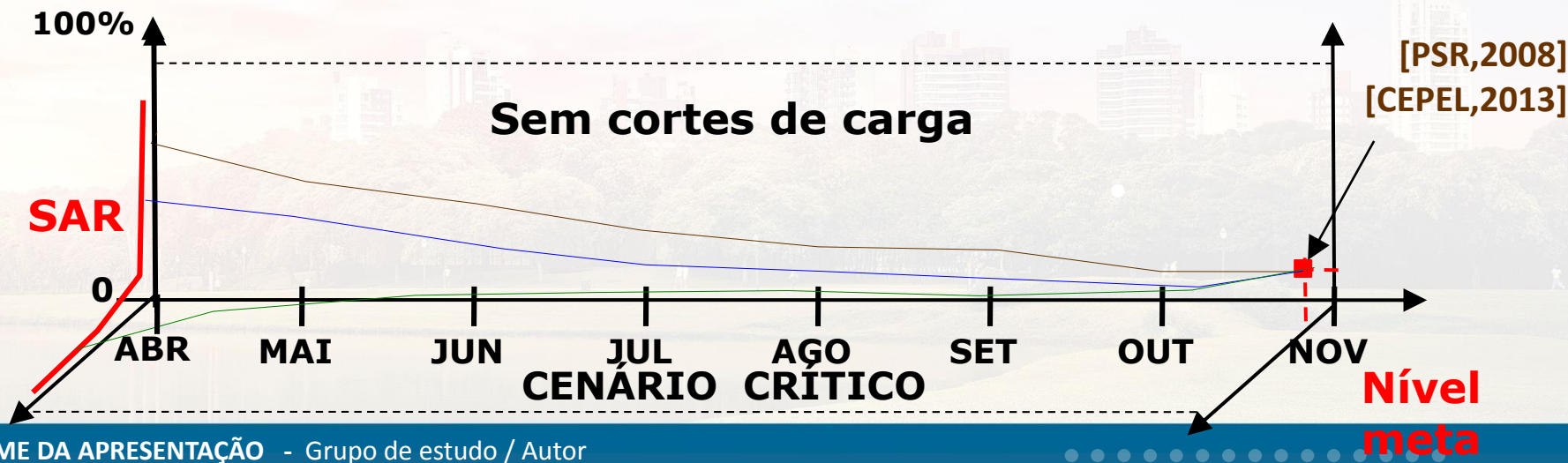


**APRIMORAMENTOS NA
METODOLOGIA DE
SUPERFÍCIE DE AVERSÃO
AO RISCO (NOVA SAR)
PARA O PROBLEMA DE
PLANEJAMENTO DE
MÉDIO/LONGO PRAZO DA
OPERAÇÃO DE SISTEMAS
HIDROTÉRMICOS.**

GLP/ Cesar Luis V. de Vasconcellos
André Luiz Diniz
Maria Elvira Piñero Maceira
Carmen Lucia Tancredo Borges

SAR – SUPERFÍCIE DE AVERSÃO AO RISCO - Conceito

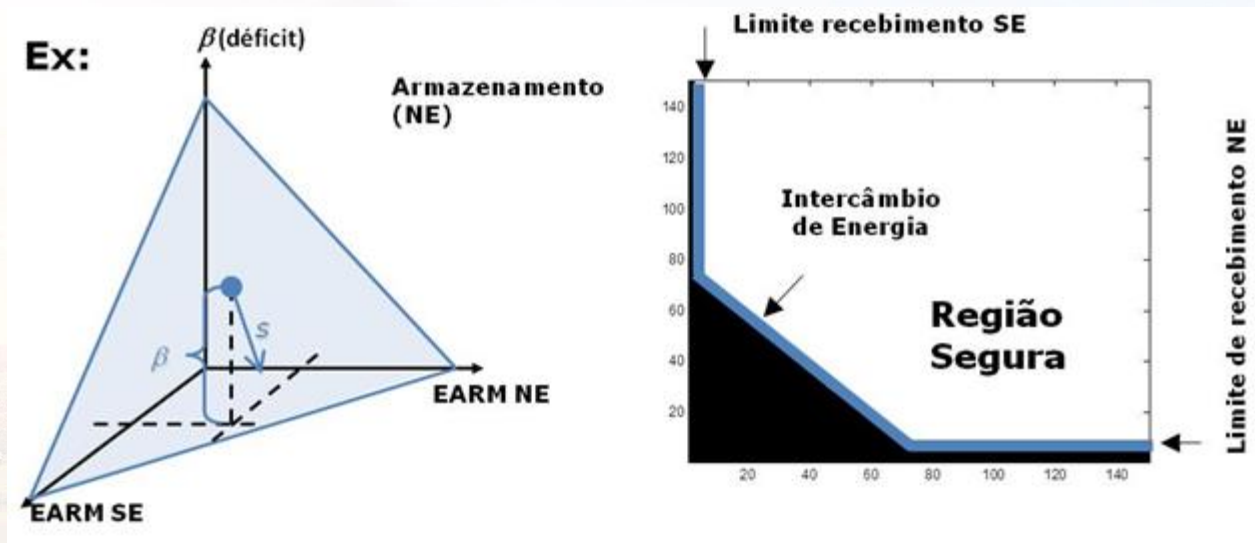
“a SAR é uma superfície multidimensional que define **valores mínimos para o CONJUNTO de armazenamentos** nos reservatórios equivalentes, ao final de cada mês, de forma que seja possível **atender determinados NÍVEIS META em determinado instante no futuro**, sem que haja déficit, caso ocorra determinado cenário crítico no futuro”



