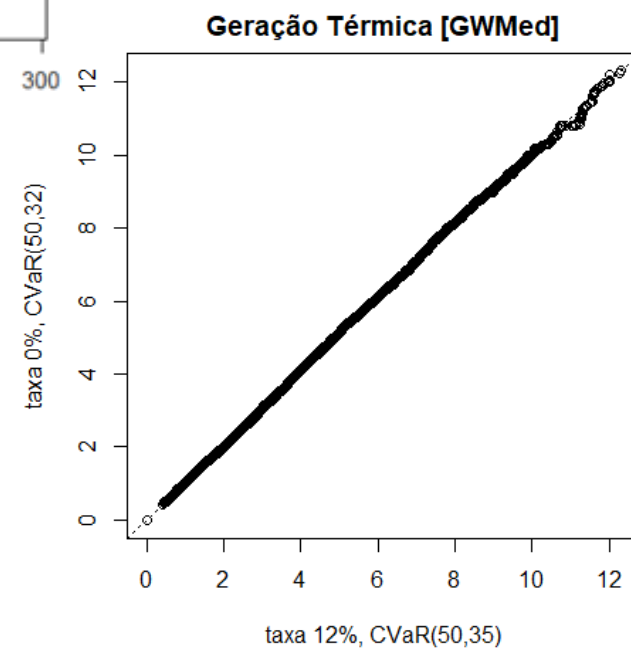
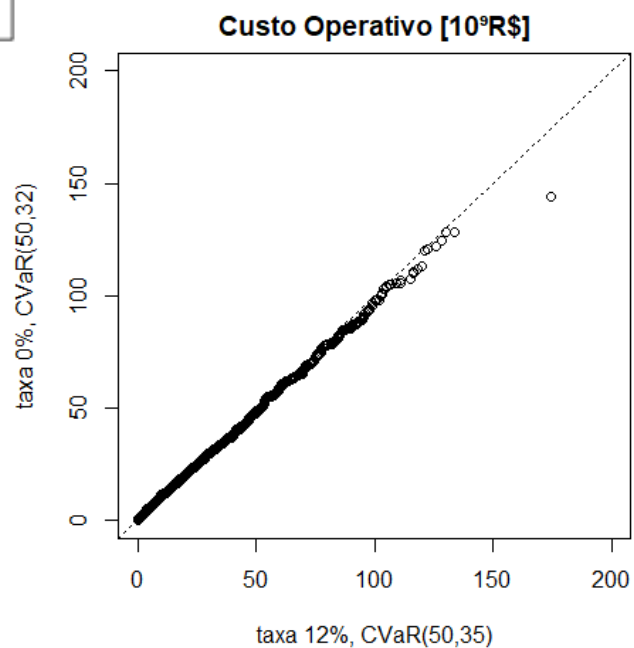
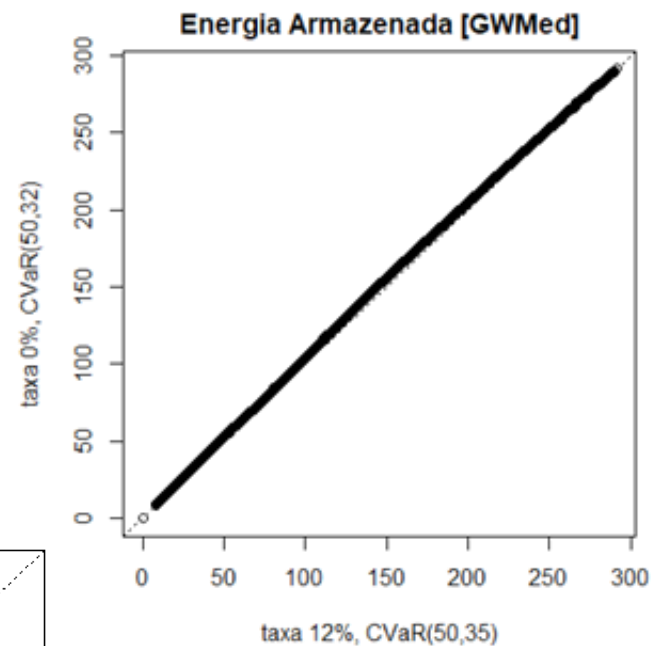
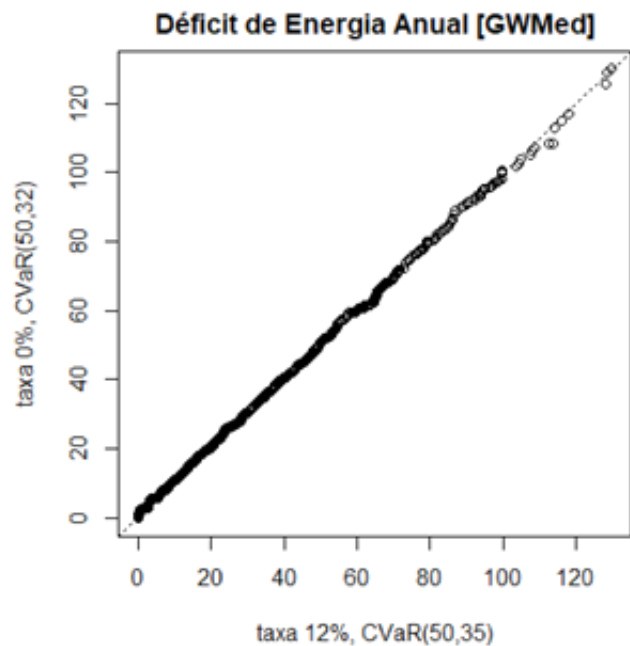
# Equivalência de operação para caso de PMO de Fevereiro de 2015



# Equivalência de operação para caso de PMO de Fevereiro de 2015



# Equivalência de operação para caso de PMO de Fevereiro de 2015

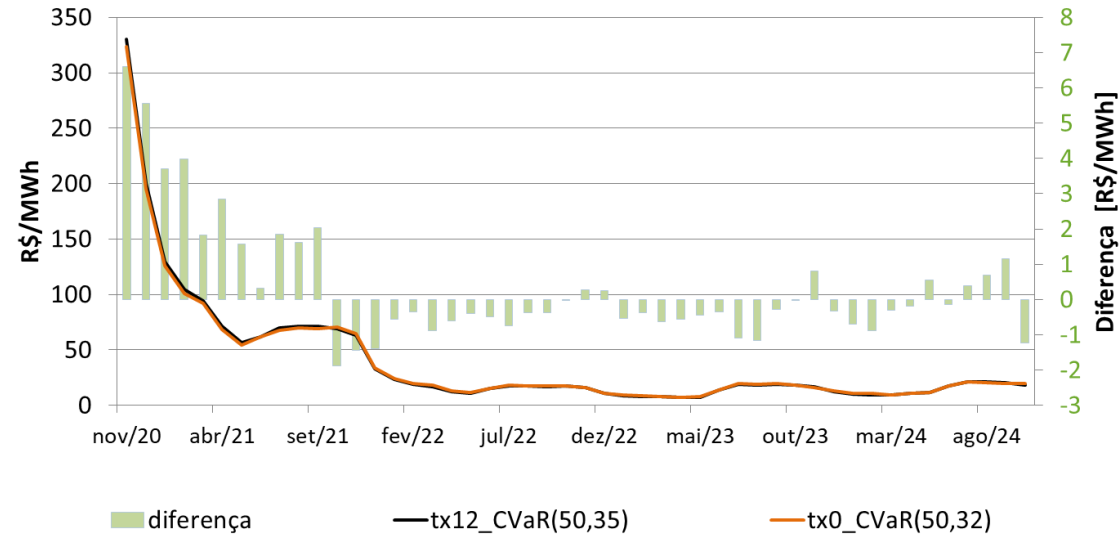


# Mais testes em outros decks

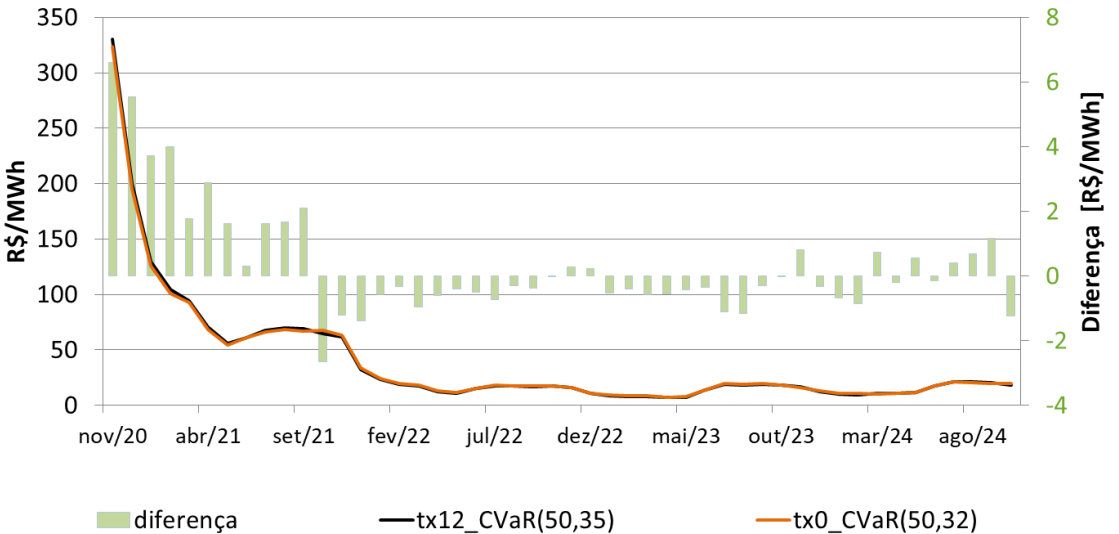


# Equivalência de operação para caso de PMO de Novembro de 2020

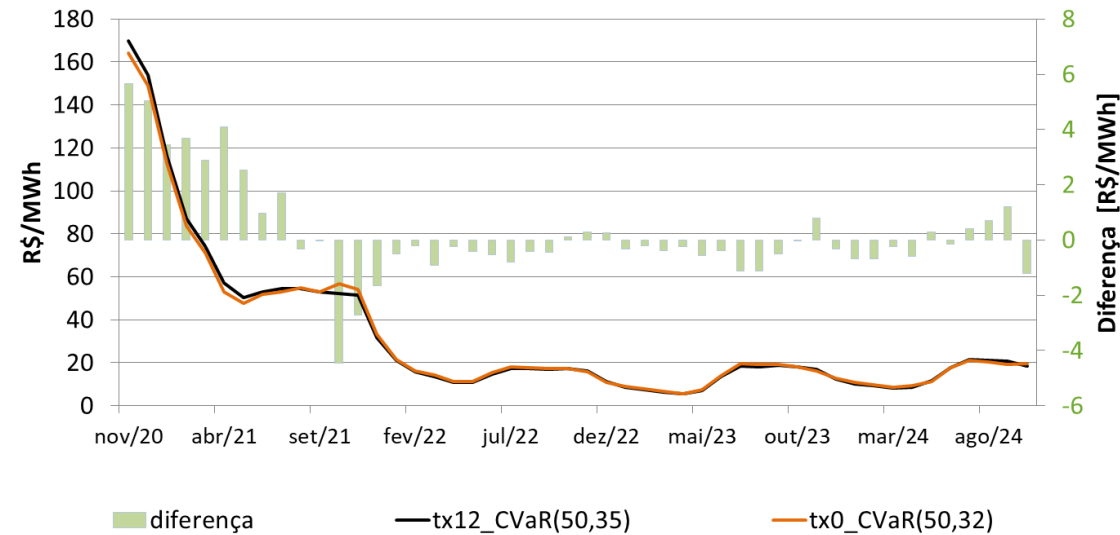
CMO - SUDESTE



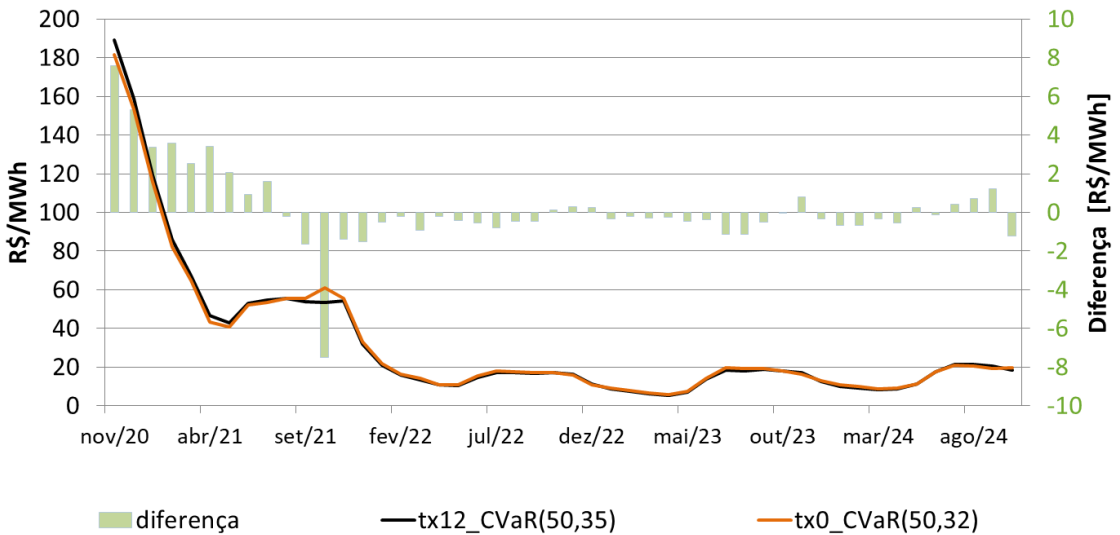
CMO - SUL



CMO - NORDESTE

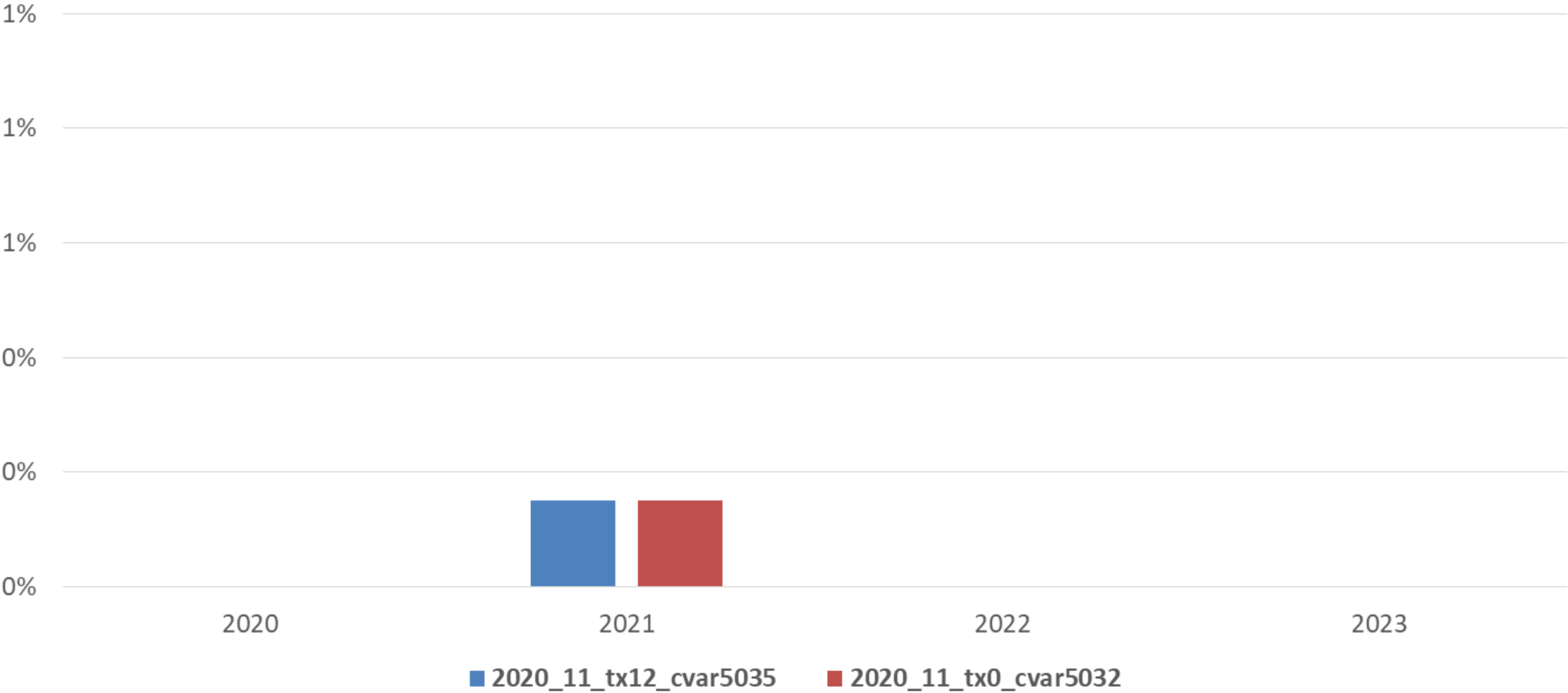


CMO - NORTE



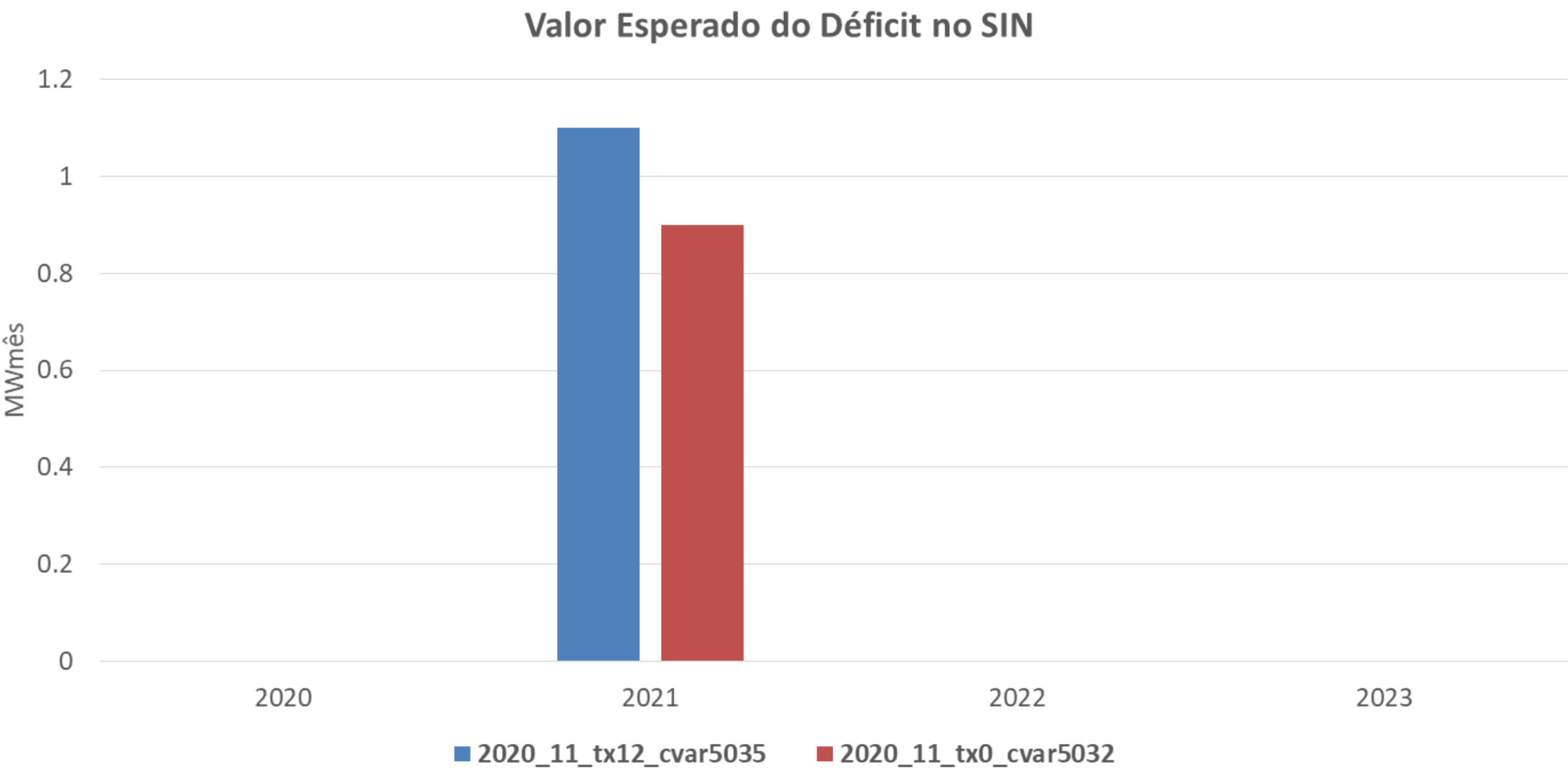
# Equivalência de operação para caso de PMO de Novembro de 2020

## Risco de Déficit Sudeste

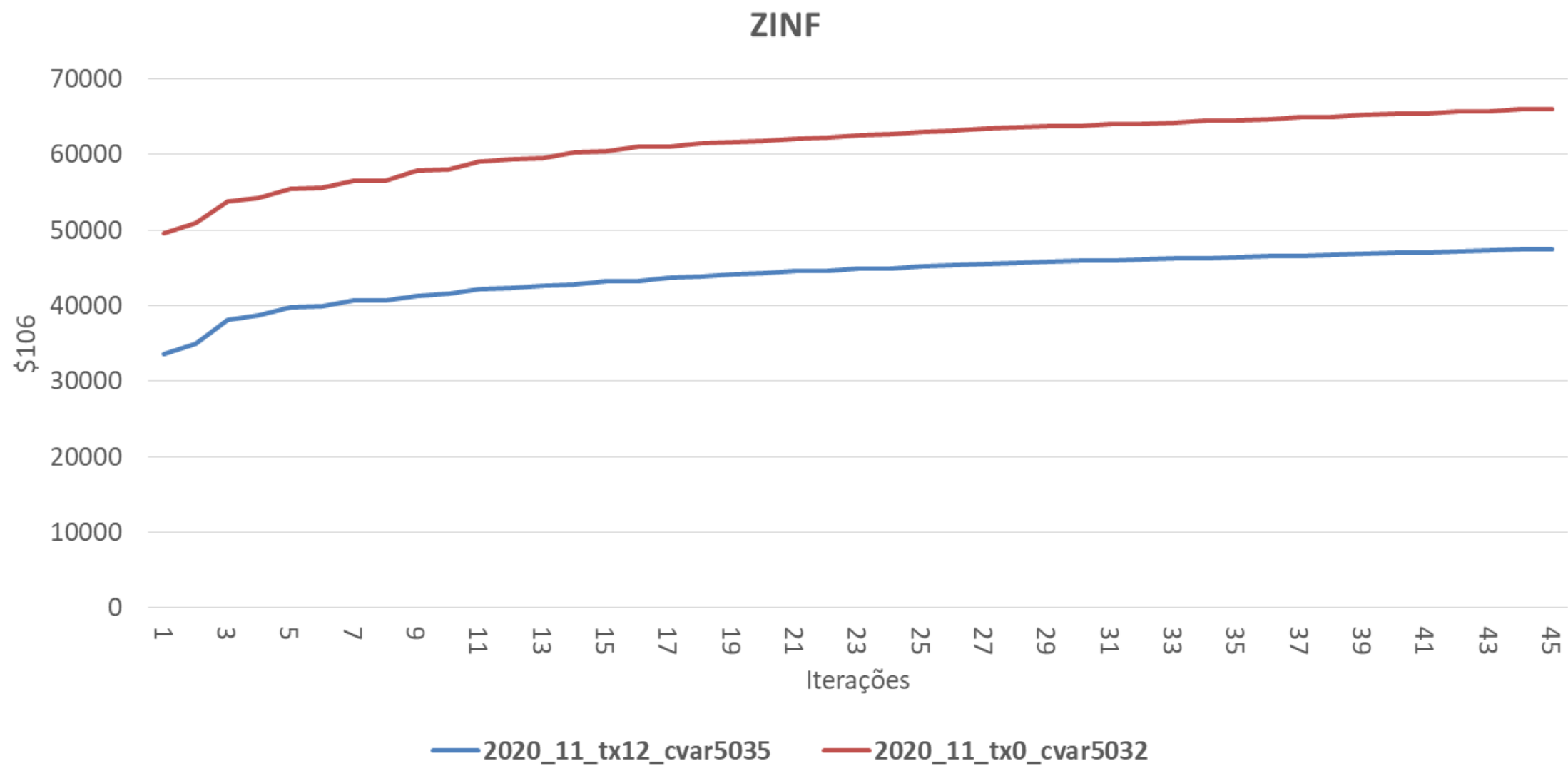




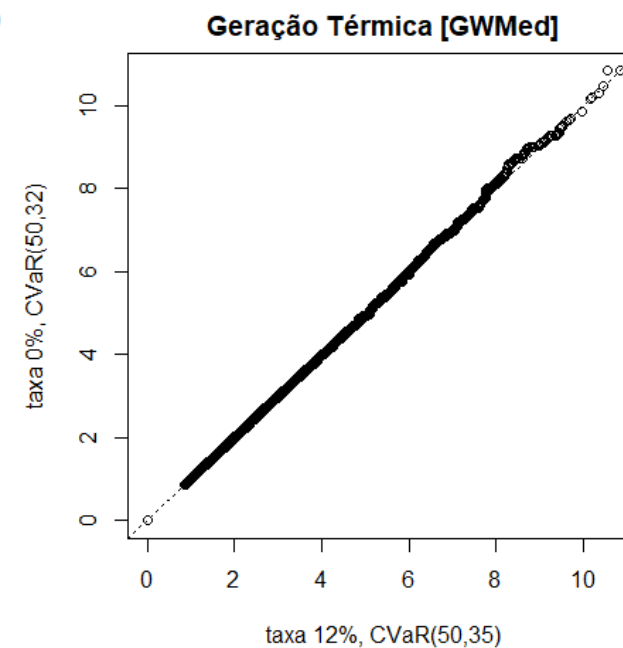
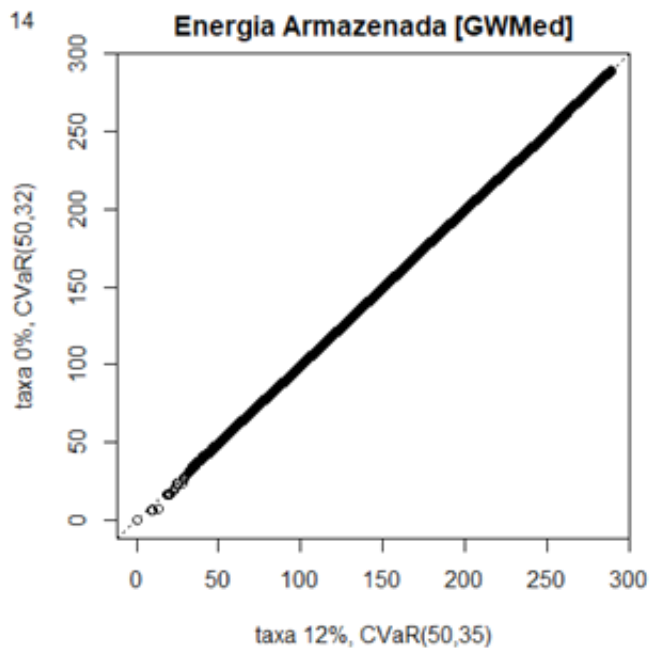
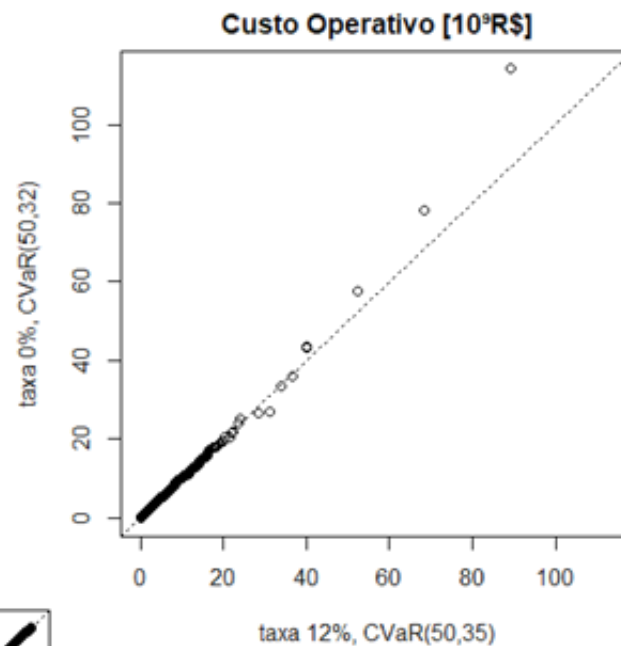
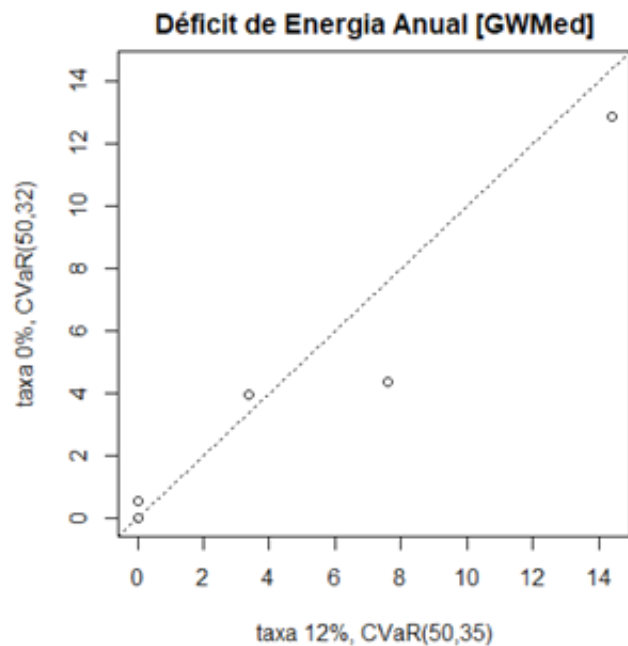
# Equivalência de operação para caso de PMO de Novembro de 2020



# Equivalência de operação para caso de PMO de Novembro de 2020



# Equivalência de operação para caso de PMO de Novembro de 2020



# É possível encontrar uma operação equivalente



Todos os decks mostram que existe a equivalência!



# Backtest

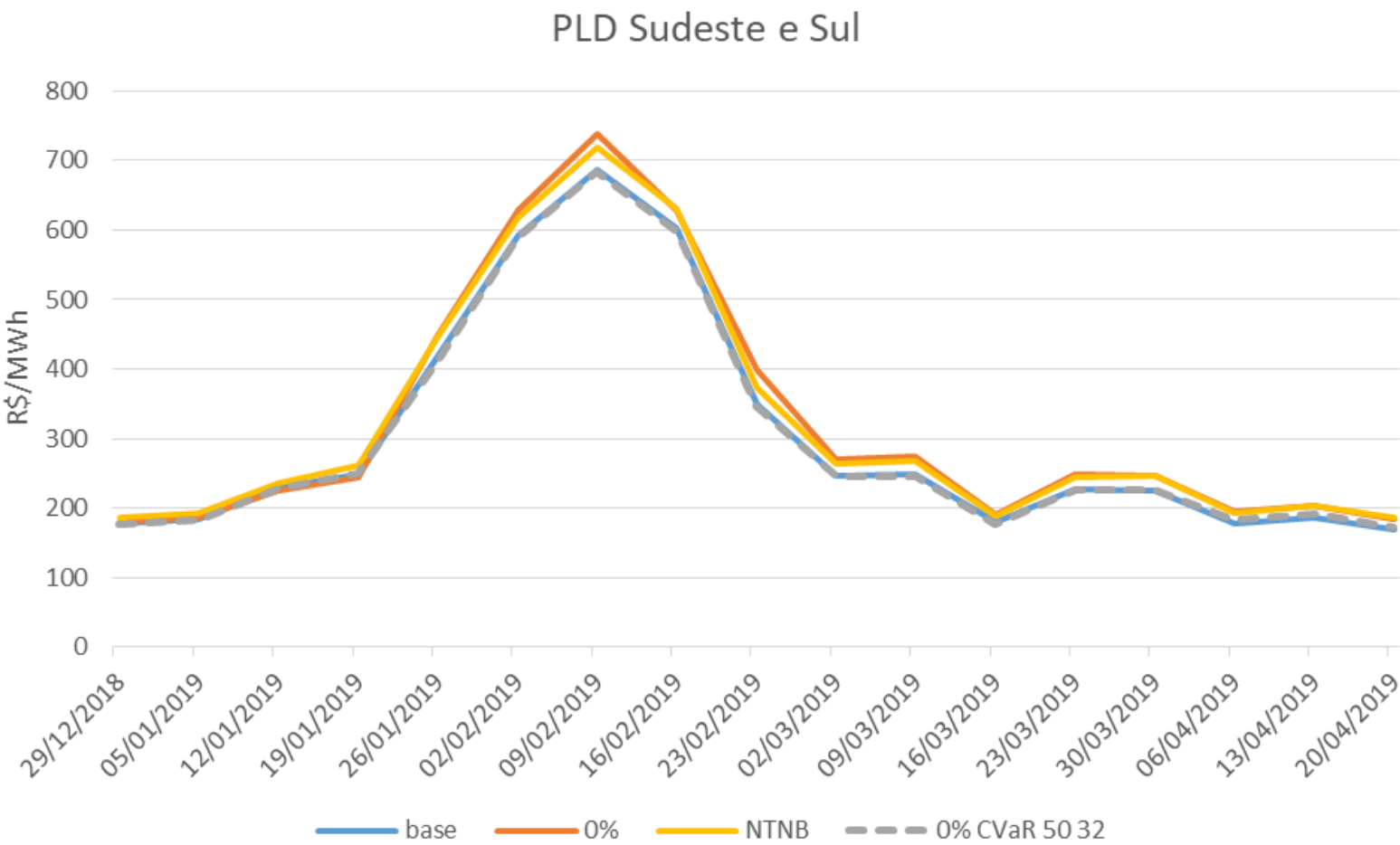
## Premissas

Rodadas encadeadas com NEWAVE (v27) e DECOMP (v30.1)

Período de jan/19 a abr/19

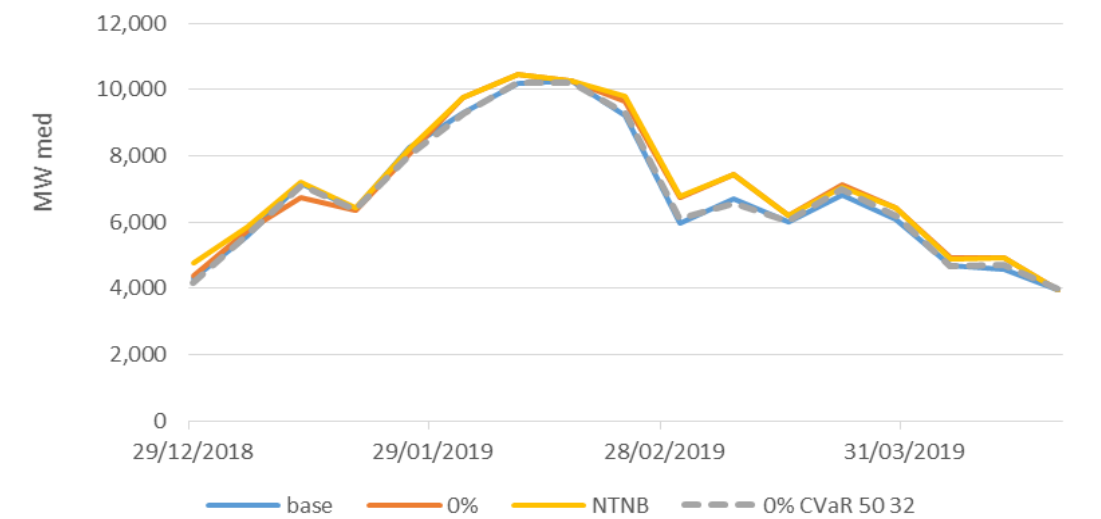
Sensibilidade variando a taxa de desconto nos dois modelos: 0%, 2.82% (NTN-B<sup>1</sup>), 12% (base)

Sensibilidade alterando o CVaR para (50, 32) no caso de taxa igual a 0%

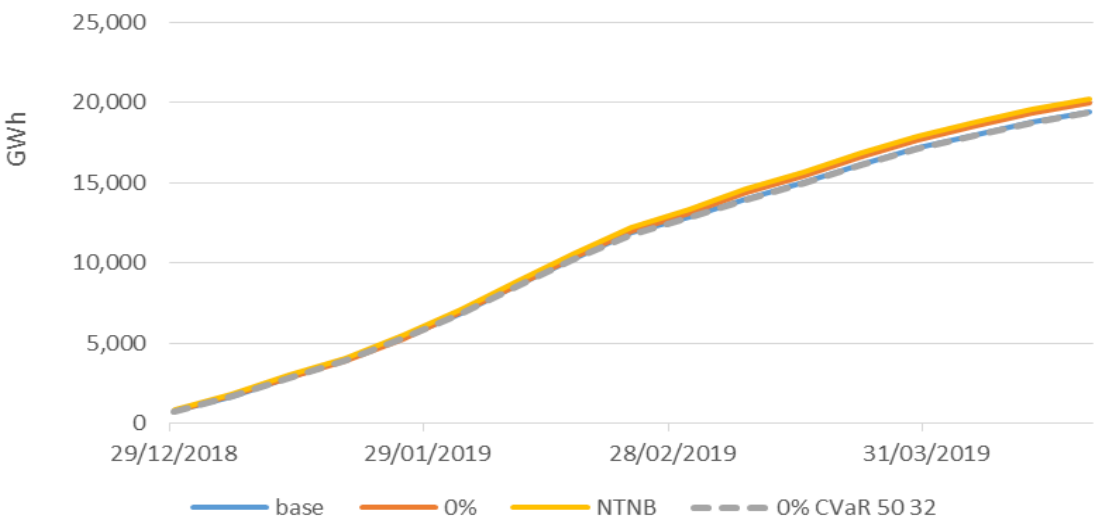


# Backtest

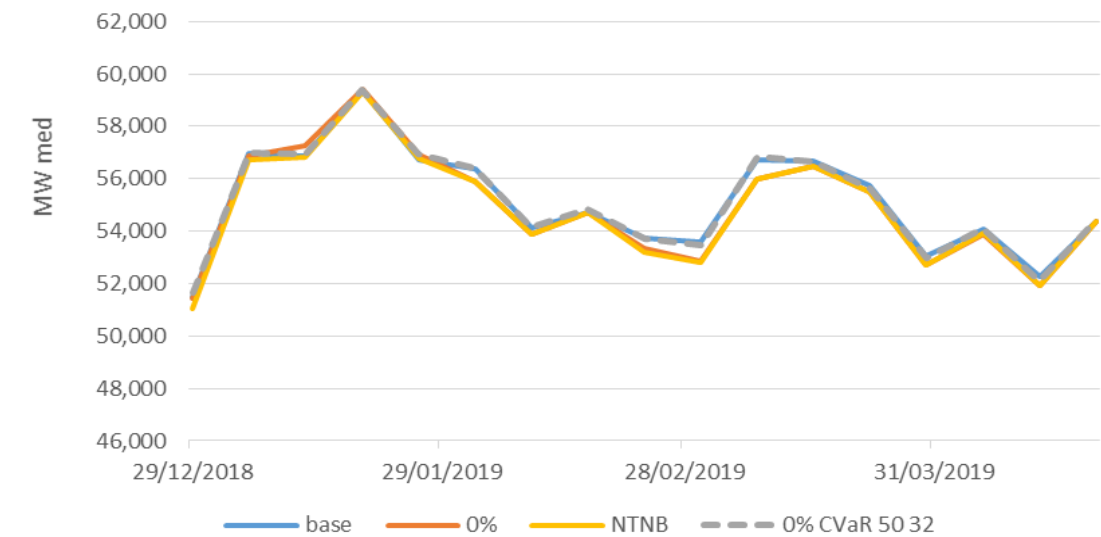
GT SIN



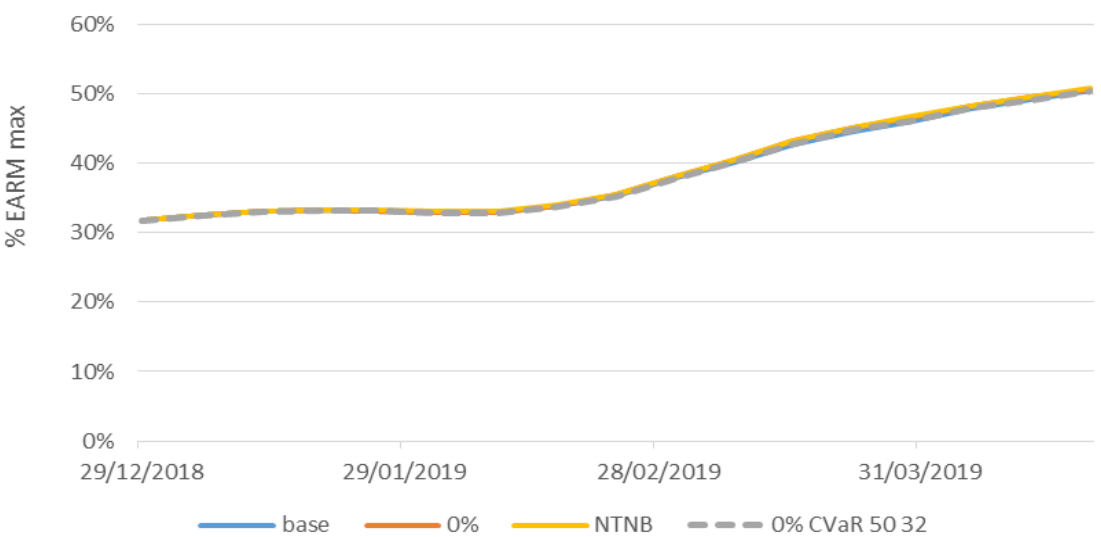
GT SIN (acumulada)



GH SIN



EARM SIN



## É possível encontrar uma operação equivalente



Considerando que os decks retratam diferentes conjunturas, observou-se que é possível retirar o uso da taxa de desconto e recalibrar o CVaR de modo a obter uma operação semelhante a obtida considerando a taxa de desconto 12% a.a. e CVaR(50,35).

Todas as sensibilidades sinalizaram que essa solução é promissora, reduz um dos parâmetros de entrada do modelo e facilita a calibração da aversão ao risco, uma vez que o uso da taxa de desconto posterga a geração térmica e reduz a aversão ao risco do modelo.





Nova Taxa de Juros  
Referencial

Rever Conceitos  
Aplicação





# Acompanhamento dos estudos

## Volume Mínimo Operativo

Assessoria Técnica:



# Introdução

## Motivação:

- Na Reunião Plenária da CPAMP, 07 de outubro de 2020, a coordenação do GT Metodologia apresentou consolidação das contribuições recebidas pelos agentes, entre os dias 18 de junho e 10 de julho de 2020, às atividades propostas para o ciclo de trabalho 2020/2021.
- Consideração do **volume mínimo operativo no Decomp** foi uma das atividades priorizadas.

## Objetivo:

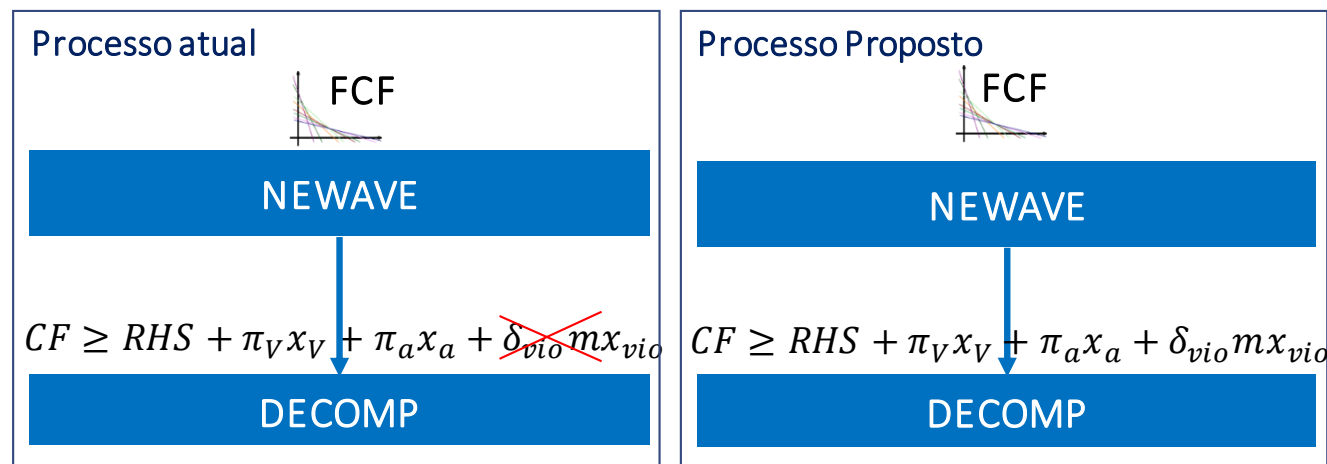
Maior aderência dos modelos de otimização ao que se adota na operação do SIN.

## Atividades:

- Consulta à FCF do Newave com os valores de máxima violação fornecidos externamente (acoplamento considerando  $\pi_x$ ).
- Consideração das restrições RHE.

## Acoplamento considerando $\pi_x$

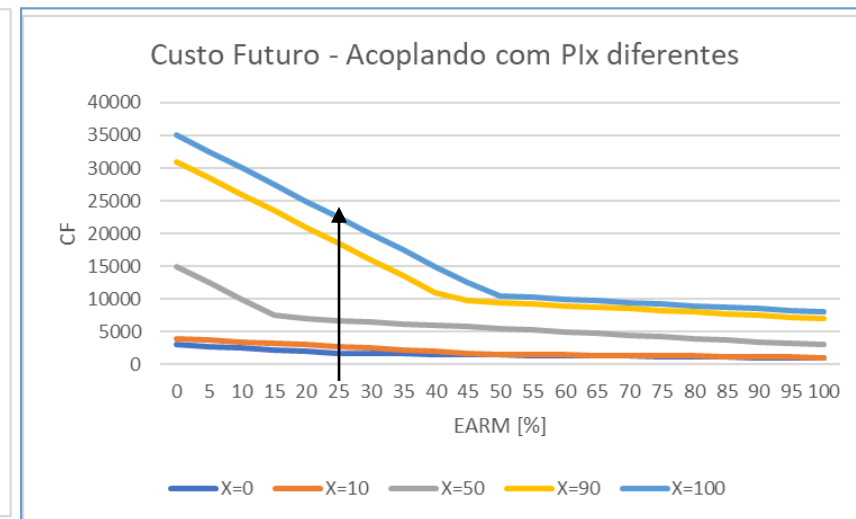
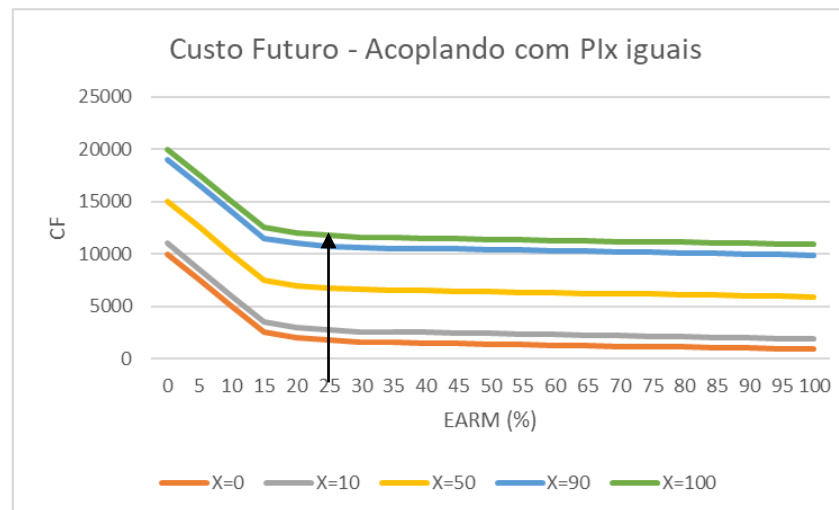
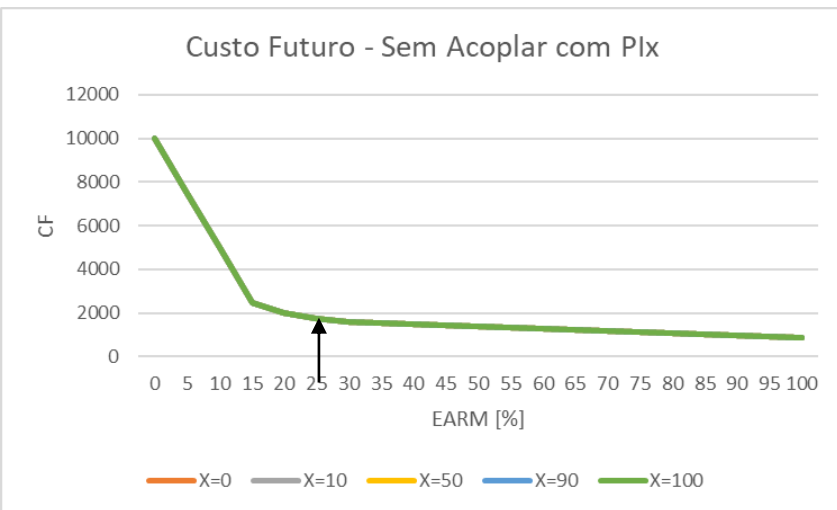
- Os cortes da FCF do modelo Newave possuem os coeficientes (Pix) referentes ao eixo de máxima violação do VminOp, porém o modelo Decomp até a versão 30.3 não faz uso dessa informação. A partir da versão 30.4 tornou-se opcional considerar esta informação no acoplamento do Decomp com a FCF.
- Proposta Decomp: consulta à FCF com os valores de máxima violação fornecidos externamente (registro FB), ou seja, não tem implementação explícita da máxima violação no Decomp.