SAR – SUPERFÍCIE DE AVERSÃO AO RISCO - Conceito

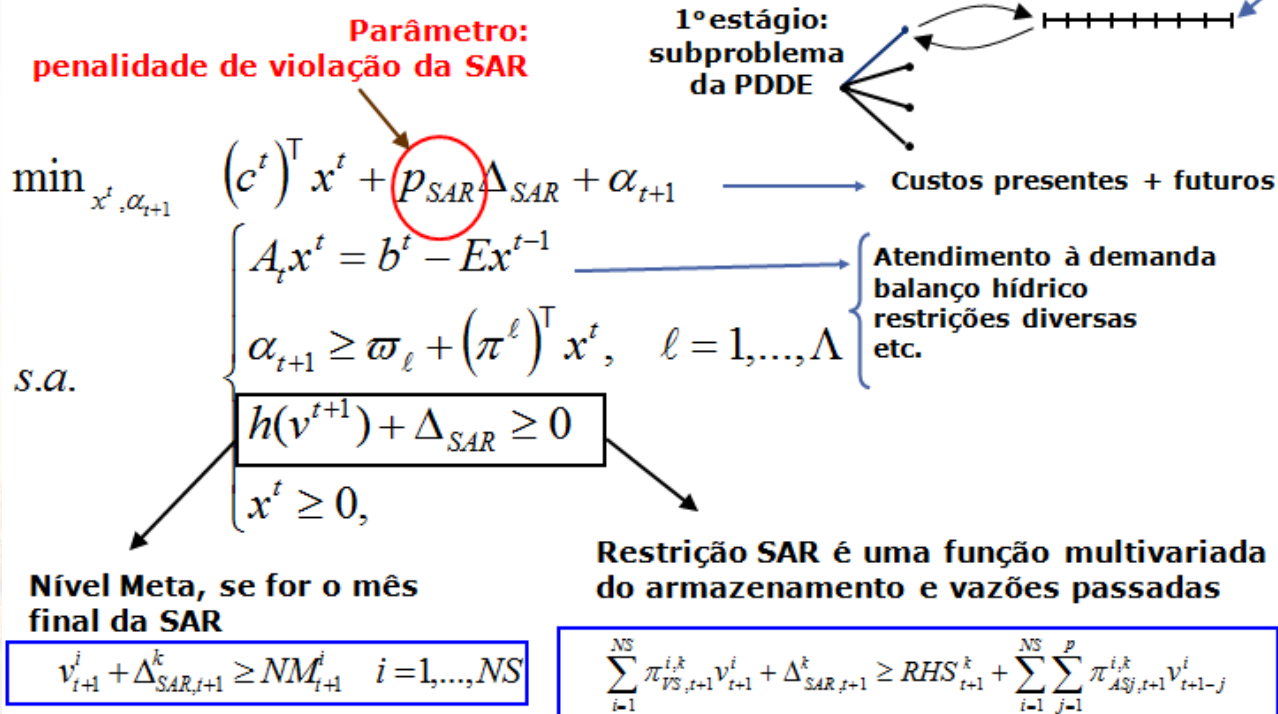
- **Restrição (corte) da SAR:**

- É um corte de viabilidade que traduz essas condições aos subproblemas do Newave;
- Baseado nos multiplicadores de Lagrange associados às variáveis de estado do subproblema SAR



SAR – SUPERFÍCIE DE AVERSÃO AO RISCO - Conceito

UTILIZAÇÃO DA SAR



Propostas desse trabalho

Inconvenientes da SAR original:

- Efeito acumulativo de penalização para violação da SAR no CMO
=> Perda do sentido intuitivo da penalização
- Tempo computacional mais elevado em relação ao CVaR



Solução

- Penalizar “apenas uma vez” a violação, com base no valor máximo de referência (por exemplo, custo do 1º patamar de déficit)
- Construção *a priori* da SAR

PROCESSO ORIGINAL DE PENALIZAÇÃO DE VIOLAÇÕES DA SAR

- **Custos de violação da SAR estão associados ao custo de déficit**
 - ➡ Violação da SAR permitida apenas para evitar déficit
- **Entretanto, violações sucessivas da SAR nos períodos levam a custos marginais elevados**
 - ➡ uma incremento de água diminui violação em vários períodos

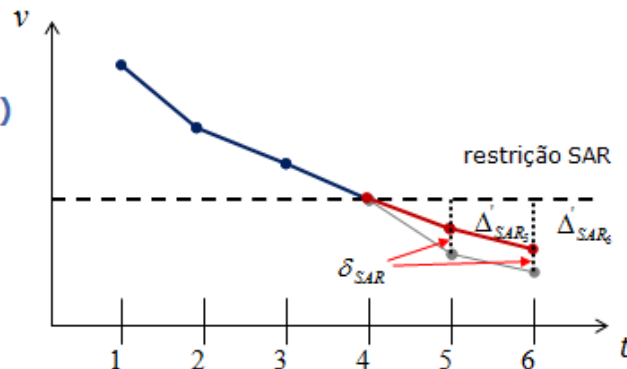
Penalidade Original

(facilmente implementada na PDDE)

$$custo = \Delta'_{SAR_5} p_{SAR} + \Delta'_{SAR_6} p_{SAR}$$

$$\begin{aligned}\Delta_{custo} &= (\Delta_{SAR_5} - \Delta'_{SAR_5}) p_{SAR} + \\ &+ (\Delta_{SAR_6} - \Delta'_{SAR_6}) p_{SAR} = \\ &= 2\delta_{SAR} p_{SAR} \quad \text{n\~{a}o reflet}\end{aligned}$$

não reflete custos unitários de déficit



PROCESSO PROPOSTO DE PENALIZAÇÃO DE VIOLAÇÕES DA SAR

- **máxima violação em períodos de tempo consecutivos**
 - ➡ evita efeito acumulativo da penalização
- **leva a restrições com acoplamento temporal**
 - ➡ Variável de estado adicional na PDDE (máxima violação acumulada)

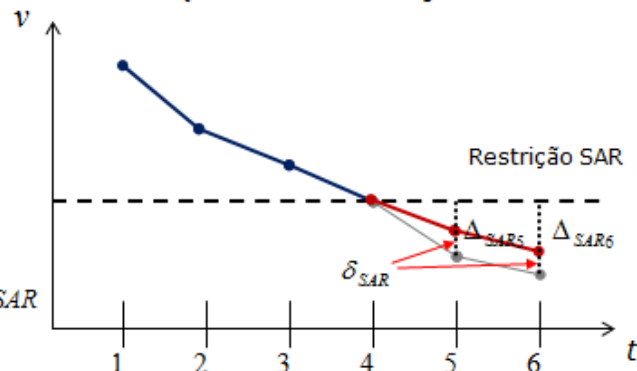
$$custo = \max \{ \Delta'_{SAR_5}, \Delta'_{SAR_6} \} p_{SAR}$$

$$\Delta_{custo} =$$

$$\max \{ \Delta_{SAR_5}, \Delta_{SAR_6} \} p_{SAR}$$

$$-\max\{\Delta_{SAR_5} - \delta_{SAR}, \Delta_{SAR_6} - \delta_{SAR}\} p_{SAR}$$

$$= \delta_{SAR} p_{SAR}$$



DIRETAMENTE RELACIONADO AO CUSTO DE DÉFICIT !!