- ✓ No registro FB é fornecido o valor de  $m x_{vio}$  para acessar os cortes do Newave.

## Exemplo didático considerando o acoplamento com o $\pi_x$

- Suponha que a FCF seja dada por:  $\alpha_i \geq \omega_i - \pi_{v,i}V - \pi_{x,i}X$   $i=1,...,N_{cortes}$

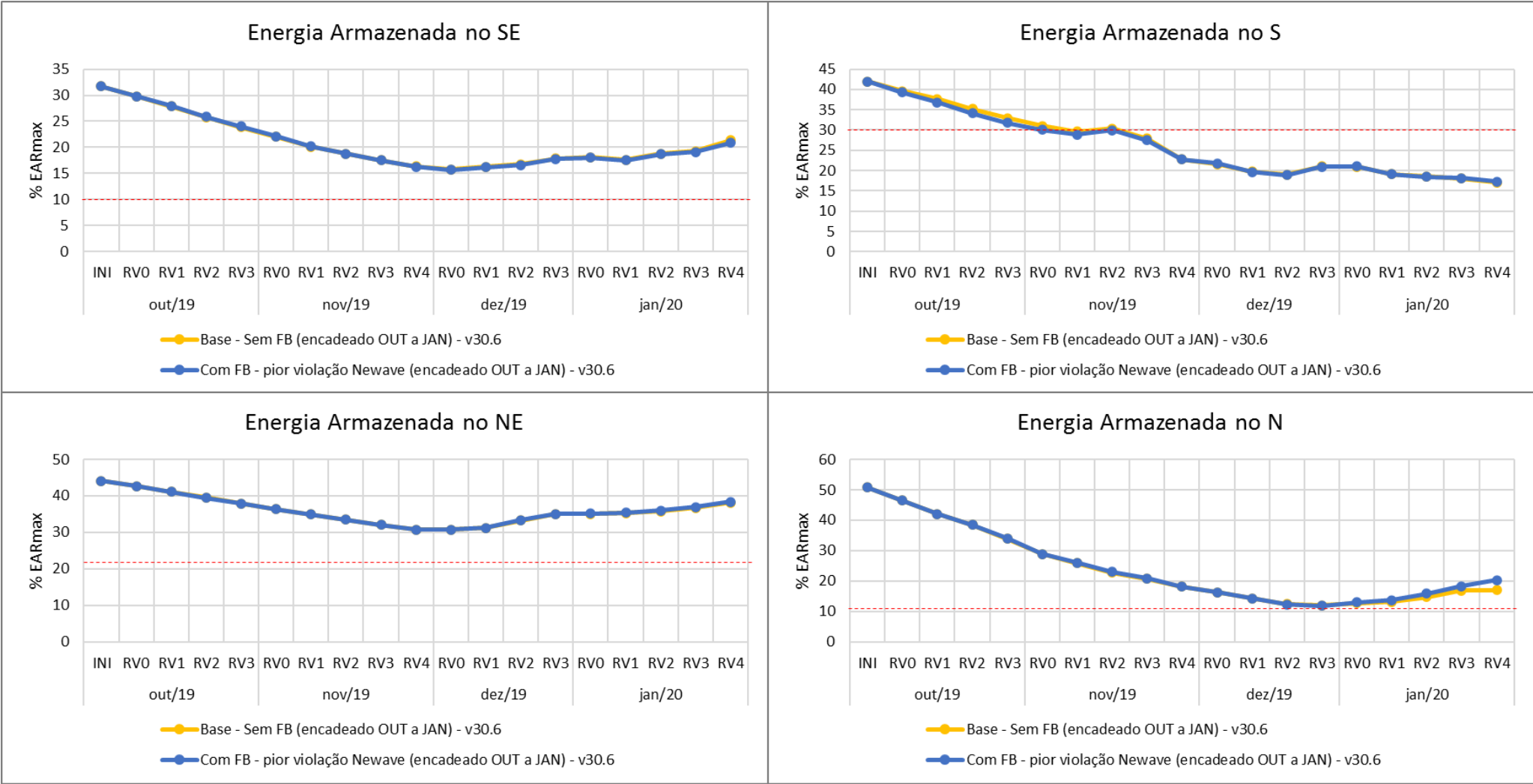


- O custo futuro aumenta à medida que o valor da máxima violação cresce.
- A envoltória da FCF irá se alterar podendo em teoria sinalizar, por exemplo, um maior despacho térmico.
- Porém, na prática não se verificou um ganho na sinalização fornecida ao modelo Decomp.

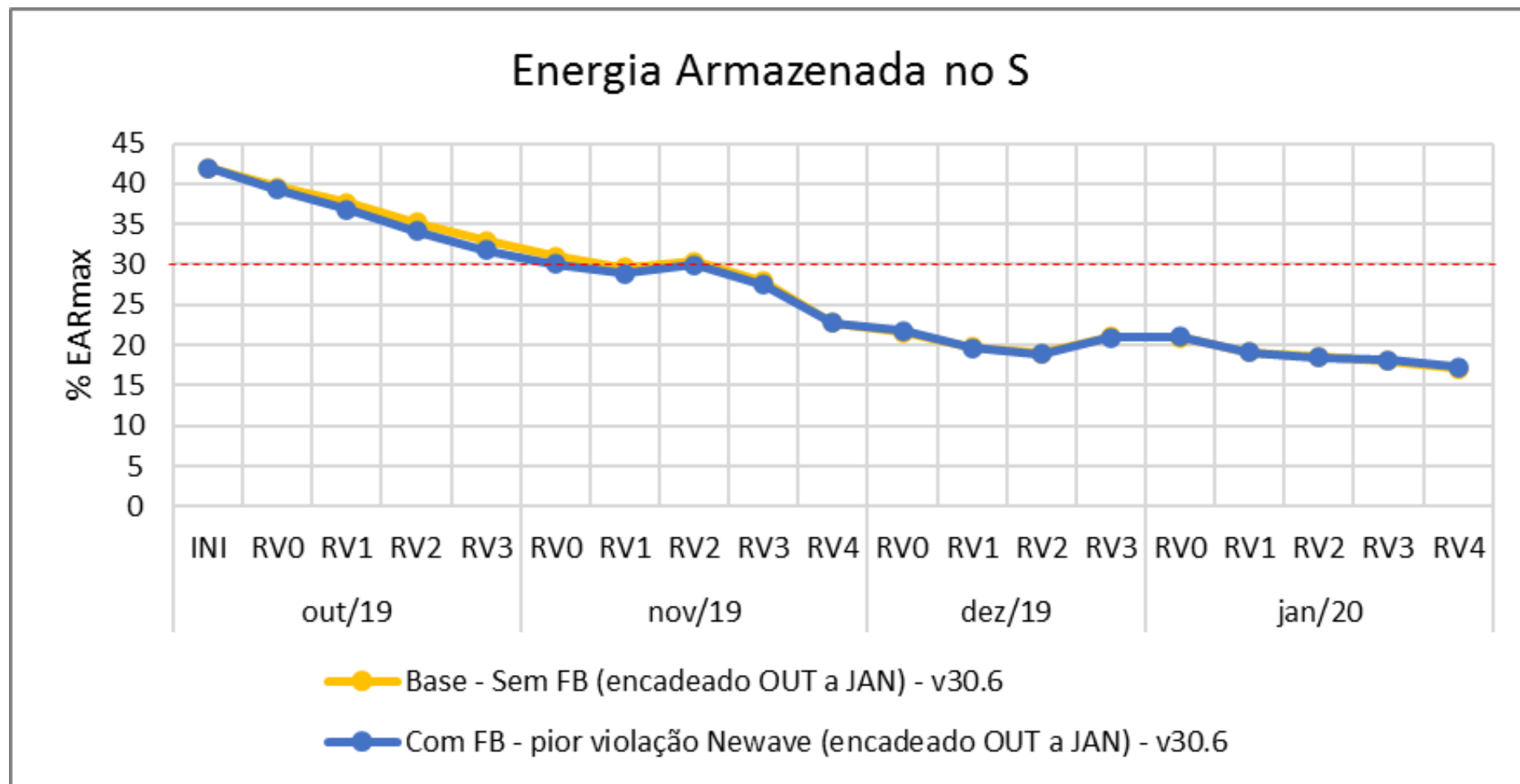
## Acoplamento considerando $\pi_x$

- Estudo encadeado de Decomp versão 30.6:
  - ✓ PMO de outubro 2019 a janeiro de 2020 e revisões.
  - ✓ Considerando como máxima violação o maior valor possível (pior caso).
    - SE/CO: 10% (Paraná, Paranapanema, Sudeste)
    - Sul: 30% (Sul e Iguaçu)
    - Nordeste: 22.5%
    - Norte: 10.7%

# Acoplamento considerando $\pi_x$



## Acoplamento considerando $\pi_x$



## Acoplamento considerando $\pi_x$

- PMO de março 2020
  - ✓ Nos **resultados oficiais da RVO do PMO MAR/20**, o nível de armazenamento do subsistema **Sul estava abaixo do volume mínimo operativo de 30%**, valor adotado no modelo de médio prazo Newave, porém sem que a capacidade máxima de suas térmicas estivessem sendo exploradas.

EARMf					
REE	Sem_01	Sem_02	Sem_03	Sem_04	Sem_05
Sul	27.9	29.3	30.4	31.3	32.6
Iguaçu	17.4	19.8	22.9	26.1	29.1

CMO				
	SE	S	NE	N
PESADA	55.65	74.34	55.65	52.30
MEDIA	55.01	73.33	55.01	52.30
LEVE	52.30	52.30	52.30	52.30

GT				
	SE	S	NE	N
PESADA	2570.0	685.0	807.7	658.5
MEDIA	2570.0	685.0	807.7	658.5
LEVE	2570.0	685.0	807.7	658.5

GTmax Sul = 1893.1 MWmed



## Acoplamento considerando $\pi_x$

- Energia armazenada nos subsistemas (% EARM máxima)

Oficial						
REE	Inic.	Sem_01	Sem_02	Sem_03	Sem_04	Sem_05
SUDESTE	31	32.6	34.2	35.9	37.5	38.9
MADEIRA	73.5	78.8	81.9	84.4	89.8	92.2
TPIRES	93.5	100	98.8	98.3	98	100
ITAIPU	0	78.7	100	100	73.7	18.7
PARANA	42	46.8	51.8	56.9	61.9	66.3
PRNPANEMA	38.1	39.8	41.4	43.1	45.5	47.1
SUL	26.3	28.0	29.4	30.5	31.4	32.7
IGUACU	15.1	17.3	19.6	22.8	25.8	28.8
NORDESTE	59.9	63.8	65.9	69	72.3	74.7
NORTE	47	51.7	57.8	65.9	72.7	74
BMONTE	59.6	76.5	95.4	100	100	100
MAN-AP	18.6	19.3	20.3	21	21.7	23.2

Oficial + FB (máxima violação)						
REE	Inic.	Sem_01	Sem_02	Sem_03	Sem_04	Sem_05
SUDESTE	31	32.4	34	35.7	37.4	38.8
MADEIRA	73.5	78.8	81.9	84.4	89.8	92.2
TPIRES	93.5	100	98.8	98.3	98	100
ITAIPU	0	73.7	100	100	72.8	20
PARANA	42	46.9	51.8	56.9	62	66.4
PRNPANEMA	38.1	39.8	41.4	43.1	45.5	47.1
SUL	26.3	28	29.5	30.6	31.4	32.6
IGUACU	15.1	17.2	19.5	22.6	25.7	28.7
NORDESTE	59.9	63.9	66	69	72.2	74.7
NORTE	47	51.7	57.8	65.9	72.6	73.9
BMONTE	59.6	76.5	95.4	100	100	100
MAN-AP	18.6	19.3	20.3	21	21.7	23.2

# Acoplamento considerando $\pi_x$

- Geração térmica nos subsistemas (MWmed)

Oficial					
SUBSISTEMA	Sem_01	Sem_02	Sem_03	Sem_04	Sem_05
SE	3116	2831.1	3301.8	3426.6	3429
S	685	685	615.6	718	675
NE	807.7	371.2	371.2	371.2	1454.4
N	658.5	663.5	658.5	658.5	658.5
SIN	5267.2	4550.8	4947.1	5174.3	6216.9

Oficial + FB (máxima violação)					
SUBSISTEMA	Sem_01	Sem_02	Sem_03	Sem_04	Sem_05
SE	3116	2831.1	3301.8	3426.6	3429
S	685	685	615.6	716.7	675
NE	807.7	371.2	371.2	371.2	1454.4
N	658.5	663.5	658.5	658.5	658.5
SIN	5267.2	4550.8	4947.1	5173	6216.9

# Acoplamento considerando $\pi_x$

- Custo de operação e valor esperado do custo futuro ( 1.000 \$ )

Oficial					
	Sem_01	Sem_02	Sem_03	Sem_04	Sem_05
*COP	75726.2	53657.4	52349.5	53505.4	53020.5
E(CF)	70843050	70942843	71044452	71145216	71246893
CTOT	7.09E+07	7.10E+07	7.11E+07	7.12E+07	7.13E+07

Oficial + FB (máxima violação)					
	Sem_01	Sem_02	Sem_03	Sem_04	Sem_05
*COP	75726.2	53657.4	52349.5	53490.4	53020.5
E(CF)	78376509	78492692	78610708	78728056	78846406
CTOT	7.85E+07	7.85E+07	7.87E+07	7.88E+07	7.89E+07

Diferenças [Oficial + FB (máxima violação)] - [Oficial]					
	Sem_01	Sem_02	Sem_03	Sem_04	Sem_05
*COP	0	0	0	-15	0
E(CF)	7533459	7549849	7566257	7582840	7599513
Aumento custo futuro:	11%	11%	11%	11%	11%

## Acoplamento considerando $\pi_x$

- Conclusões:
  - ✓ Apenas a consulta à FCF com os valores de máxima violação fornecidos externamente (via registro FB) não trouxe a sinalização necessária nos casos simulados para despachar mais térmicas e aumentar os níveis de armazenamentos dos reservatórios equivalentes de energia do SIN. Entretanto, o custo futuro aumentou.
  - ✓ Avaliar a consideração das restrições RHE no modelo Decomp.

## Consideração das restrições RHE

- Nessa abordagem, diferentemente da abordagem considerando o Pix, o modelo Decomp considera explicitamente as restrições de níveis mínimos em cada reservatório equivalente de energia (REE).
- Caso a restrição não seja atendida há duas opções:
  - ✓ Tratar como inviabilidade o não atendimento (relaxação da restrição - hard);
  - ✓ Tratar como uso de recurso, violável (penalidade - soft).

# Consideração das restrições RHE

Cálculo Política

- Tratar como inviabilidade o não atendimento (relaxação da restrição)

$$\min \sum_{i=1}^{NTER} (CT_i * GT_i) + \sum_{i=1}^{NSIS} (CD * DEF_i) + \boxed{BM * \Delta i_t} + \left(\frac{1}{1+\beta}\right) \alpha_{t+1}$$

$$\Delta i_t = \Delta 1_t, \Delta 2_t, \Delta 3_t$$

BM: Big M, penalidade muito grande

CP

$$V_{t+1} = V_t + AFL_t - GH_t - Vert_t$$

$$GH_t + GT_t + DEF_t + Imp - Exp = D_t$$

$$V_t + \Delta 1_t \geq V_{MINop}$$

$$\alpha_{t+1} - \pi_t^v * EARM_{f,t} \geq RHS + \pi_t^a * ENA_{t-1}$$

- Tratar como uso de recurso, violável (penalidade)

$$\min \sum_{i=1}^{NTER} (CT_i * GT_i) + \sum_{i=1}^{NSIS} (CD * DEF_t) + \boxed{BM * \Delta i_t} + \boxed{P * \Delta 1_t} + \left(\frac{1}{1+\beta}\right) \alpha_{t+1}$$

$$\Delta i_t = \Delta 2_t, \Delta 3_t$$

CP

$$V_{t+1} = V_t + AFL_t - GH_t - Vert_t$$

$$GH_t + GT_t + DEF_t + Imp - Exp = D_t$$

$$V_{f,t} + \Delta 1_t \geq V_{MINop}$$

$$\alpha_{t+1} - \pi_t^v * EARM_{f,t} \geq RHS + \pi_t^a * ENA_{t-1}$$

# Consideração das restrições RHE

Simulação Final

- Tratar como inviabilidade o não atendimento (relaxação da restrição)

SF

$$\min \sum_{i=1}^{NTER} (CT_i * GT_i) + \sum_{i=1}^{NSIS} (CD * DEF_i) + \left(\frac{1}{1+\beta}\right) \alpha_{t+1}$$

$$V_{t+1} = V_t + AFL_t - GH_t - Vert_t$$

$$GH_t + GT_t + DEF_t + Imp - Exp = D_t$$

$$V_t \geq V_{MINop\_flex}$$

$$\alpha_{t+1} - \pi_t^v * EARM_{f,t} \geq RHS + \pi_t^a * ENA_{t-1}$$

- ✓ Necessário flexibilizar a restrição de  $V_{MINop}$  e rodar novamente.
- ✓ O CMO e o VA não são impactados pelo Big M

- Tratar como uso de recurso, violável (penalidade)

SF

$$\min \sum_{i=1}^{NTER} (CT_i * GT_i) + \sum_{i=1}^{NSIS} (CD * DEF_i) + \boxed{P * \Delta 1_t} + \alpha_{t+1}$$

$$V_{t+1} = V_t + AFL_t - GH_t - Vert_t$$

$$GH_t + GT_t + DEF_t + Imp - Exp = D_t$$

$$V_t + \Delta 1_t \geq V_{MINop}$$

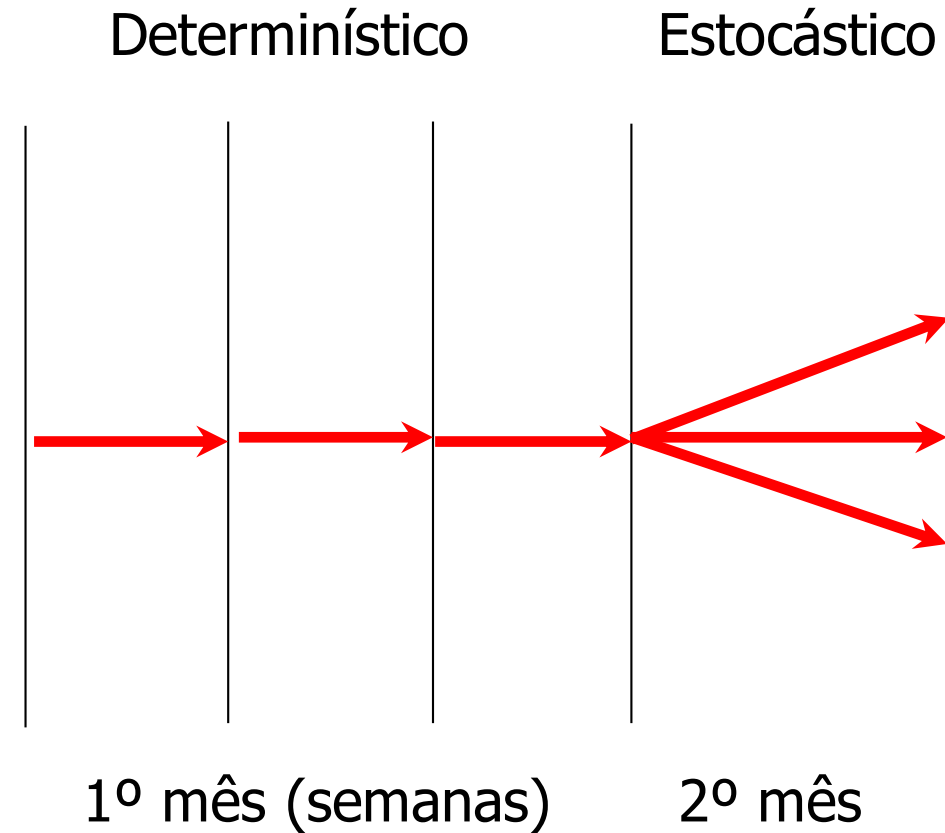
$$\alpha_{t+1} - \pi_t^v * EARM_{f,t} \geq RHS + \pi_t^a * ENA_{t-1}$$

- ✓ Não é necessário flexibilizar a restrição de  $V_{MINop}$ , logo o VA será impactado pela penalidade P quando houver violação.
- ✓ O CMO não necessariamente será impactado.
- ✓ Pode haver acúmulo de penalidades.

## Consideração das restrições RHE

### Alternativas:

- RHE soft
- RHE hard
- RHE mix (1º mês hard e 2º mês soft)





## Consideração das restrições RHE

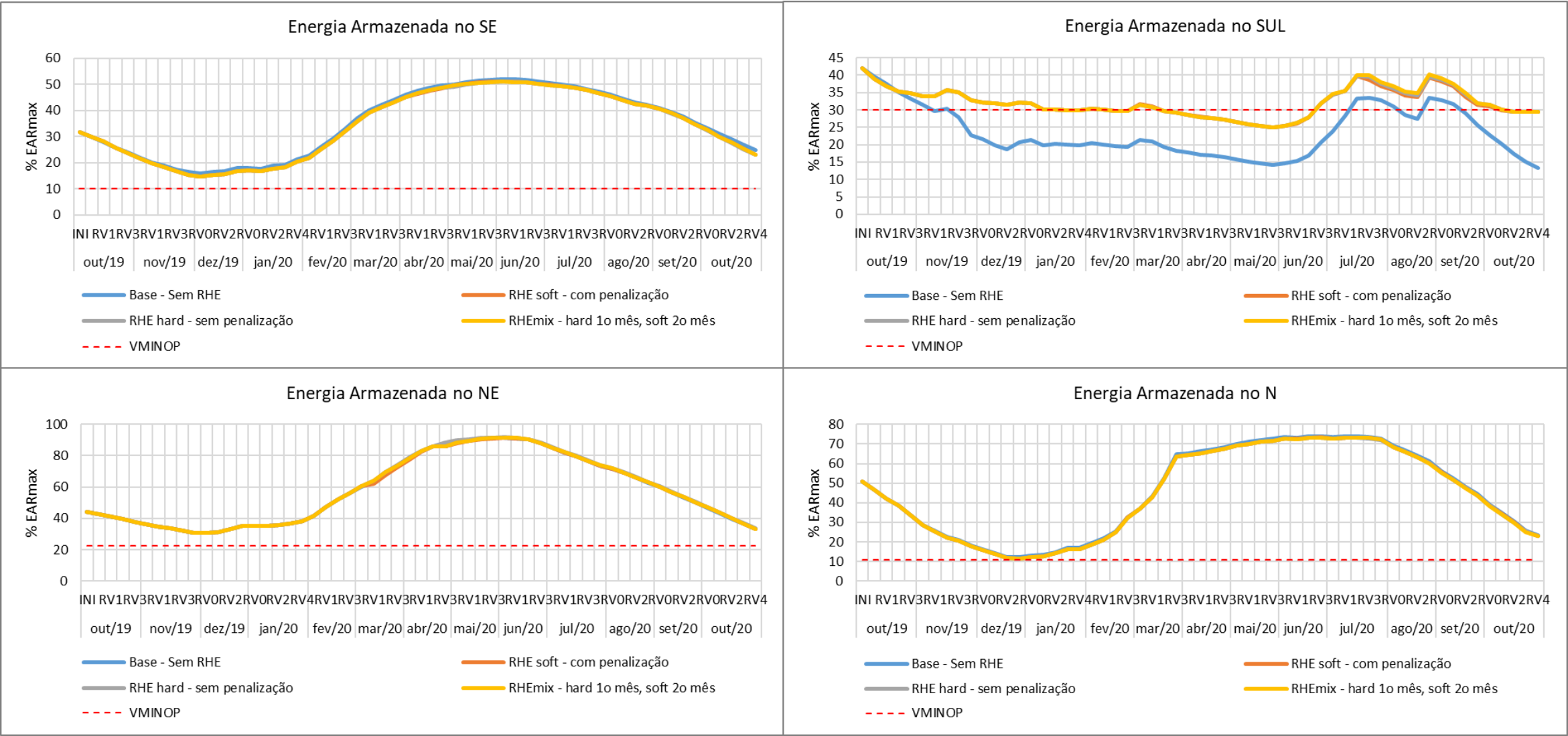
- Estudo encadeado de Decomp versão 30.1\_HE (Newave não foi encadeado):
  - ✓ PMO de **outubro 2019 a outubro de 2020** e revisões.
  - ✓ Considerando os seguintes armazenamentos mínimos:
    - Paraná, Paranapanema, Sudeste: **10%**
    - Sul e Iguaçu: **30%**
    - Nordeste: **22.5%**
    - Norte: **10.7%**

## Consideração das restrições RHE

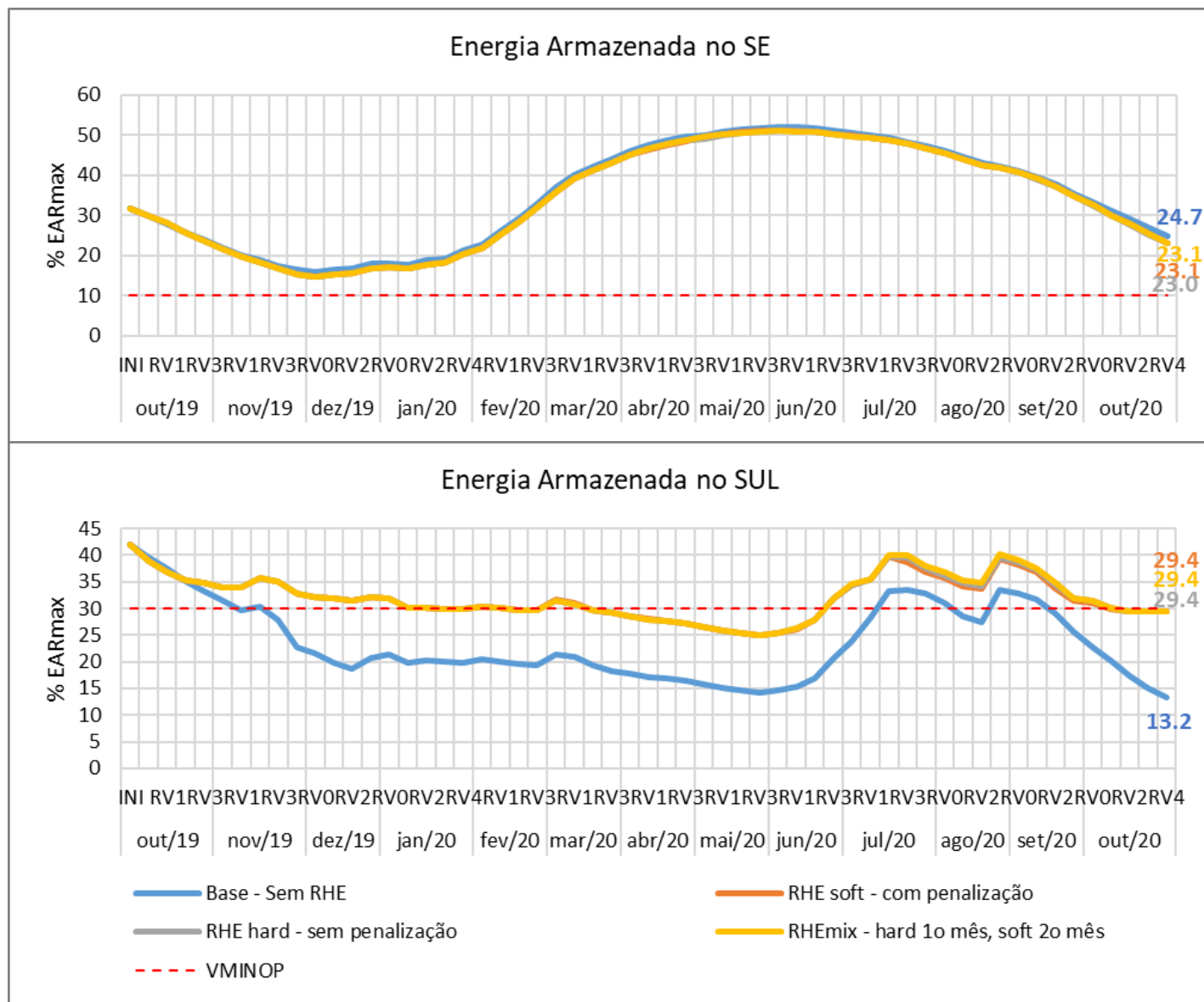
- Foram rodados os seguintes casos:
  - ✓ Base (oficial, sem RHE);
  - ✓ Com restrição **RHE *soft*** com penalização de 1878.43 R\$/MWh\* (tratamento como recurso) em todo os estágios do Decomp;
  - ✓ Com restrição **RHE *hard*** (tratamento como inviabilidade) em todos os estágios do Decomp;
  - ✓ Com restrição **RHE *mix, hard*** nos estágios do primeiro mês (tratamento como inviabilidade) e *soft* no estágio do segundo mês do Decomp (penalização de 1878.43 R\$/MWh).

\*Penalidade menor que o custo de déficit. Valor obtido do CVU da térmica mais cara acrescido por um delta.

# Consideração das restrições RHE



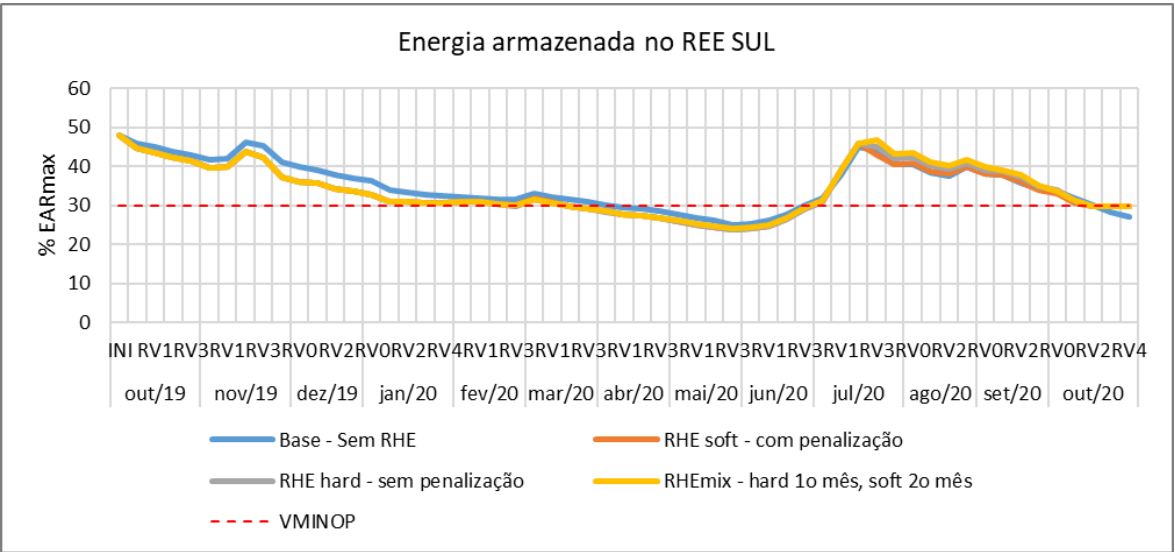
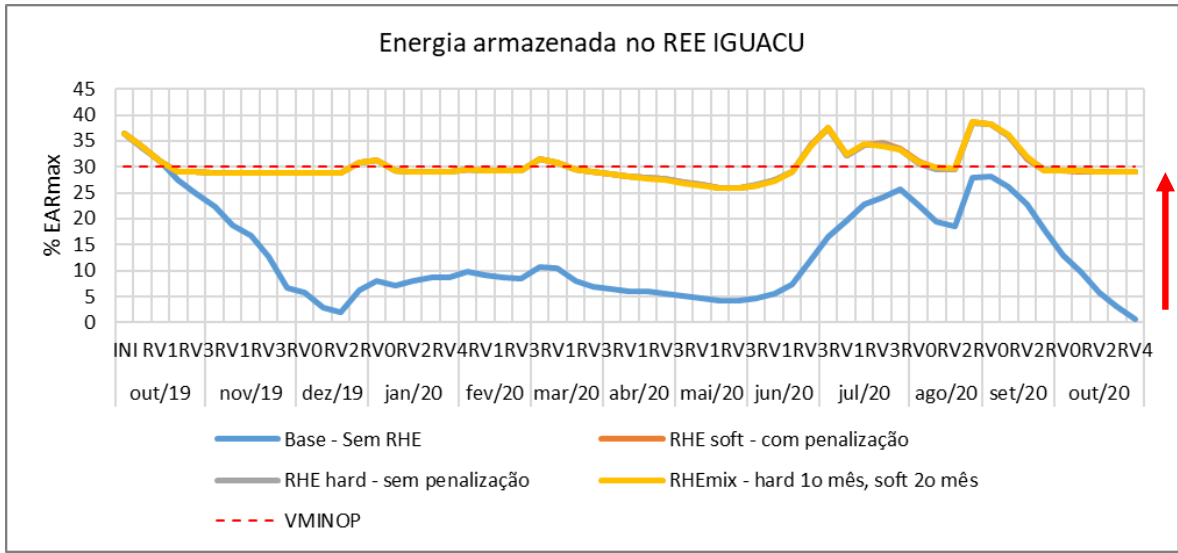
# Consideração das restrições RHE



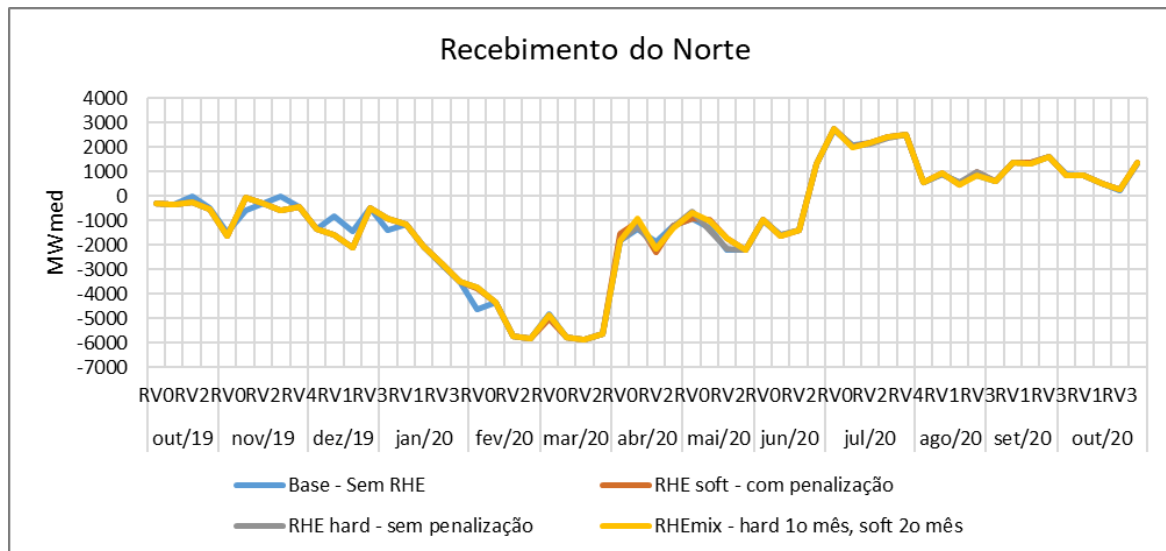
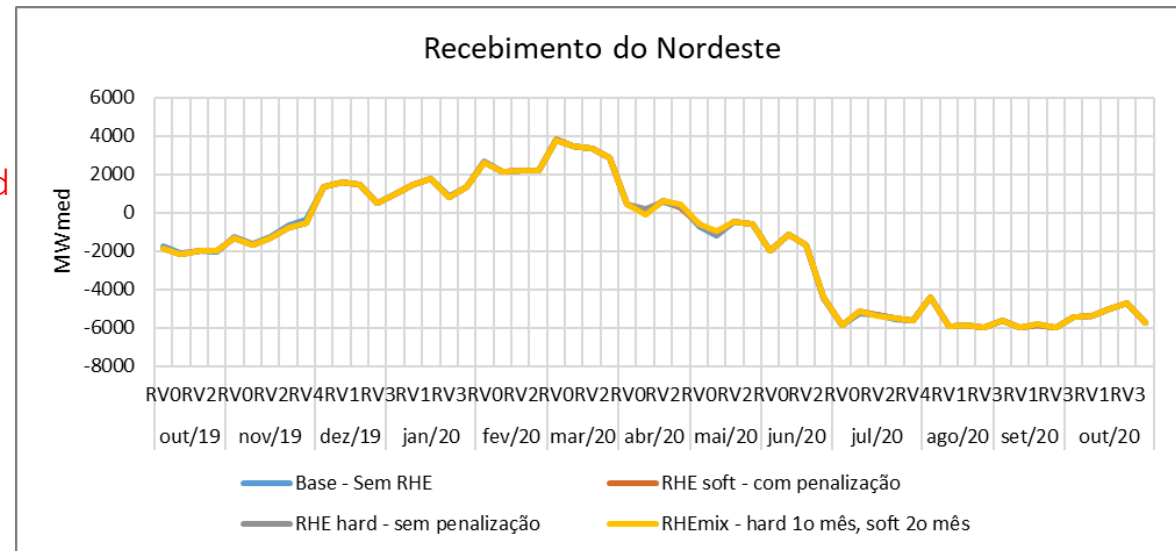
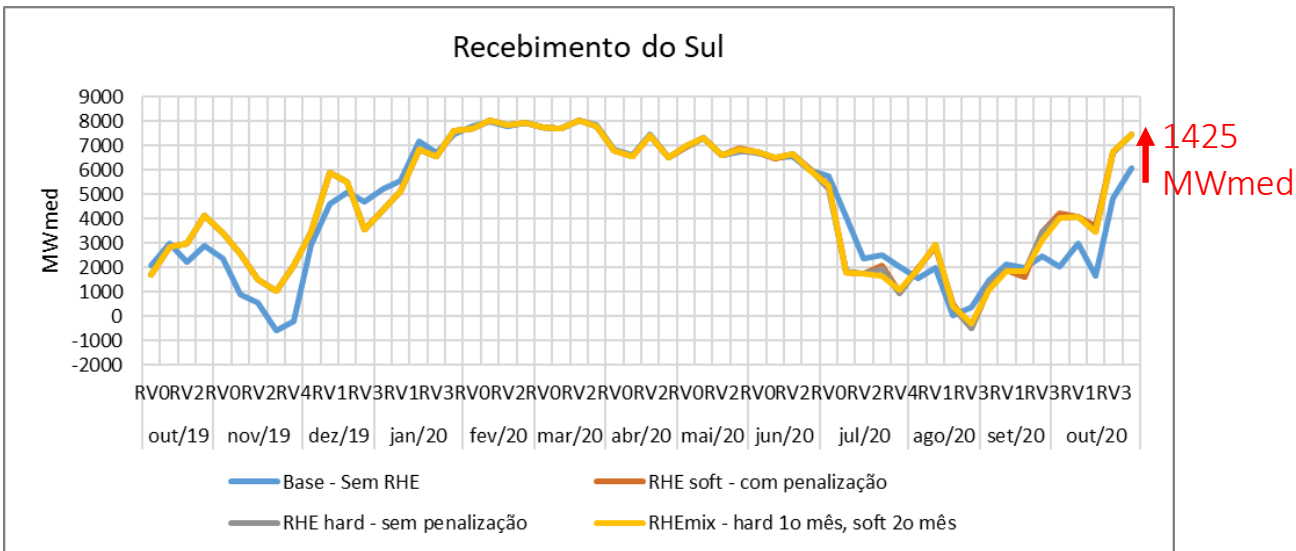
Ao considerar RHE, o armazenamento no subsistema SE diminuiu em 1.6 % EARmax 3250 MWmed

Ao considerar RHE, o armazenamento no subsistema SUL aumentou em 16.2 % EARmax 3220 MWmed

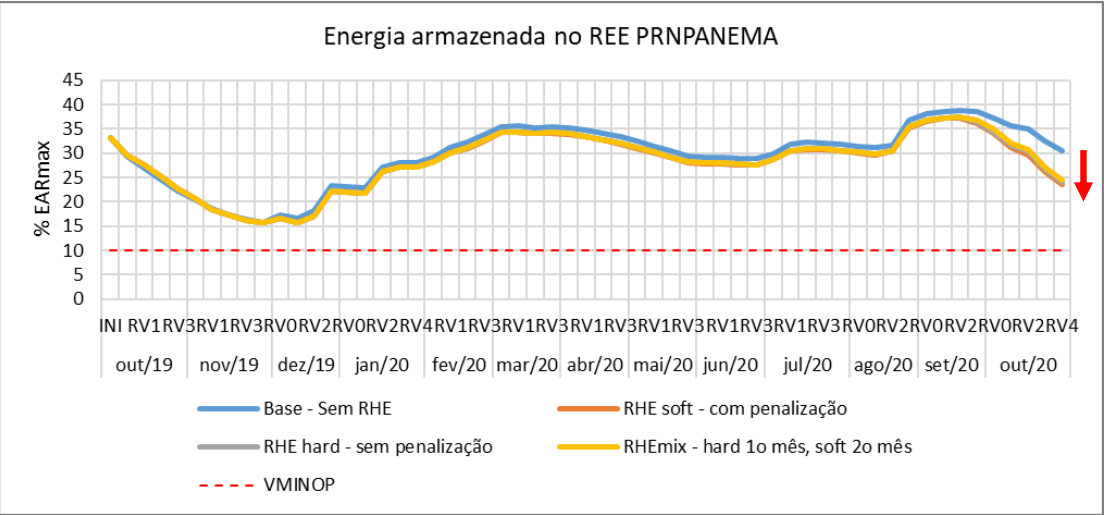
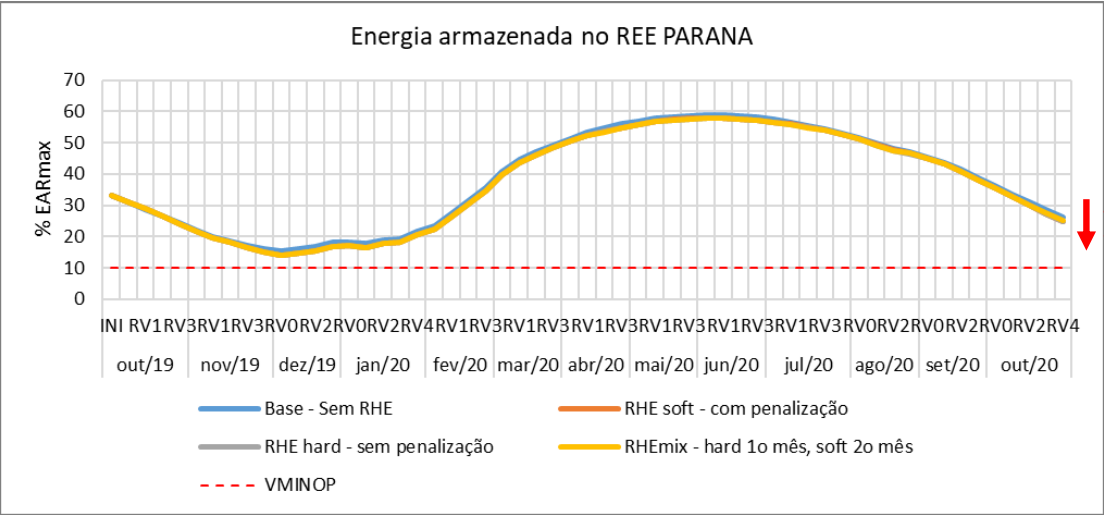
# Consideração das restrições RHE