DADOS DO CASO

- **162** usinas hidroelétricas (91 GW) => 4 reservatórios equivalentes
- **140** usinas térmicas(24 GW)
- **120** estágios (5 anos, estágios mensais)
- **20** cenários por período (20¹²⁰ cenários multi-estágio)
- amostragem *forward* - 200 cenários

PARÂMETROS SAR

- cenário não condicionado (histórico)
- nível SAR ao final de Novembro: SE: 47%, NE: 35%
- Penalidade para violação da SAR :
 - ✓ 100\$/MWh: valor calibrado nos estudos em 2013
 - ✓ **1000\$/MWh: próximo ao custo de déficit**

COMPARAÇÕES

- Caso neutro ao risco
- estratégia CVaR, com $\alpha = 50$, $\lambda = 25$

[Shapiro,10]

[Philpott, Matos,10]

[Shapiro et al,12],

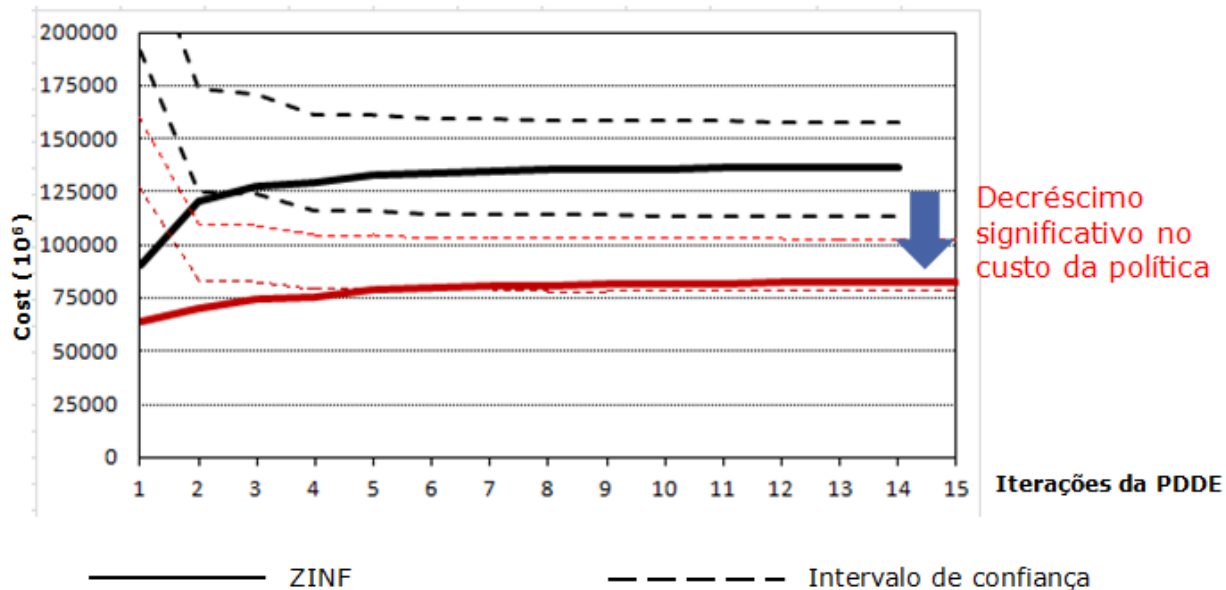
[Diniz et al,12]

ESTRATÉGIA DE PENALIZAÇÃO TRADICIONAL

➤ valor intuitivo (\$1000/MWh)

ESTRATÉGIA DE PENALIZAÇÃO PROPOSTA

➤ Valor intuitivo (\$1000/MWh)