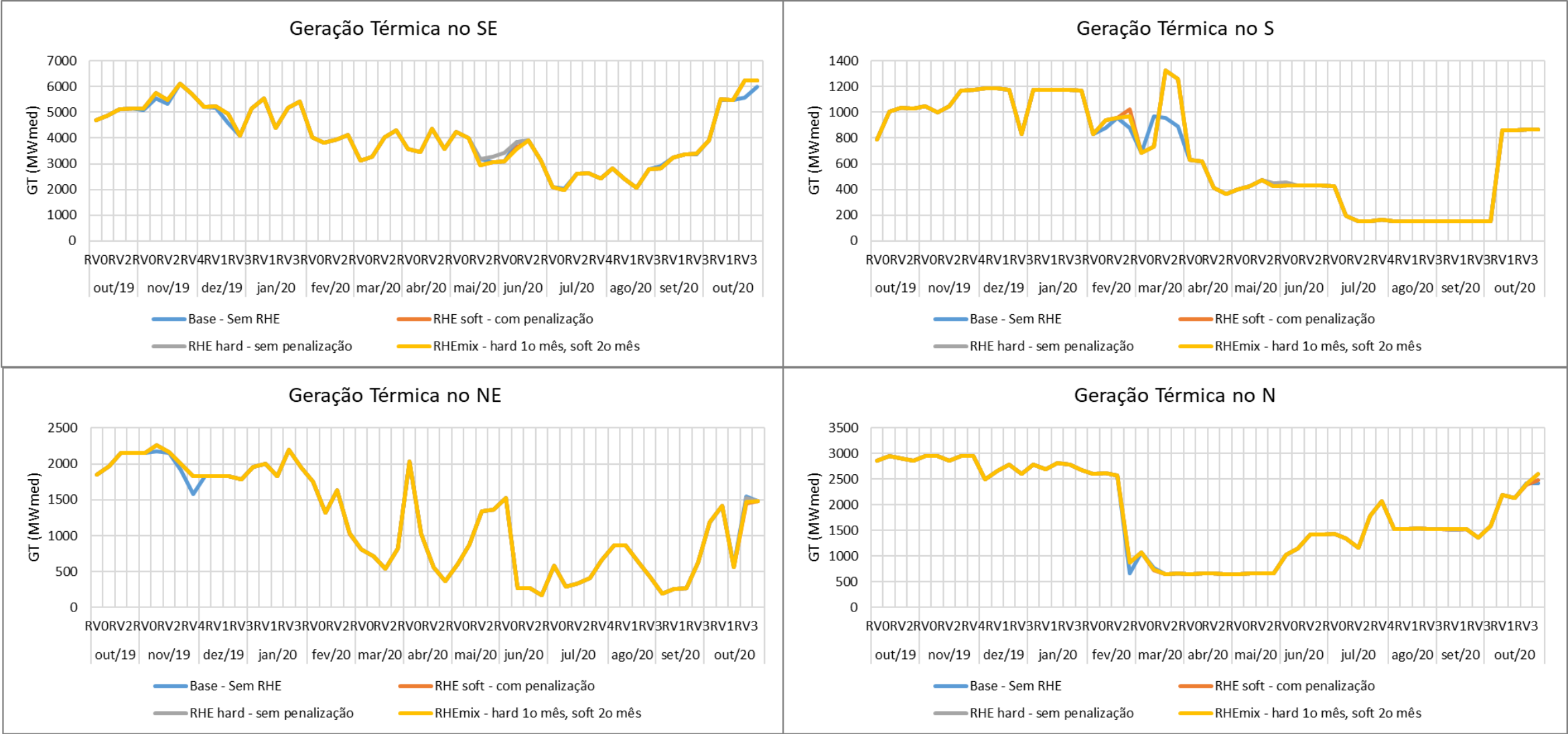
## Consideração das restrições RHE



# Consideração das restrições RHE

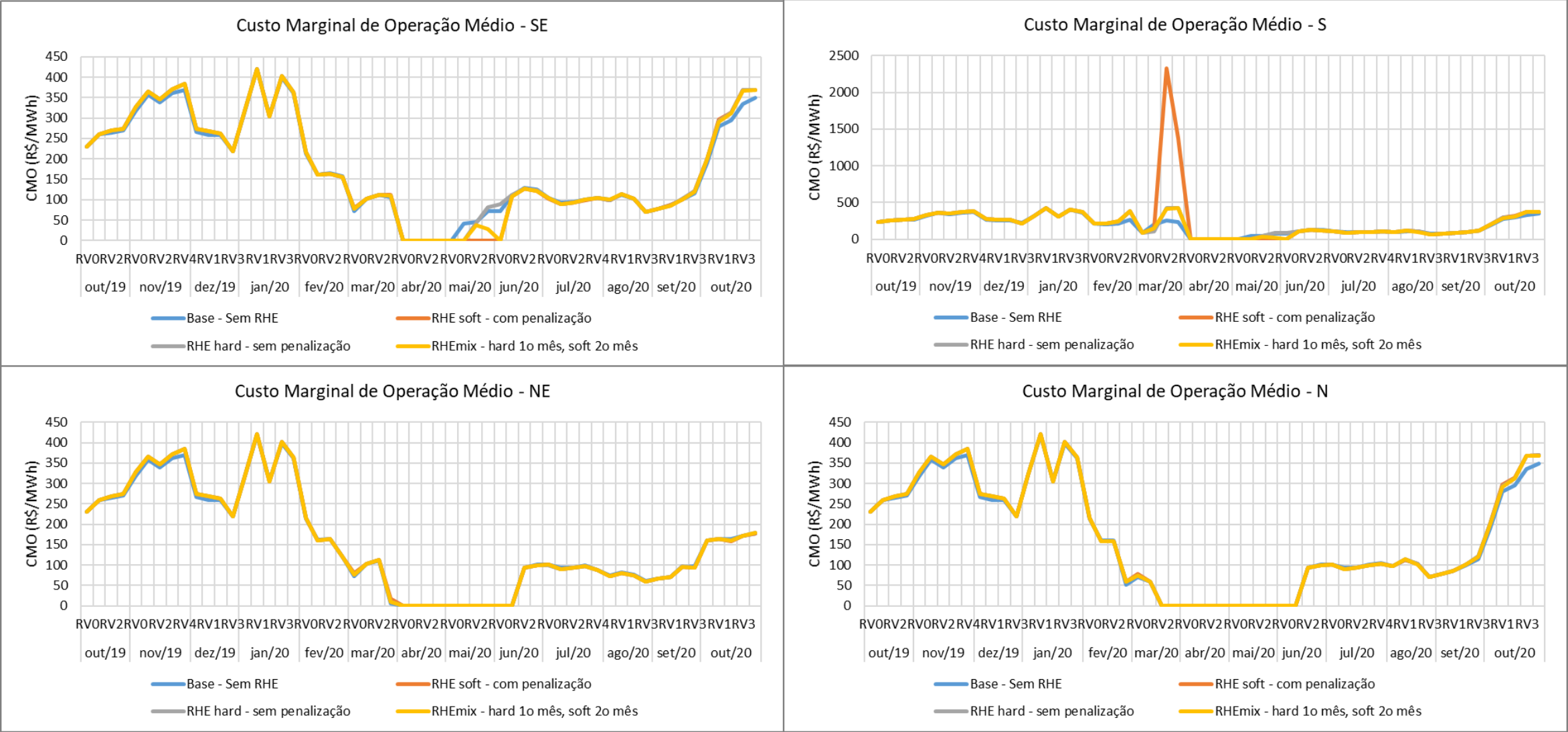


# Consideração das restrições RHE





# Consideração das restrições RHE



# Consideração das restrições RHE

Comparação geral:

Método	RHE soft	RHE hard	RHE mix
Pontos positivos	✓ Respeita a restrição de EARM mínimo	✓ Respeita a restrição de EARM mínimo	✓ Respeita a restrição de EARM mínimo ✓ Evita acúmulo de penalidade no valor da água e seus efeitos no CMO ✓ Evita necessidade de flexibilização excessiva da restrição no 2º mês
Pontos negativos	x Podem ocorrer CMO e valor da água elevados devido ao acúmulo de penalidades ao violar a restrição	x Eventual necessidade de flexibilização da restrição RHE no 2º mês devido a violações que ocorrem em poucos e extremos cenários	-

## Consideração das restrições RHE

Avaliação dos resultados:

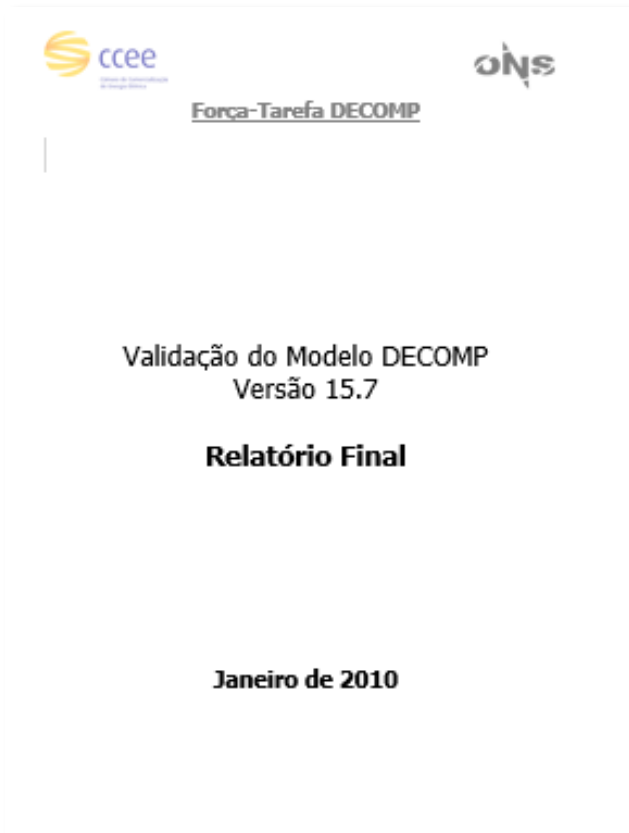
- ✓ Apesar da recuperação do armazenamento do Sul, o modelo deplecionou o SE/CO, portanto não houve ganho de energia armazenada no SIN.

Caso	Energia Armazenada FINAL (Mwmed)
Base - Sem RHE	73658.68
RHE soft - com penalização	73599.14
RHE hard - sem penalização	73550.39
RHE mix - hard 1o mês, soft 2o mês	73635.26

- ✓ Como houve violação de armazenamento mínimo nos REEs, ao utilizar restrições RHE *soft* (com penalização em todos os estágios), foi possível observar o efeito e impacto da penalidade de violação no CMO.
- ✓ A alternativa “RHE mix”, *hard* nos estágios do primeiro mês e *soft* nos estágios do segundo mês, se mostrou promissora.

# Validação da funcionalidade RHE no modelo DECOMP

- A funcionalidade RHE penalizável foi objeto de validação em janeiro de 2010, durante a validação da versão 15.7 do modelo DECOMP



- Inclusão de uma opção no registro HE para alteração do tratamento dado ao não atendimento à restrição de armazenamento mínimo. Caso o usuário opte pelo valor 1, no registro HE, do arquivo DADGER, o não atendimento da restrição é tratado como se fosse a geração de uma usina térmica cujo custo é igual ao valor da penalidade informada. Nessa opção, todos os relatórios serão impressos (modo de impressão para casos viáveis). Além disso, no relatório de saída, após o relatório de convergência, será emitida uma mensagem, informando que o "armazenamento mínimo não foi atingido". Caso o usuário opte pelo valor 0 ou não seja fornecido (valor default), o não atendimento à restrição será tratado como uma inviabilidade. Nesse caso, alguns relatórios não serão impressos (modo de impressão para casos inviáveis).

Trecho do relatório  
de validação

# Validação da funcionalidade RHE no modelo DECOMP

## 5.2 Casos de PMO com nível de segurança – opção “Benders”

Ressalva-se que serão encontradas diferenças nos níveis de armazenamento equivalente, por subsistema, entre os valores publicados nos relatórios e os níveis de segurança ou metas especificados, conforme o estudo. Isso se deve ao fato de que as equações de restrição de armazenamento mínimo são montadas com base em uma produtividade equivalente, enquanto que as energias armazenadas publicadas nos arquivos de saída do modelo são calculadas com base na altura atingida por cada reservatório.

Os casos D15.7\_13 a D15.7\_24 referem-se a testes com PMOs que consideram nível de segurança para a opção “Benders” (PU=0) e cujas penalidades informadas, no registro HE, estão com valor igual a 1, ou seja, a inviabilidade será tratada como uma térmica. Os principais resultados estão indicados a seguir:

Trechos do relatório  
de validação

## 2 Conclusões

Com os testes elaborados com a versão 15.7, realizados e descritos neste relatório, não foram identificados problemas que venham impedir o uso da versão 15.7 do modelo DECOMP, em substituição à versão 15a, atualmente utilizada pelo ONS e pela CCEE para a elaboração do PMO e cálculo do PLD, respectivamente.

Foram realizados estudos nos quais foram testados os novos recursos com a versão 15.7 na modalidade “Benders” (PU = 0) e na modalidade “PL único” (PU = 1), cujos resultados foram considerados adequados pela FT-DECOMP.

Como foram confirmados os resultados esperados nos testes, em conformidade com a documentação da versão 15.7, a FT- DECOMP, considerando a regulamentação vigente, recomenda a substituição da versão 15a do modelo DECOMP, pela versão 15.7, na modalidade “Benders” (PU = 0) e na modalidade “PL único” (PU = 1) que, por apresentar resultados adequados, passa à denominação de versão 16.

# Acompanhamento dos estudos

## Elevação do Armazenamento

Assessoria Técnica:



# Motivação

- Durante a 234ª reunião do CMSE, de 02/set/2020, foi recomendado que a CPAMP avaliasse mecanismos visando a **elevação estrutural dos níveis de armazenamento** dos reservatórios das usinas hidrelétricas, sobretudo aos finais dos períodos secos, bem como propor uma transição capaz de minimizar os impactos no GSF e na tarifa do consumidor de energia elétrica.
- Contexto atual:
  - A média dos cinco meses de setembro/2020 a janeiro/2021 é a **pior do histórico do SIN**;
  - O submercado Sul **operou abaixo dos níveis do VminOp durante grande parte do período**;
  - Nos **últimos anos o SIN apresentou sucessivos níveis baixos de armazenamento**, sem apresentar uma recuperação estrutural nos períodos em que seria natural o replecionamento (período úmido).
- Os modelos computacionais devem responder de **maneira realista à necessidade de elevação dos níveis de armazenamento no SIN**;
- A atividade do **SG Elevação do Armazenamento** será avaliada em conjunto com demais (i.e. SG Volume Mínimo Operativo (DECOMP) e SG Representação Hidrológica).

# Estudos desenvolvidos

- Modelo NEWAVE
  - PMO Fevereiro/2019

- Mês anterior com hidrologia desfavorável
- Despacho de térmicas fora da ordem de mérito

ENA realizada (% MLT)

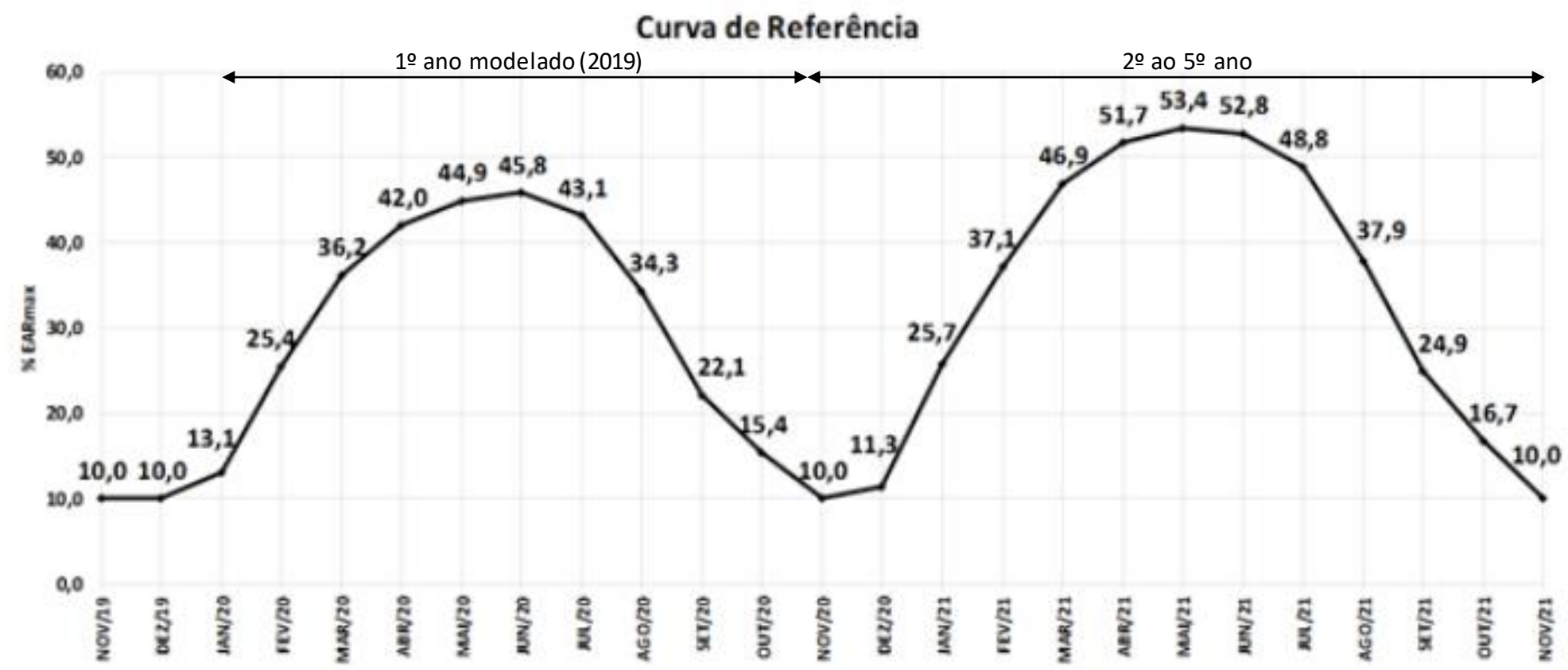
Submercado	Dez/18	Jan/19	Fev/19
SE/CO	96%	64%	66%
SUL	79%	98%	81%
NORDESTE	88%	38%	24%
NORTE	111%	79%	65%
SIN	95%	65%	62%

- Sensibilidades:
  - VMinOp = **10% SE/CO** e 30% Sul (Vigente)
  - VMinOp = **10% SE/CO** e 30% Sul / Regras operativas nas UHEs Furnas e M. Moraes até abril/2019
  - VMinOp = **20% SE/CO** e 30% Sul / Regras operativas nas UHEs Furnas e M. Moraes até abril/2019
  - **Curva de referência CMSE** / Regras operativas nas UHEs Furnas e M. Moraes até abril/2019
  - **Curva de referência CMSE x 1,25** / Regras operativas nas UHEs Furnas e M. Moraes até abril/2019
  - **Curva de referência CMSE + 10%** / Regras operativas nas UHEs Furnas e M. Moraes até abril/2019



# Estudos desenvolvidos

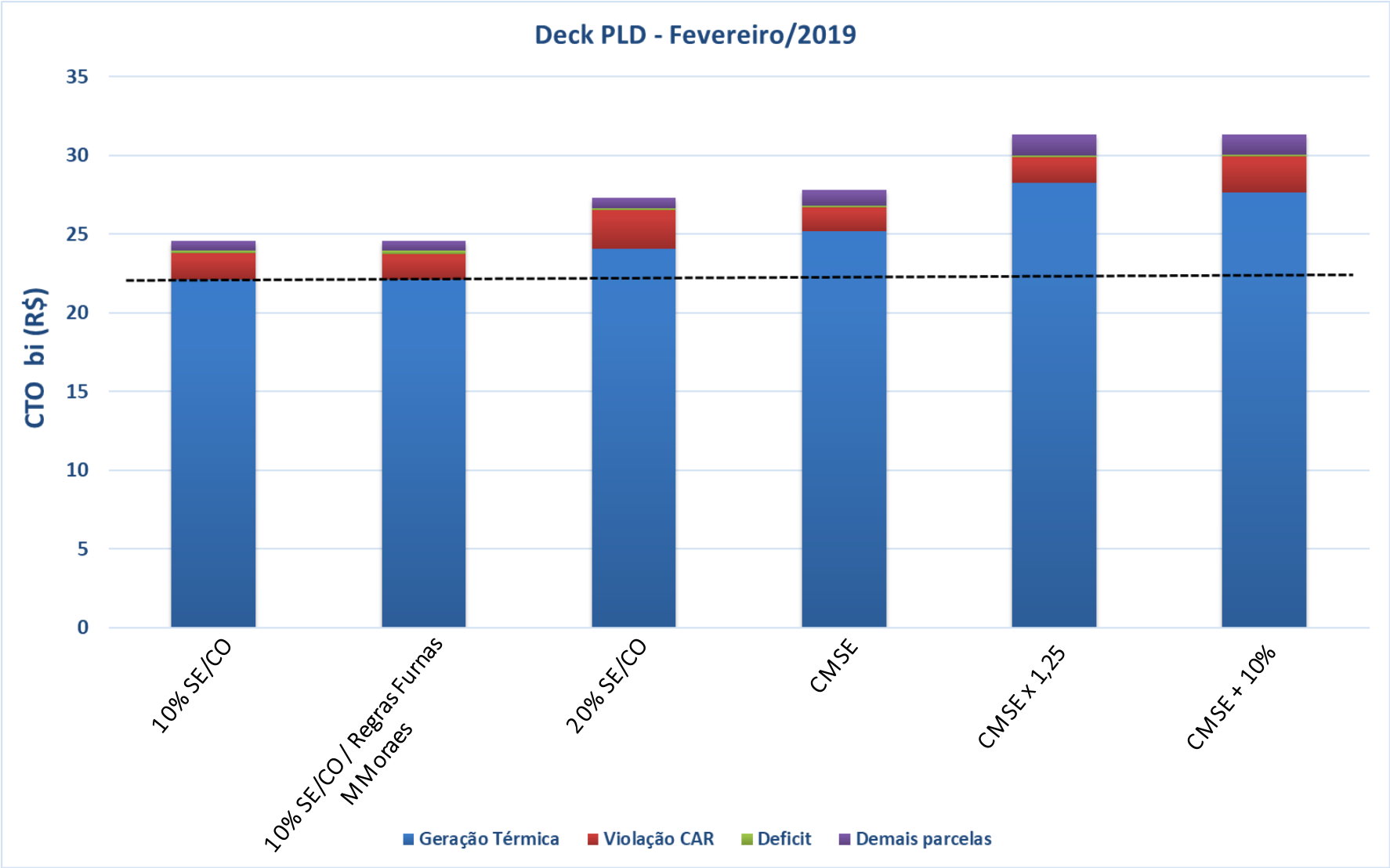
- Curva de referência CMSE (05/02/2019): EArm no submercado SE/CO



Fonte: MME ([http://antigo.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/-/asset\\_publisher/pdAS9lcdBICN/\[...\]N\\_viewMode=print&\\_101\\_INSTANCE\\_pdas9lcdBICN\\_languageId=pt\\_BR](http://antigo.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pdAS9lcdBICN/[...]N_viewMode=print&_101_INSTANCE_pdas9lcdBICN_languageId=pt_BR))

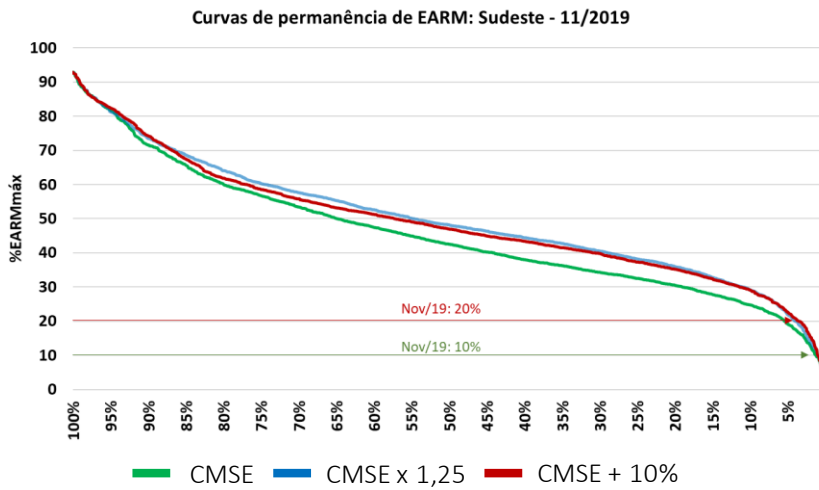
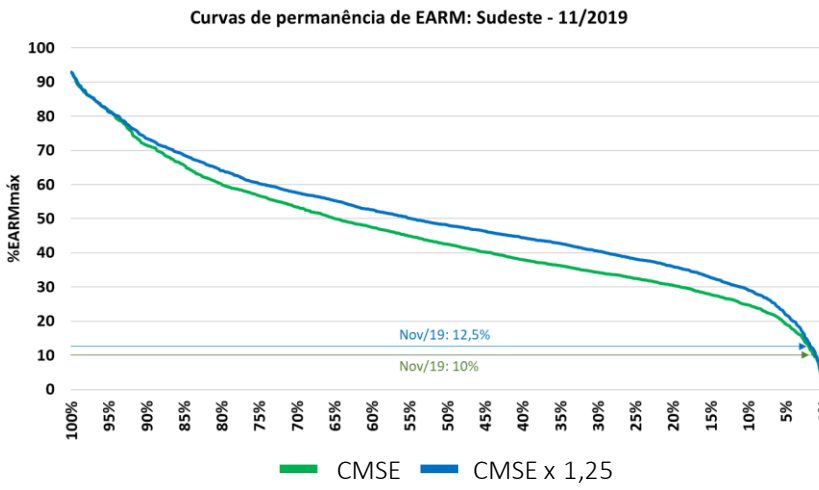
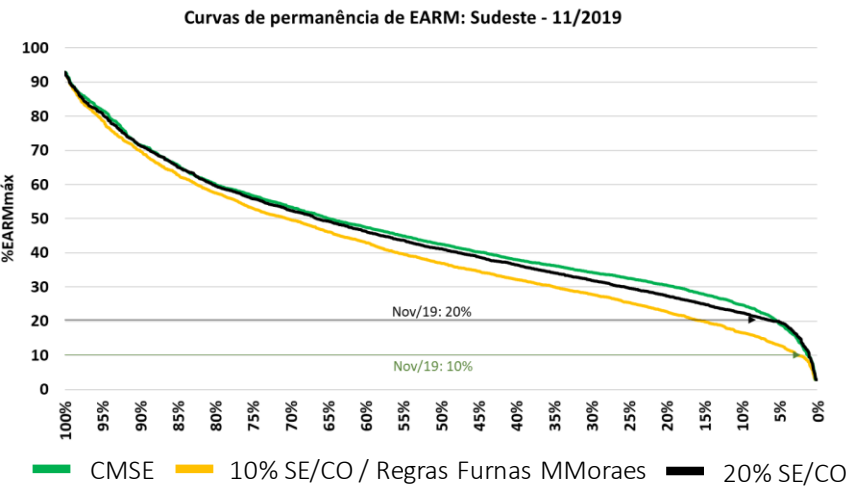
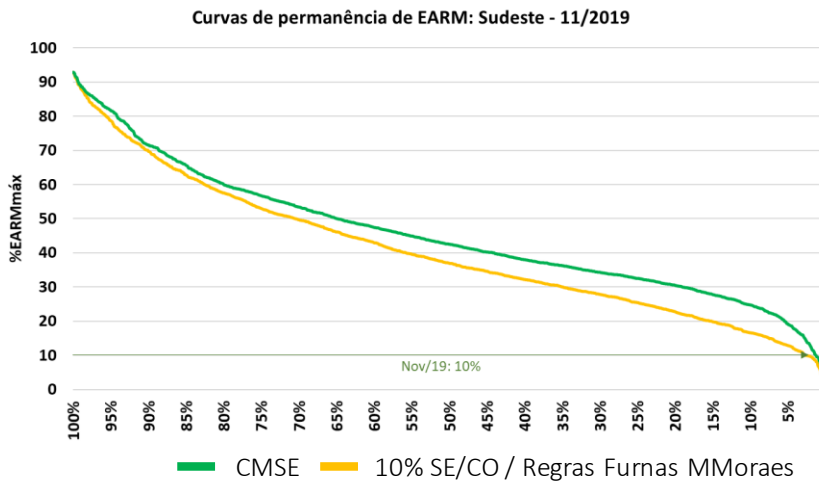
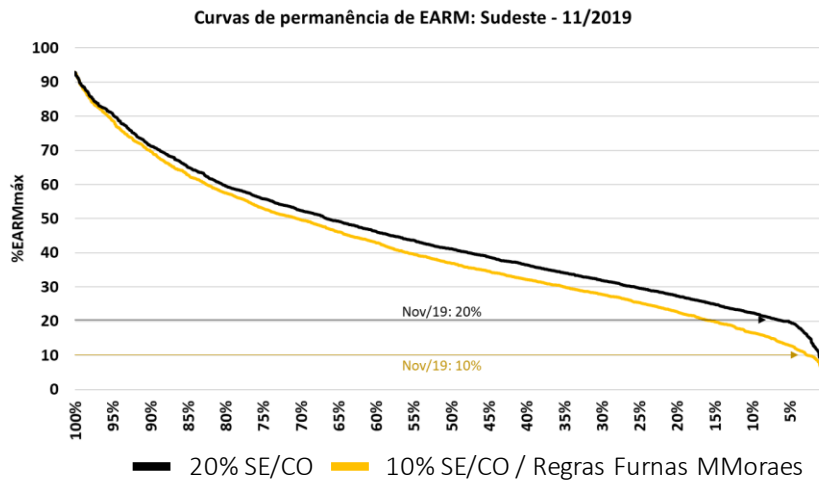
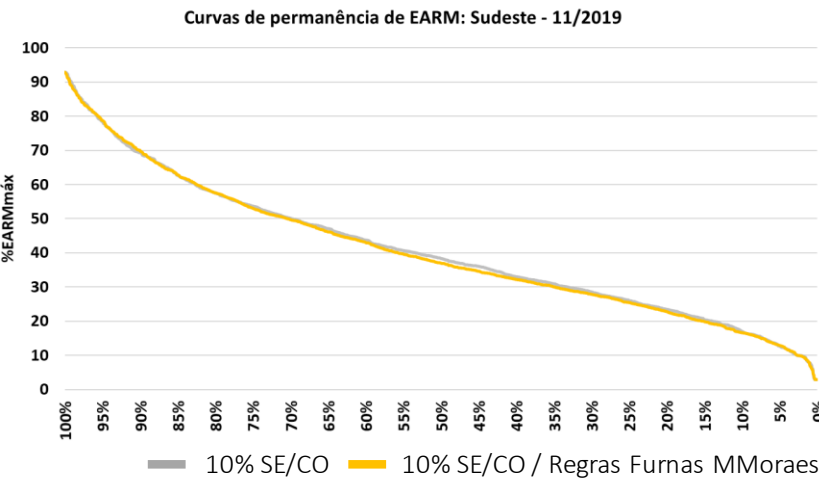
# Resultados iniciais

- Custos Totais de Operação



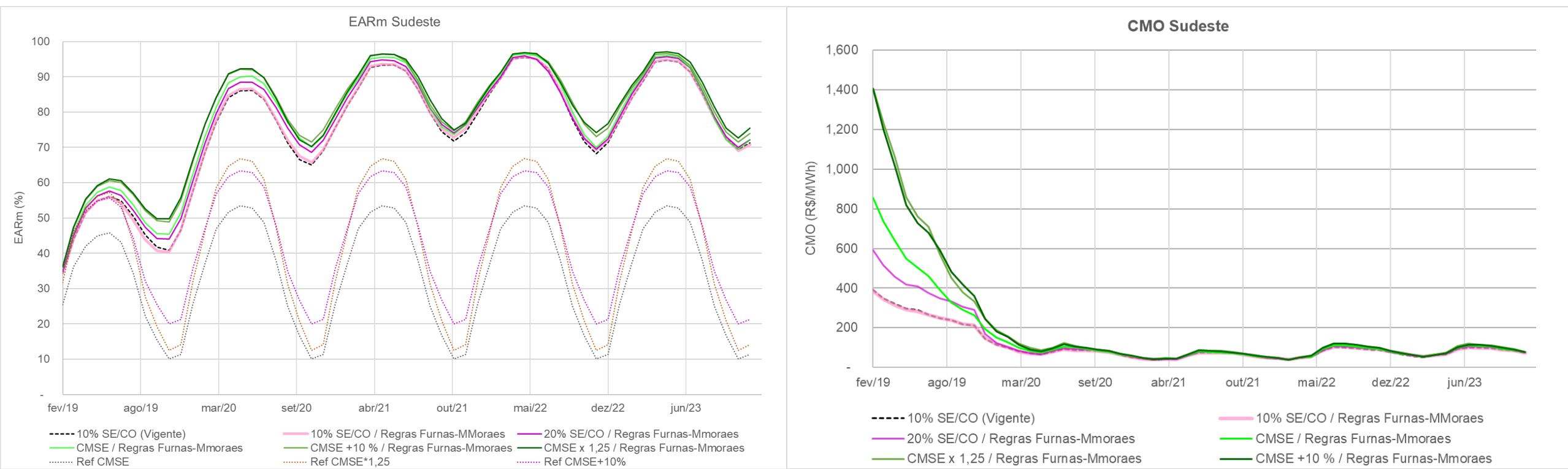
# Resultados iniciais

- Curvas de permanência dos 2.000 cenários de EArm no SE/CO em novembro/2019



# Resultados iniciais

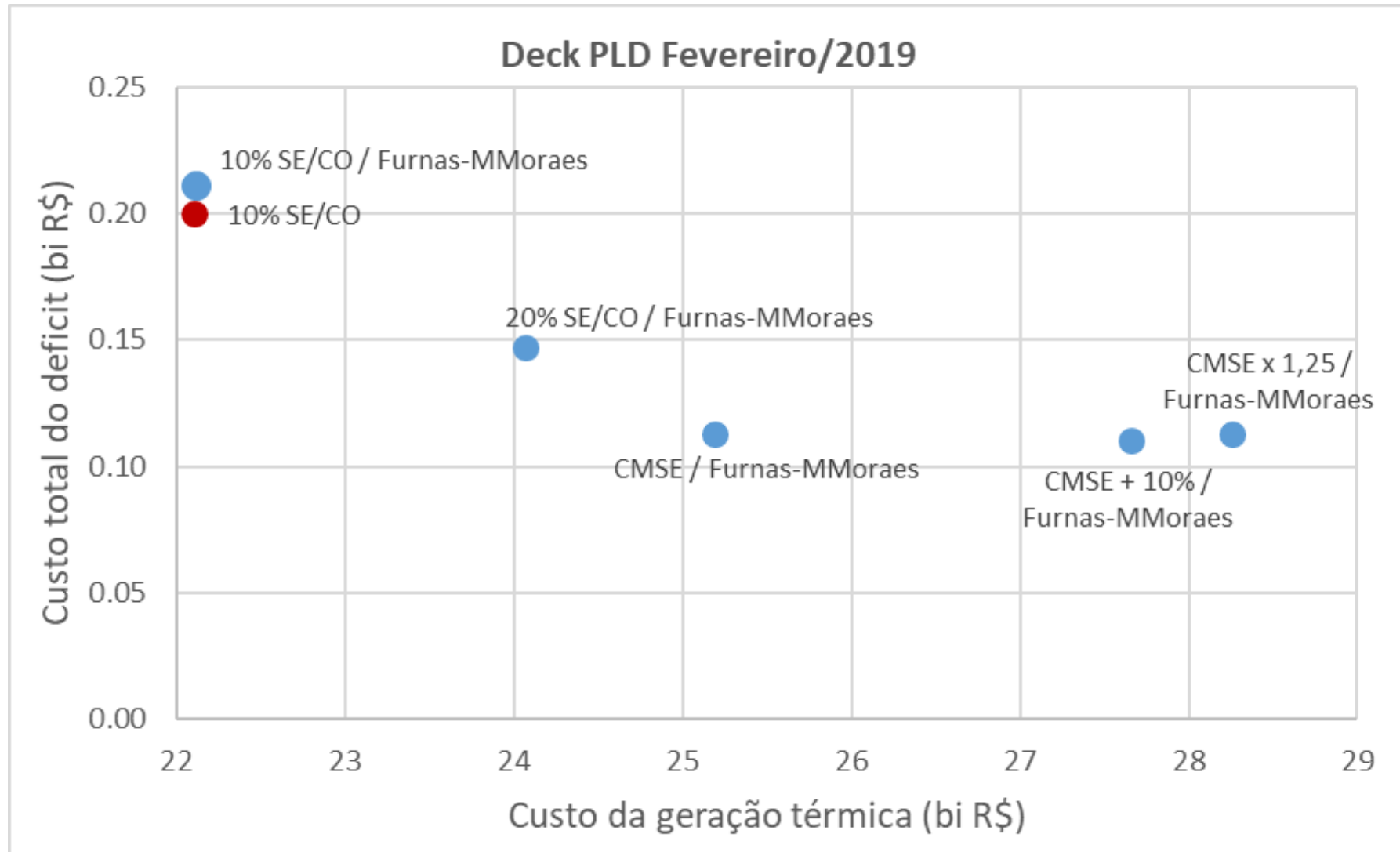
- Média dos 2.000 cenários do modelo NEWAVE



## Resultados iniciais

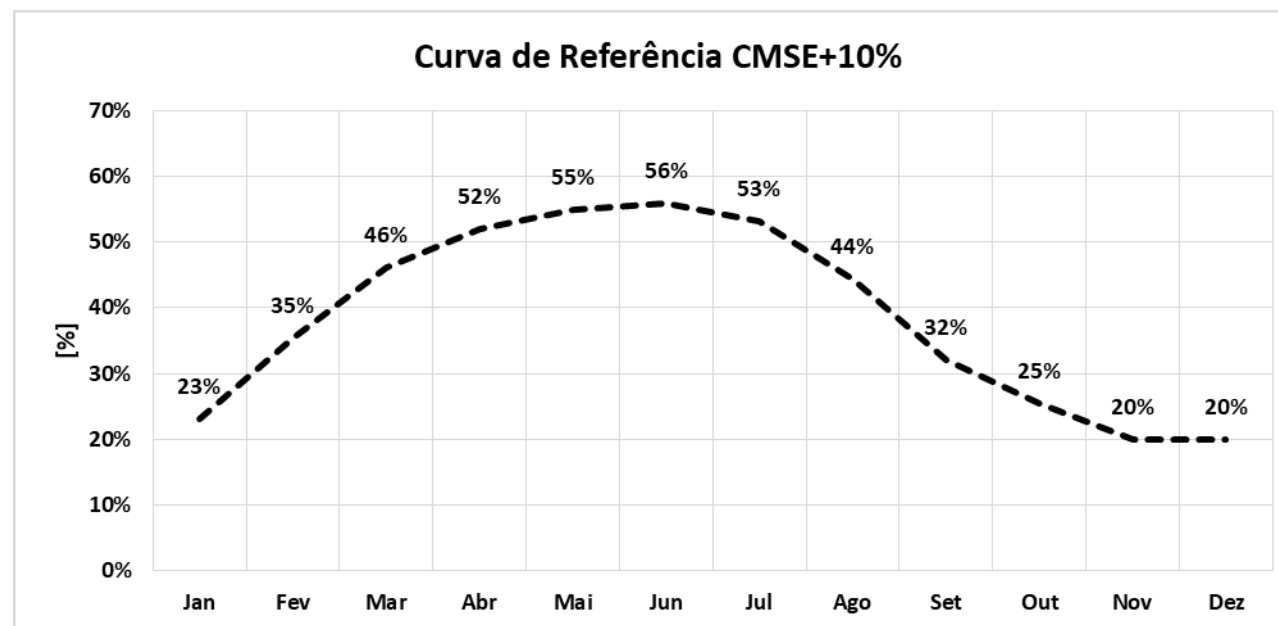
- Gráfico de Pareto

Horizonte completo: 5 anos

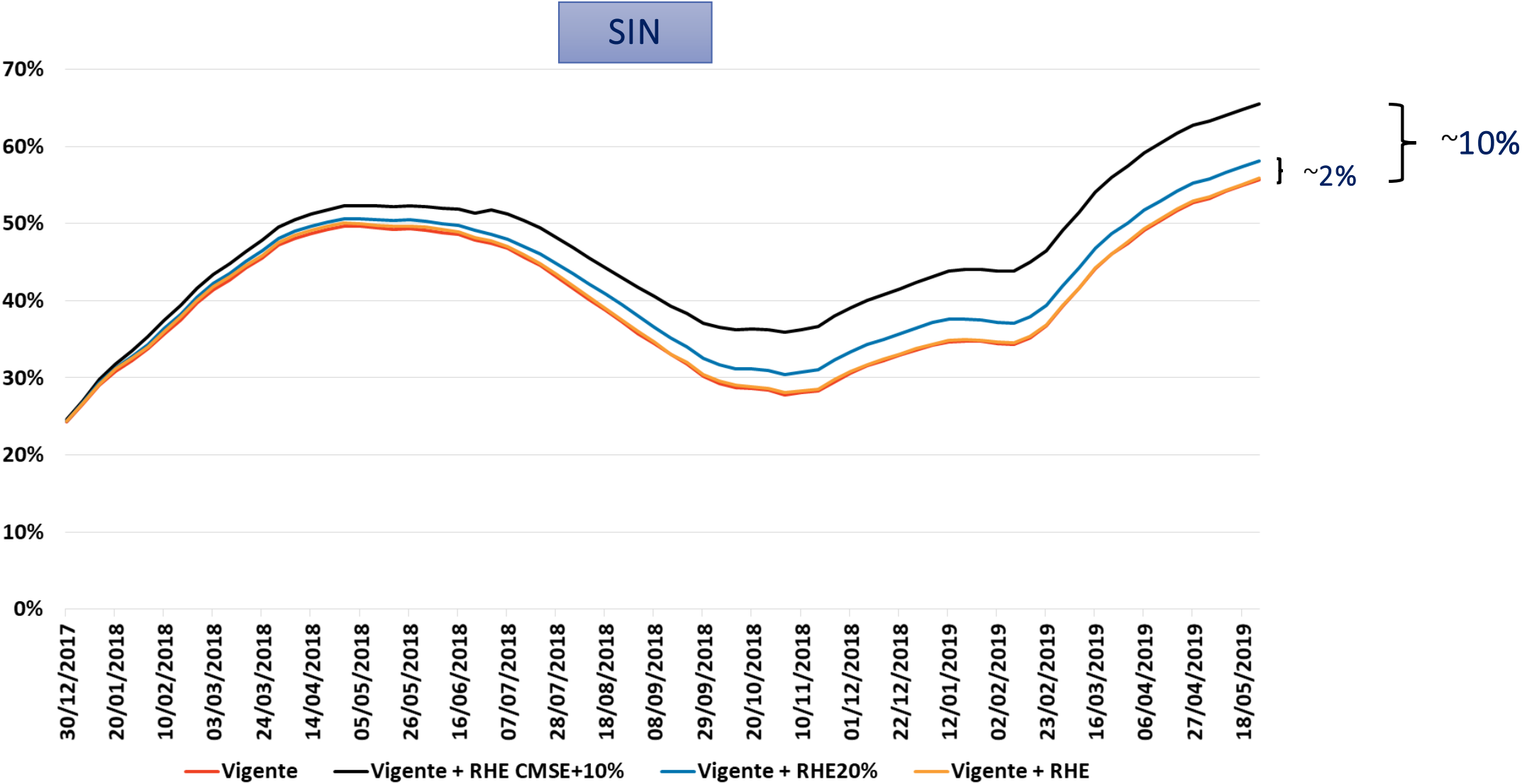


# Resultados iniciais

- Backtest: janeiro/2018 a junho/2019 -> Período seco de 2018 rigoroso e entrada do período úmido de 2019 ruim.
  - Encadeamento NEWAVE/DECOMP
  - Sensibilidades:
    - (Vigente) VMinOp = **10% SE/CO** e 30% Sul no NEWAVE | **sem** RHE no DECOMP.
    - (Vigente + RHE) VMinOp = **10% SE/CO** e 30% Sul no NEWAVE | com RHE **10% SE/CO** e 30% Sul no DECOMP.
    - (Vigente + RHE20%) VMinOp = **20% SE/CO** e 30% Sul no NEWAVE | com RHE **20% SE/CO** e 30% Sul no DECOMP.
    - (Vigente + RHE CMSE+10%) VMinOp = **Curva de referência CMSE + 10%** e 30% Sul no NEWAVE | com RHE **Curva de referência CMSE + 10%** e 30% Sul no DECOMP.