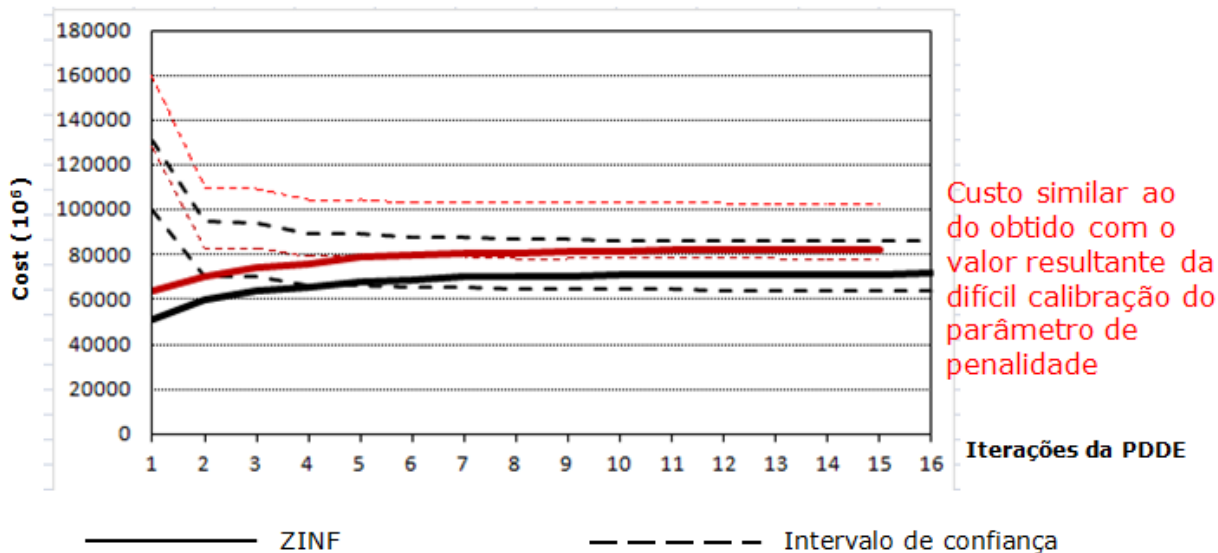


ESTRATÉGIA DE PENALIZAÇÃO TRADICIONAL

➤ valor calibrado (\$100/MWh)

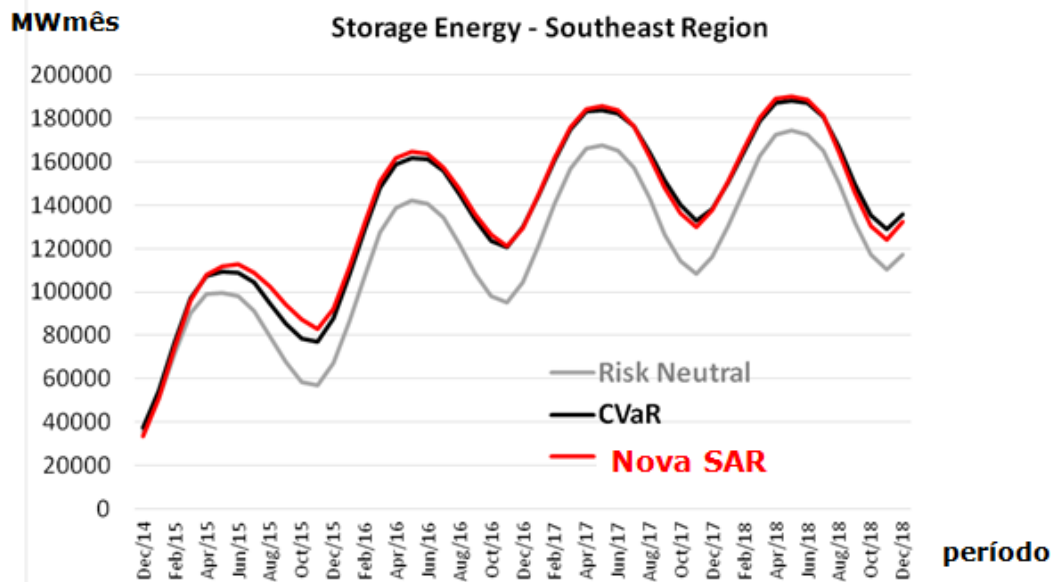
ESTRATÉGIA DE PENALIZAÇÃO PROPOSTA

➤ Valor intuitivo (\$1000/MWh)



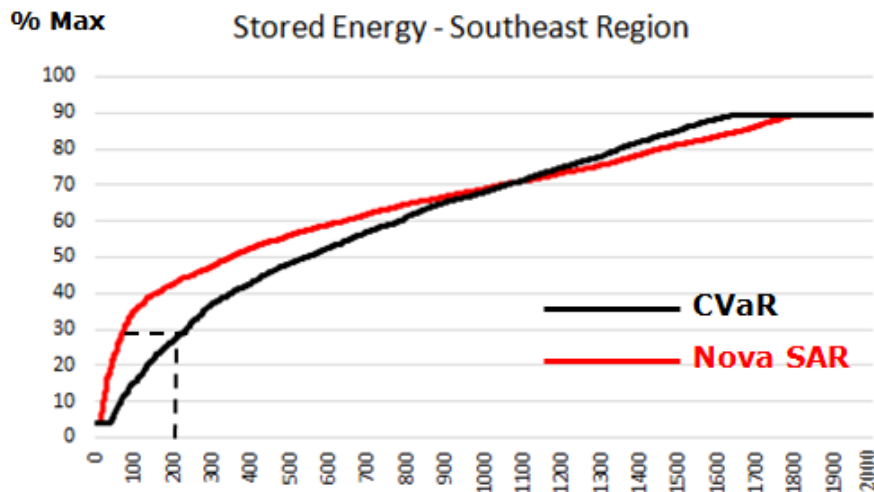
COMPARAÇÃO COM CVAR E VALOR ESPERADO

- Operação mais segura, se comparada à neutra ao risco
- **Comportamento similar ao do CVaR**