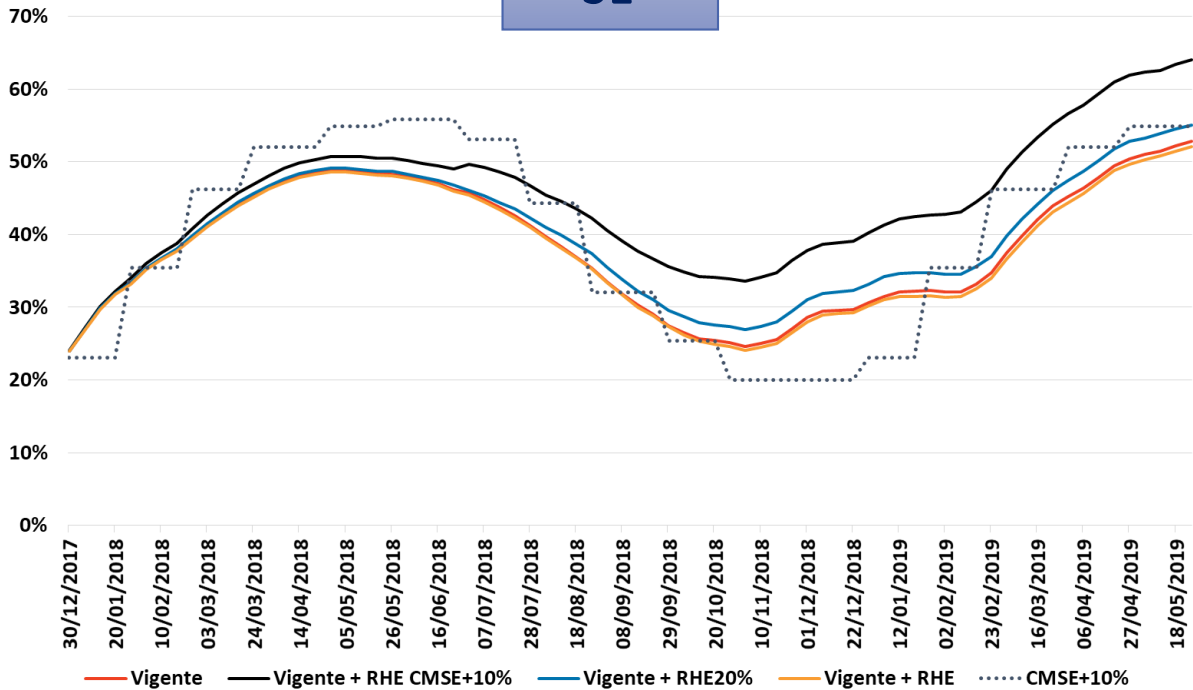


# Níveis de Armazenamento



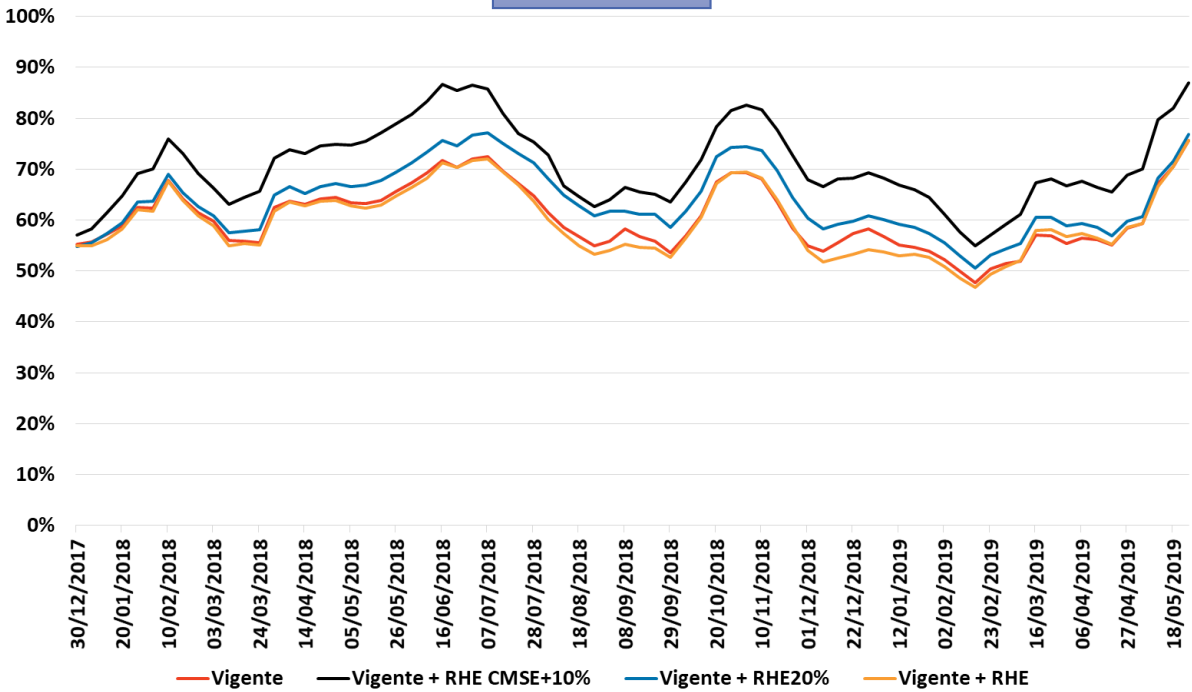
# Níveis de Armazenamento

SE



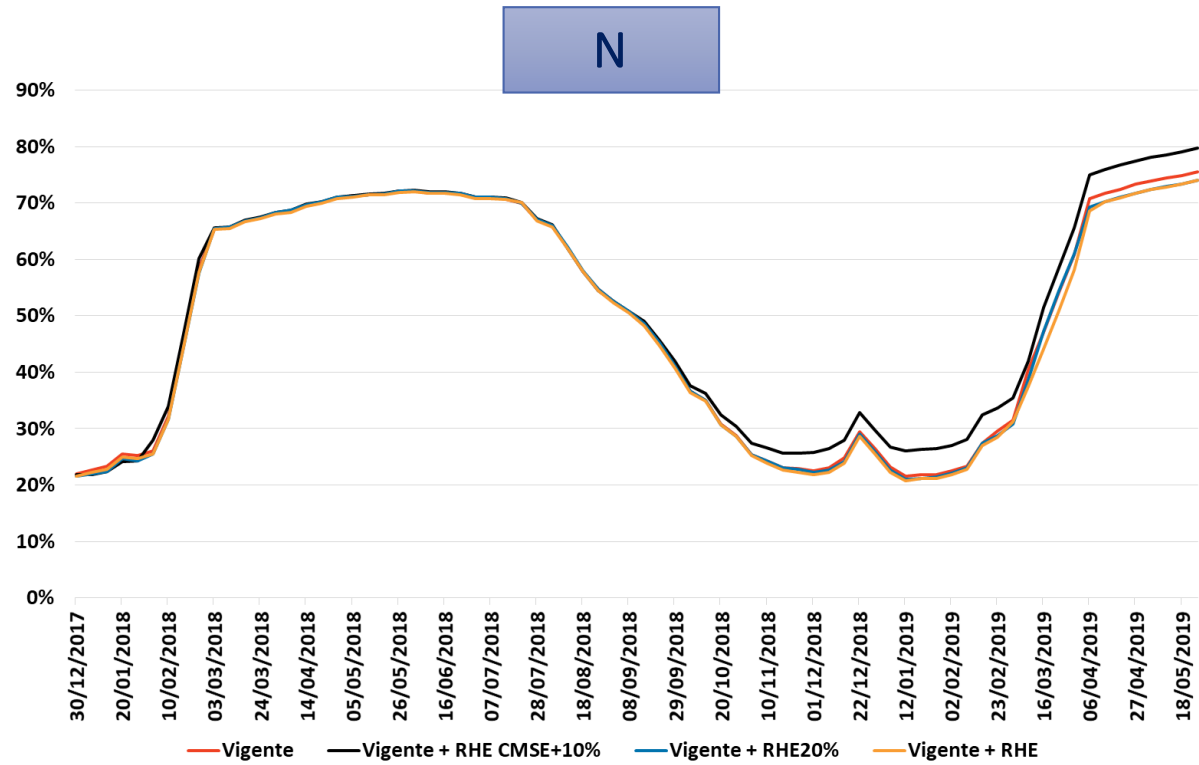
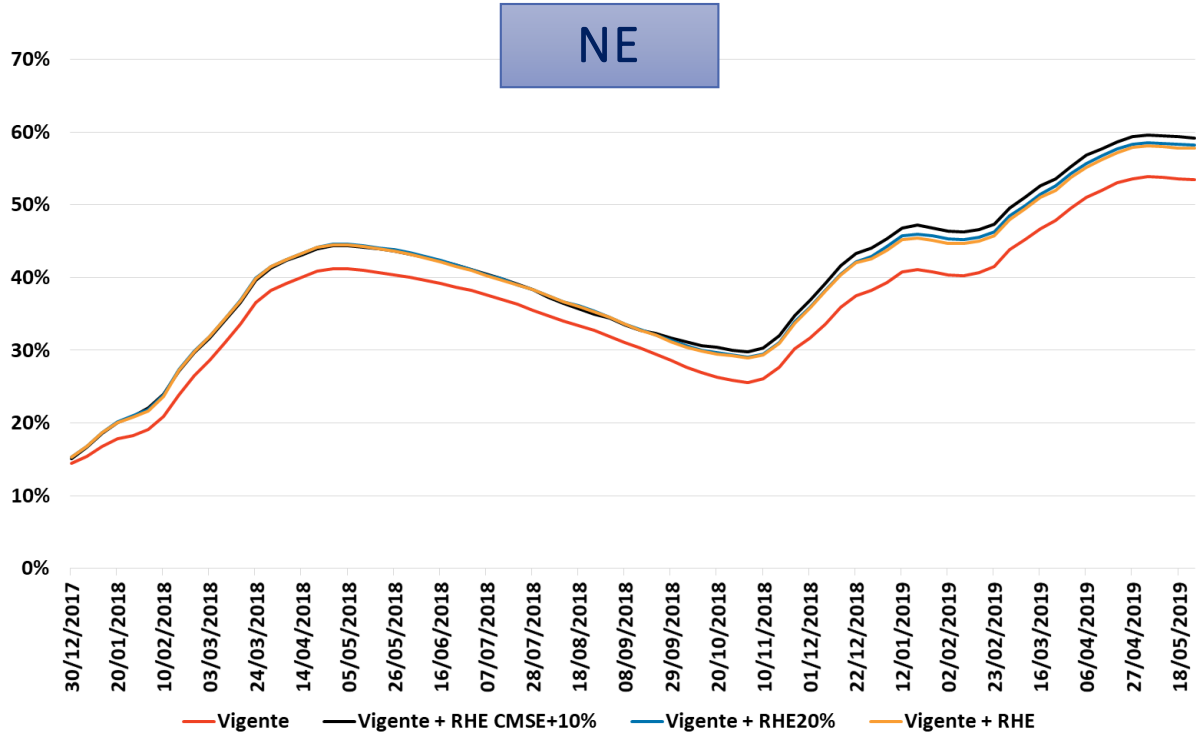
~2% } ~11%

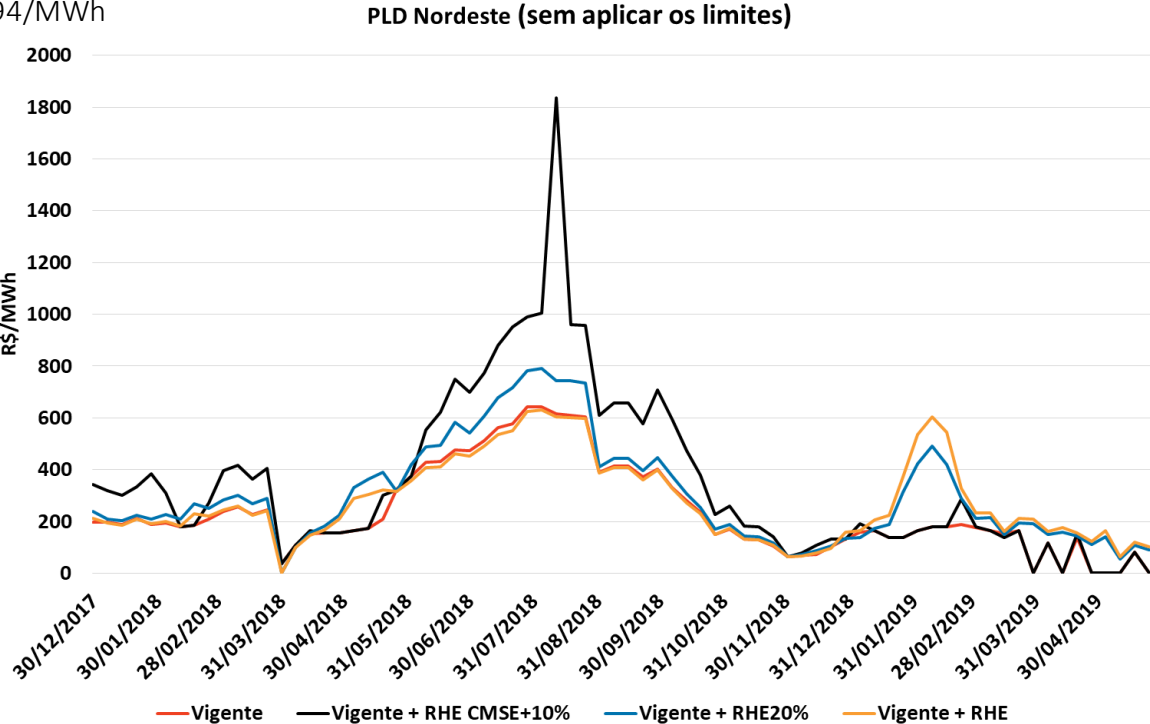
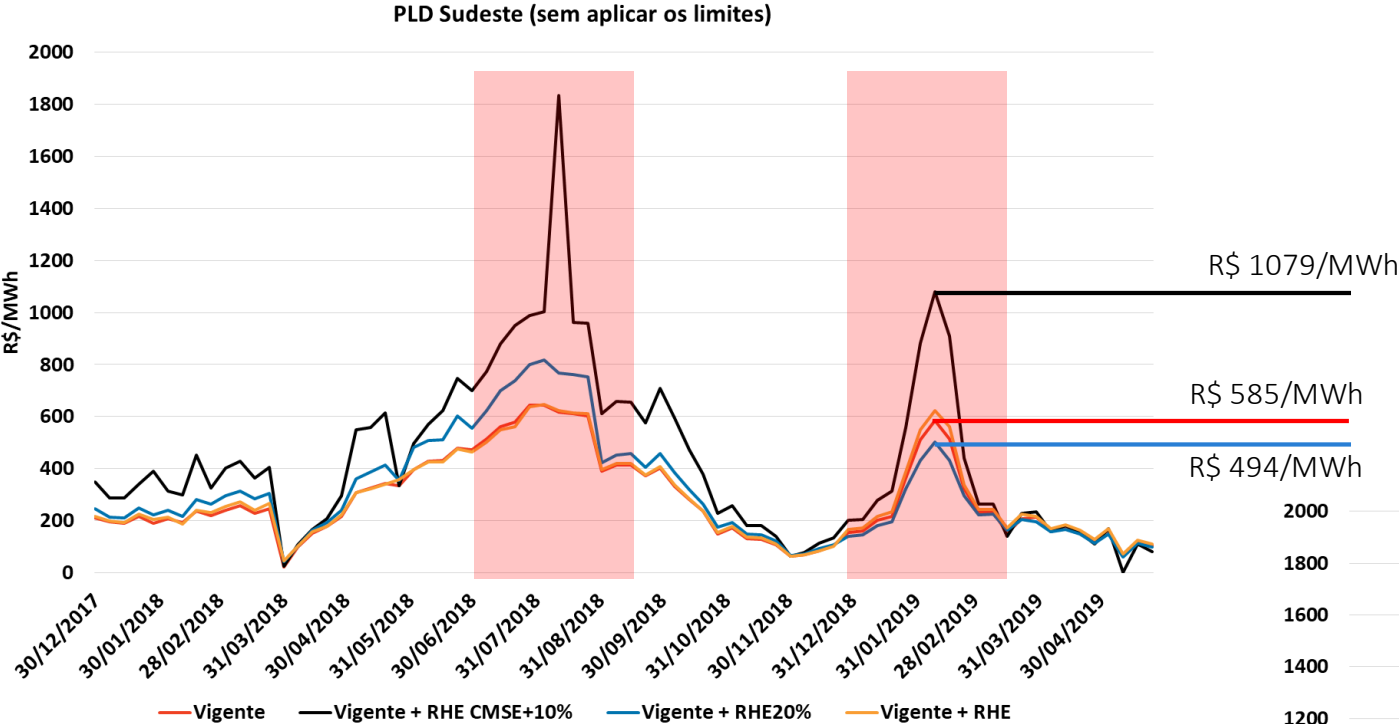
S



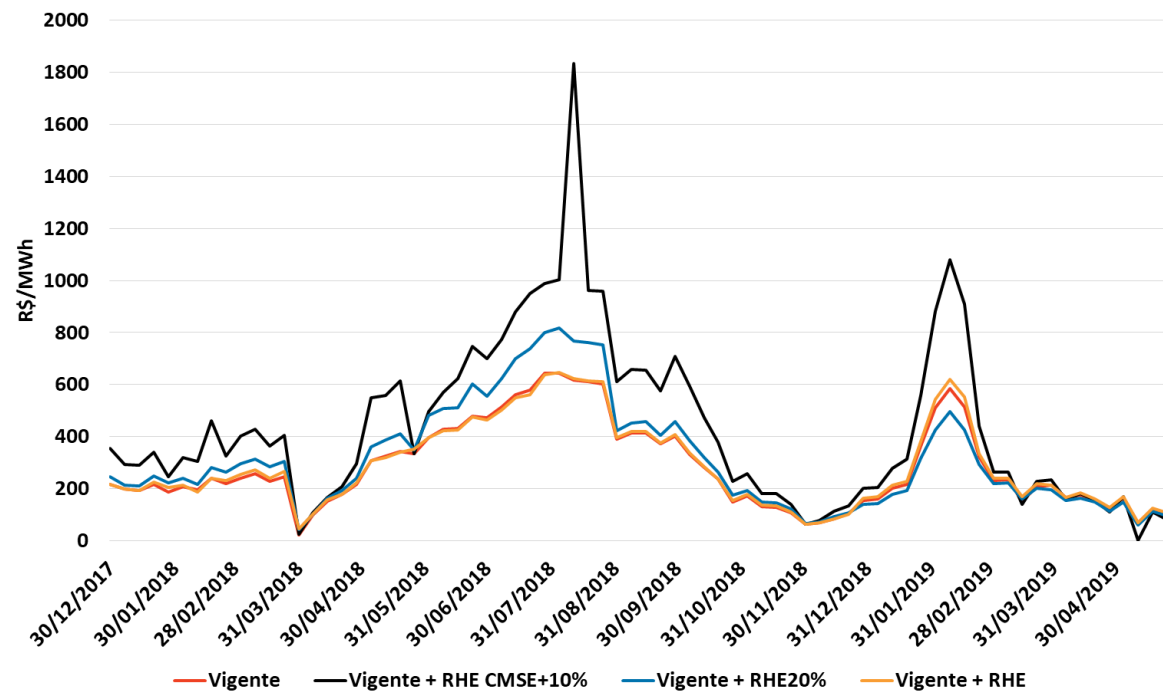


# Níveis de Armazenamento

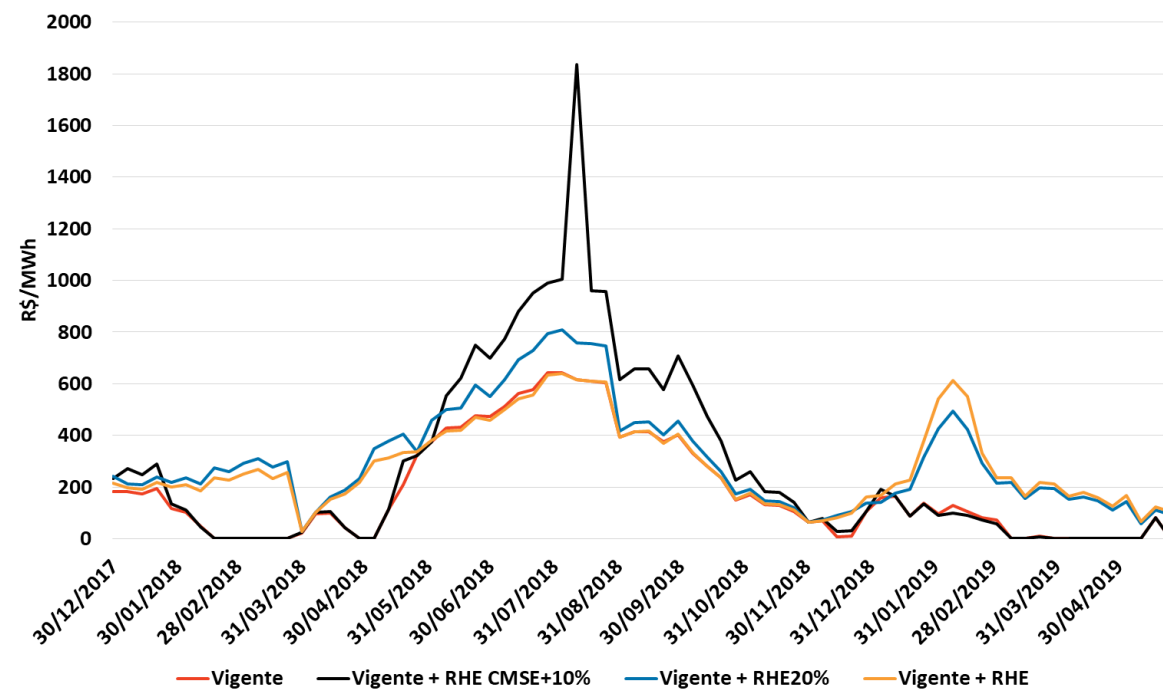


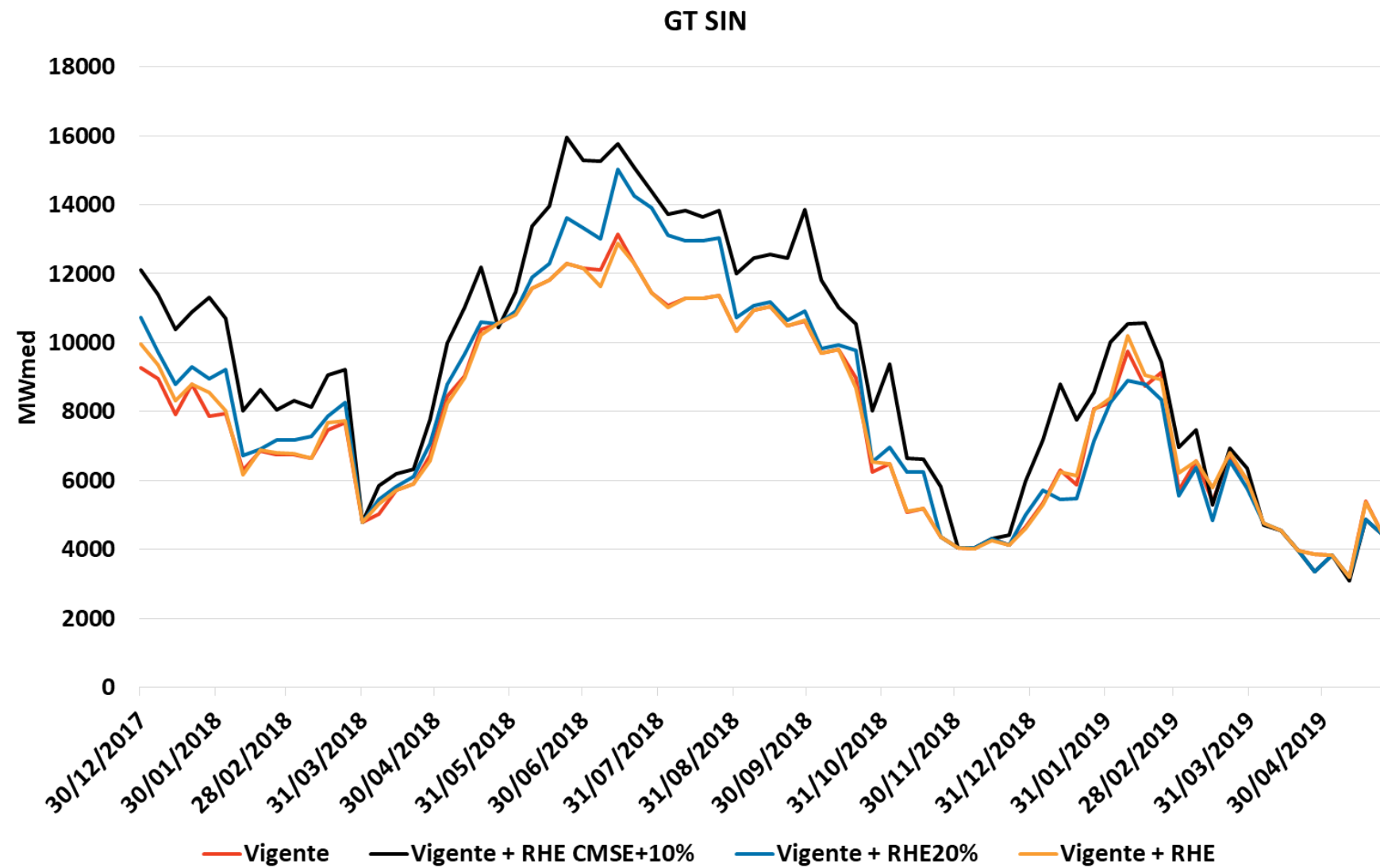


PLD Sul (sem aplicar os limites)

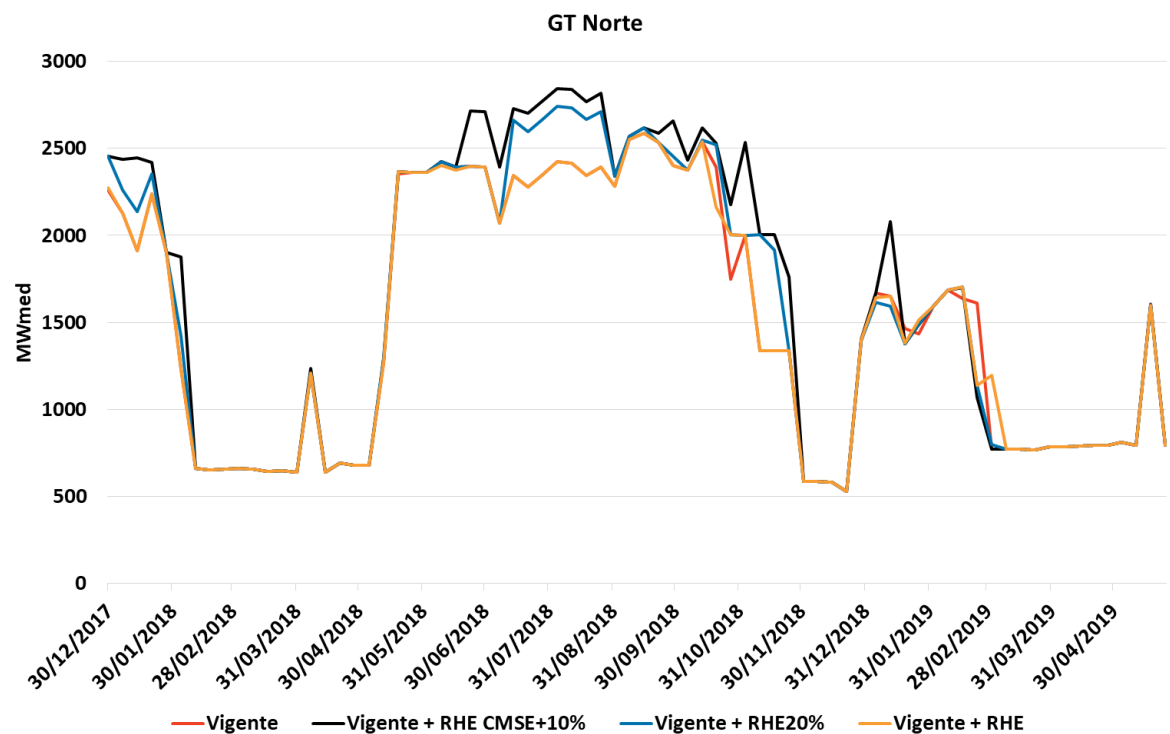
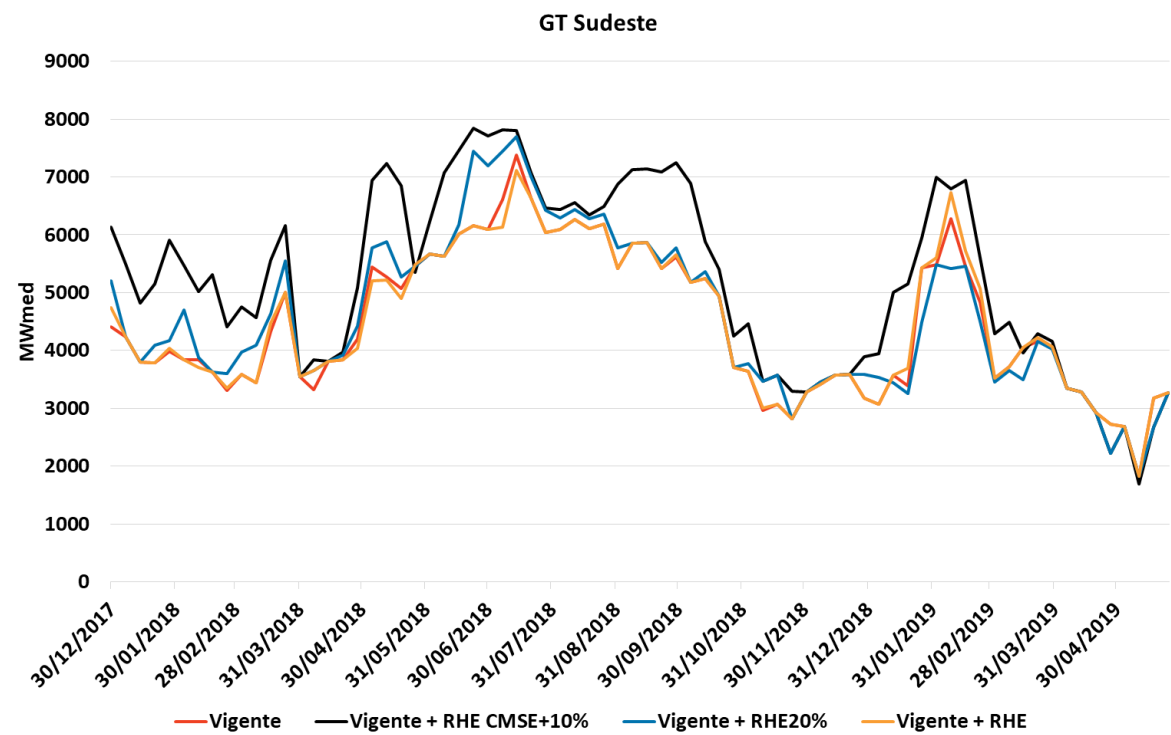


PLD Norte (sem aplicar os limites)

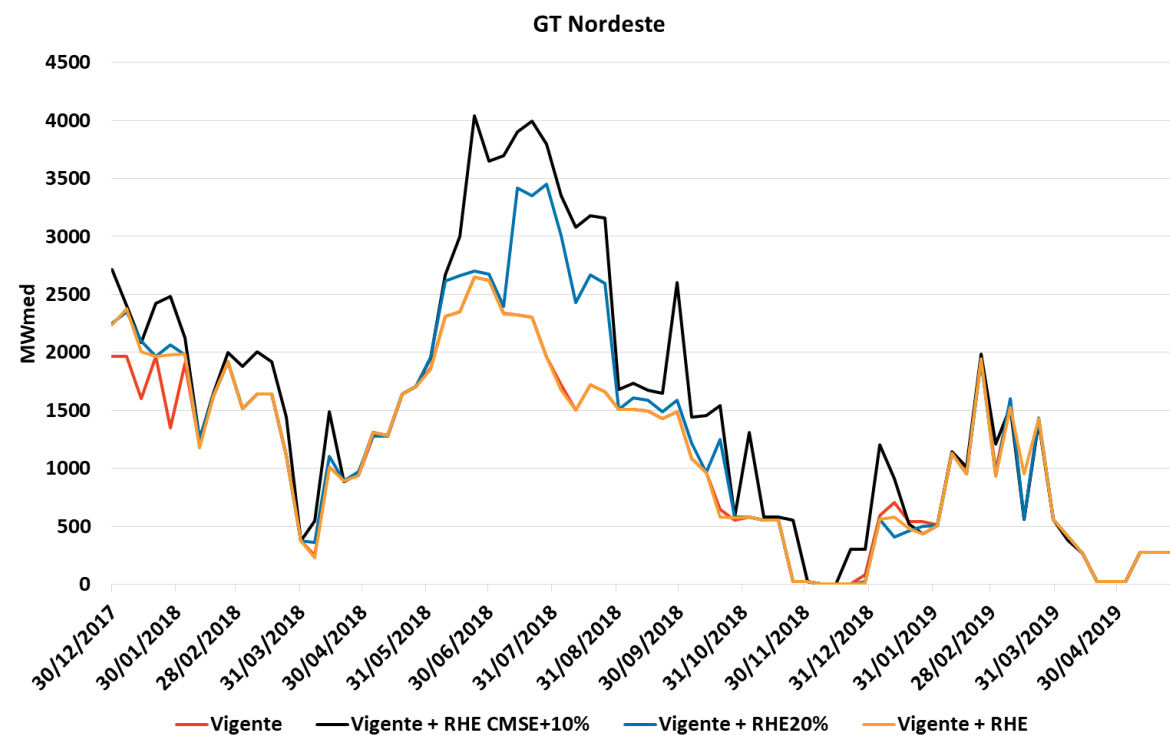
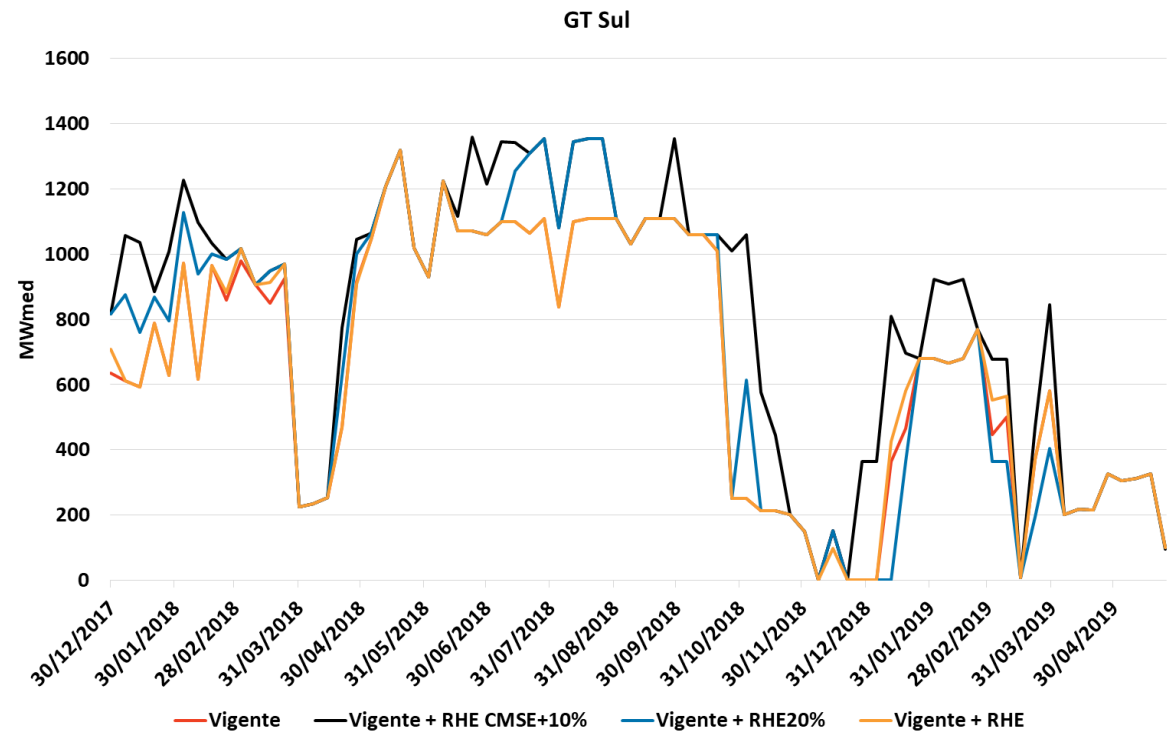




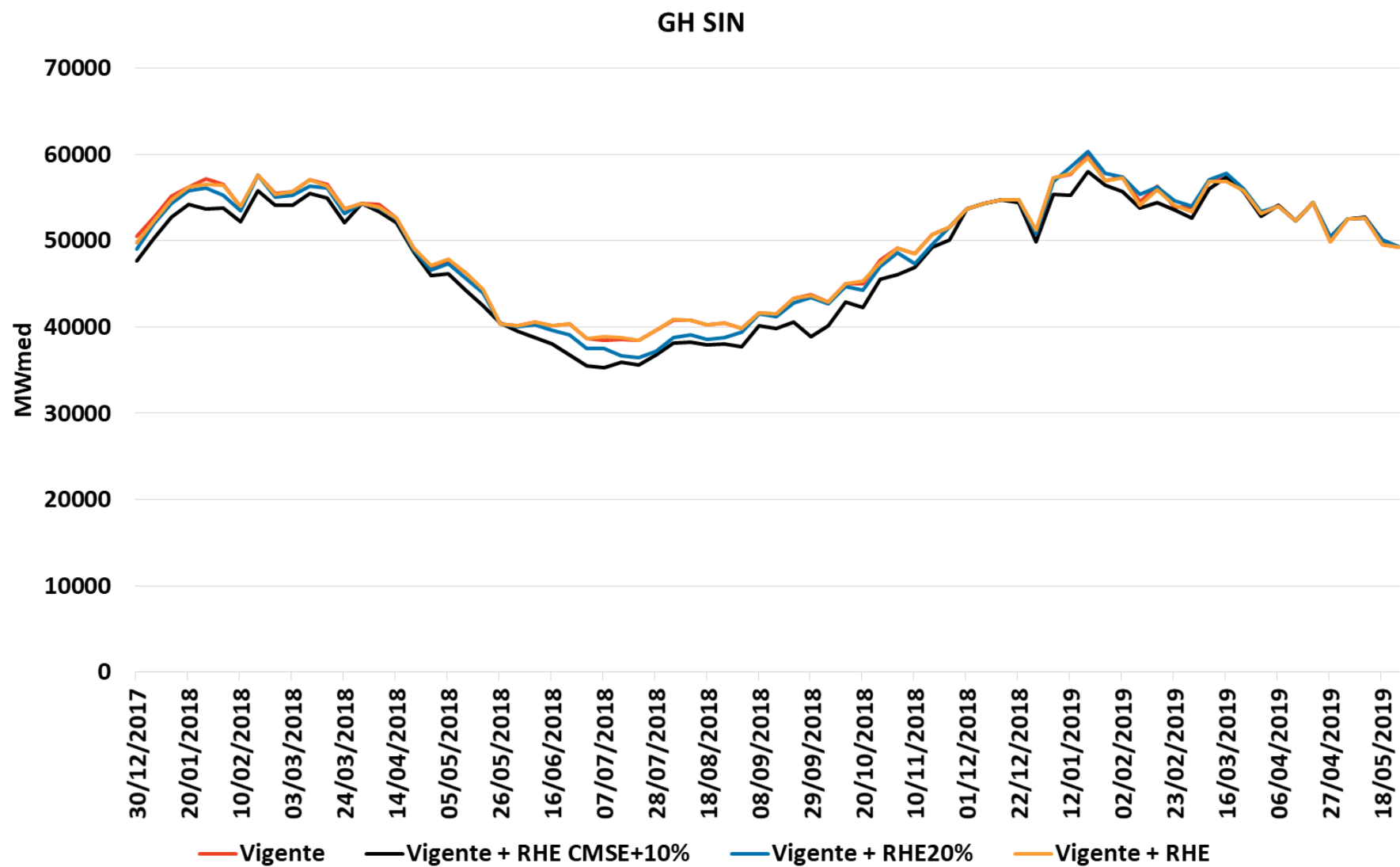
# Geração Térmica



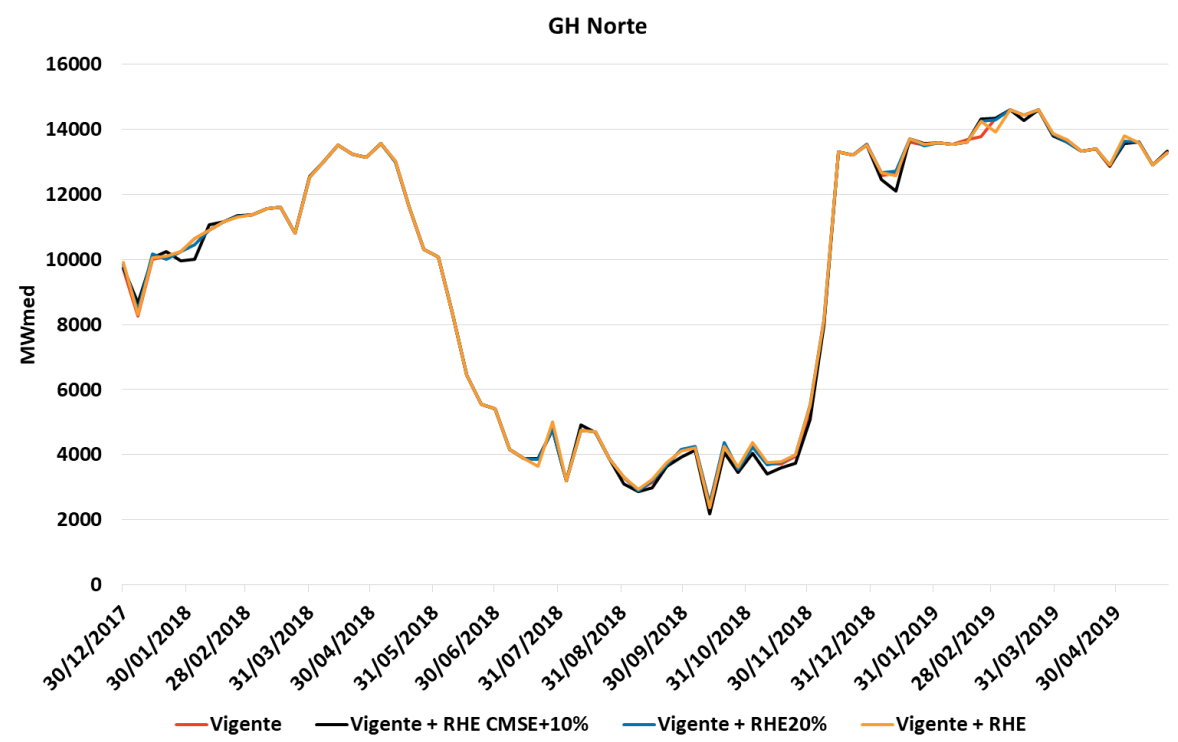
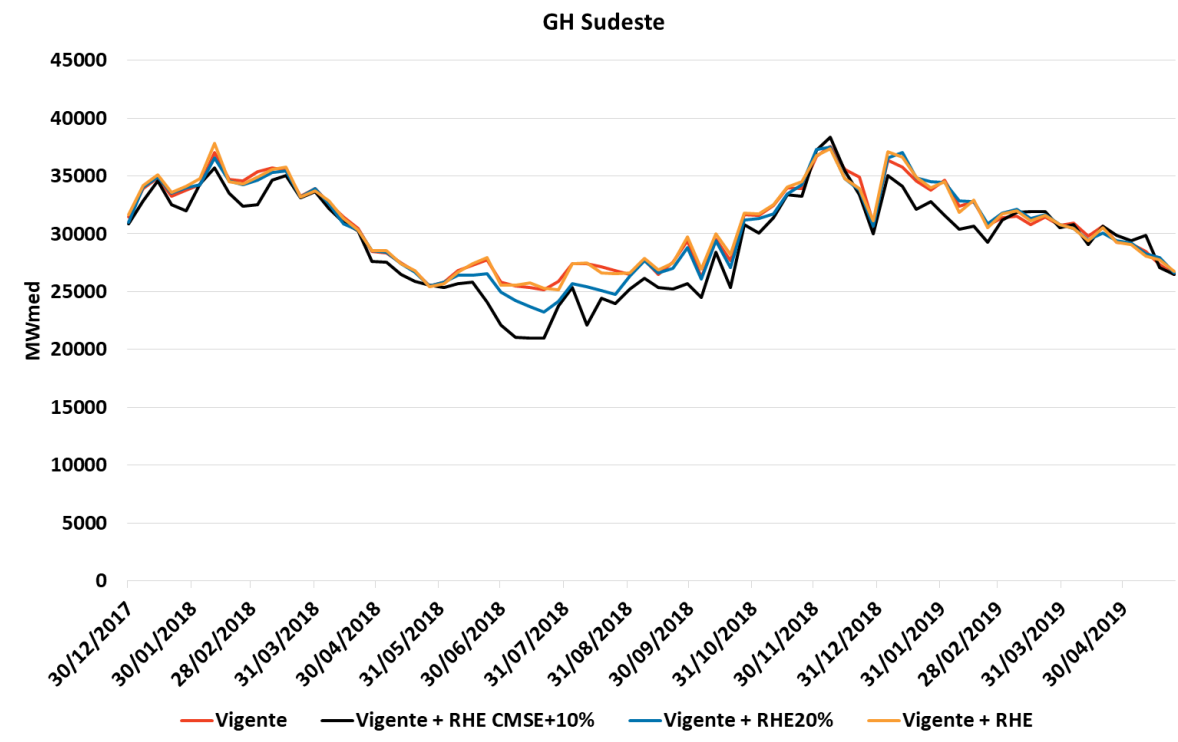
# Geração Térmica



# Geração Hídrica

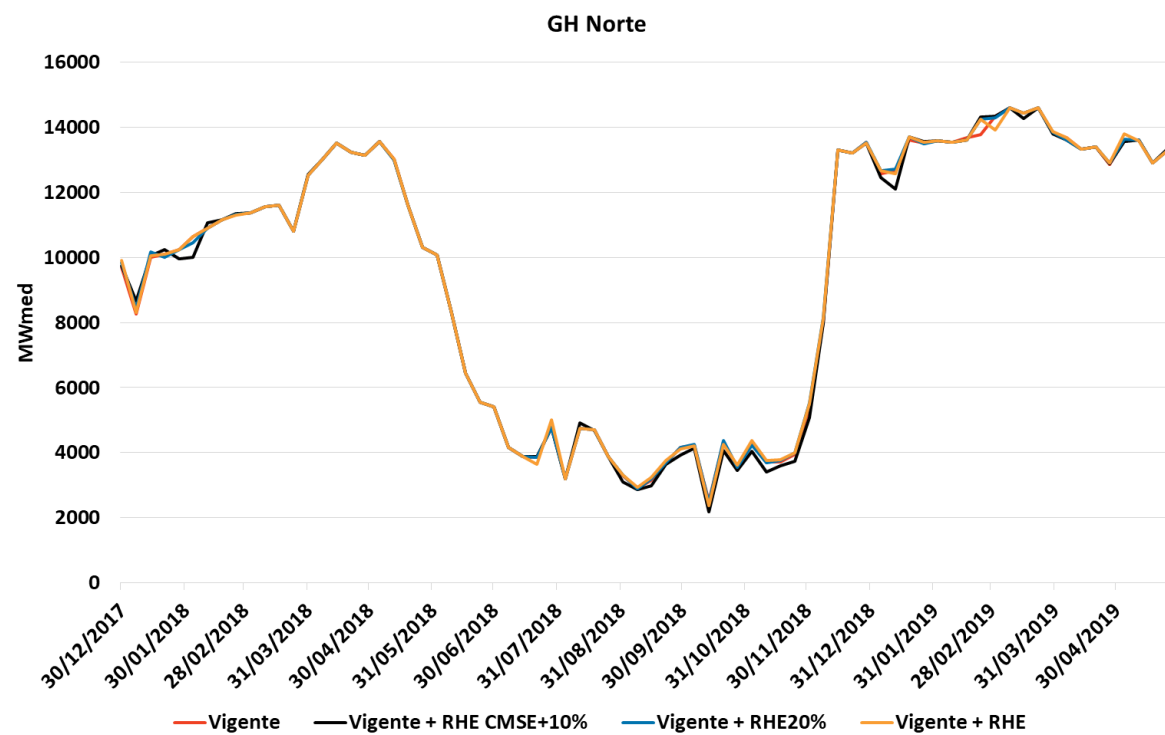
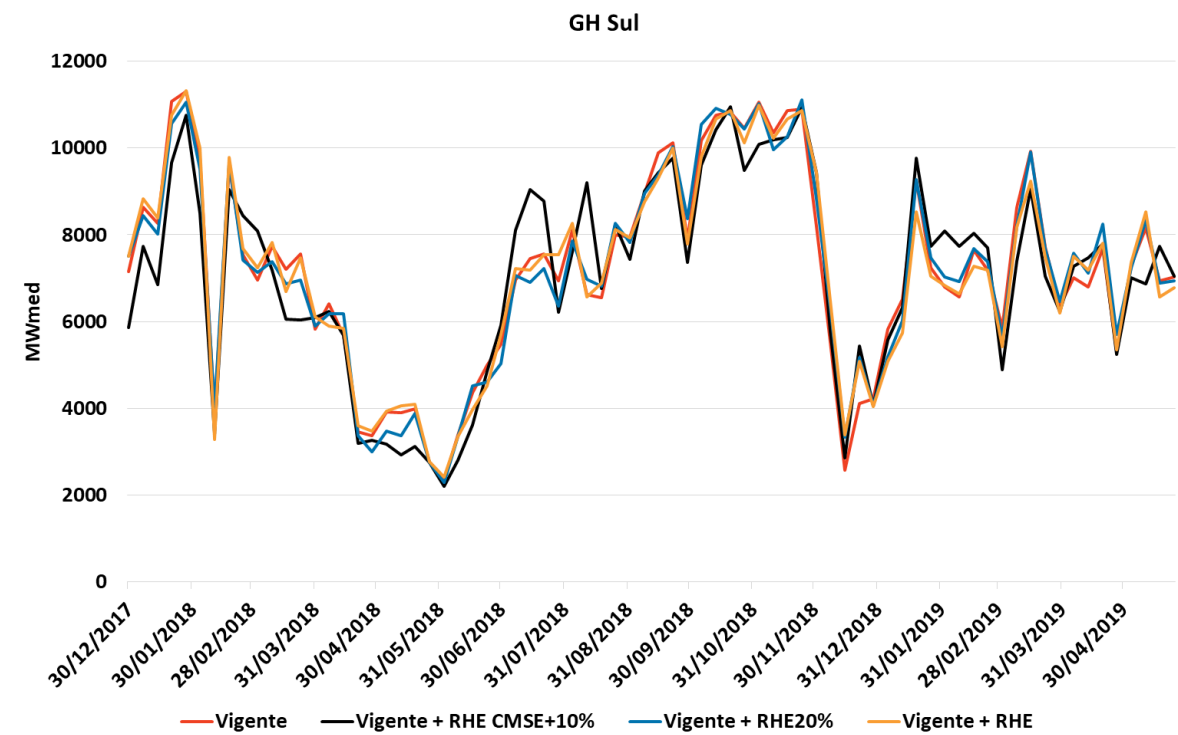


# Geração Hídrica





# Geração Hídrica



## Conclusões iniciais

- A combinação do VminOp do NEWAVE e DECOMP (através da modalidade RHE) se mostrou uma metodologia efetiva no replecionamento dos reservatórios.
- A alteração dos níveis de VminOp faz o modelo responder de diferentes formas:
  - O caso Vigente e o Vigente + RHE tiveram poucas diferenças de resultados.
  - O caso Vigente + RHE20% obteve uma elevação do armazenamento quando comparada ao caso Vigente, porém menor que o caso Curva de referência CMSE + 10%. Observou-se que, essa configuração foi capaz de atenuar a ocorrência de volatilidade observada em fevereiro de 2019.
  - O caso com maior elevação de energia armazenada foi utilizando Curva de referência CMSE + 10%, porém com impactos sobre a magnitude e volatilidade do PLD.
- Nos períodos simulados, a adoção de níveis mais altos de VminOp resultou, na maior parte do tempo, em um maior despacho térmico e uma menor geração hidrelétrica.

## Próximos Passos

- **Prosseguimento das análises** sobre as simulações de backtest:
  - Atenuação das violações de RHE.
  - Utilização de curvas interpoladas semanais.
- **Definição da curva adequada de VminOp** que serão incorporadas aos modelos.
- **Backtest conjunto** com os demais temas do atual ciclo de trabalhos.

# Obrigado!

*Coordenação do GT Metodologia*  
*[gtmet.cpamp@ccee.org.br](mailto:gtmet.cpamp@ccee.org.br)*

Assessoria Técnica:

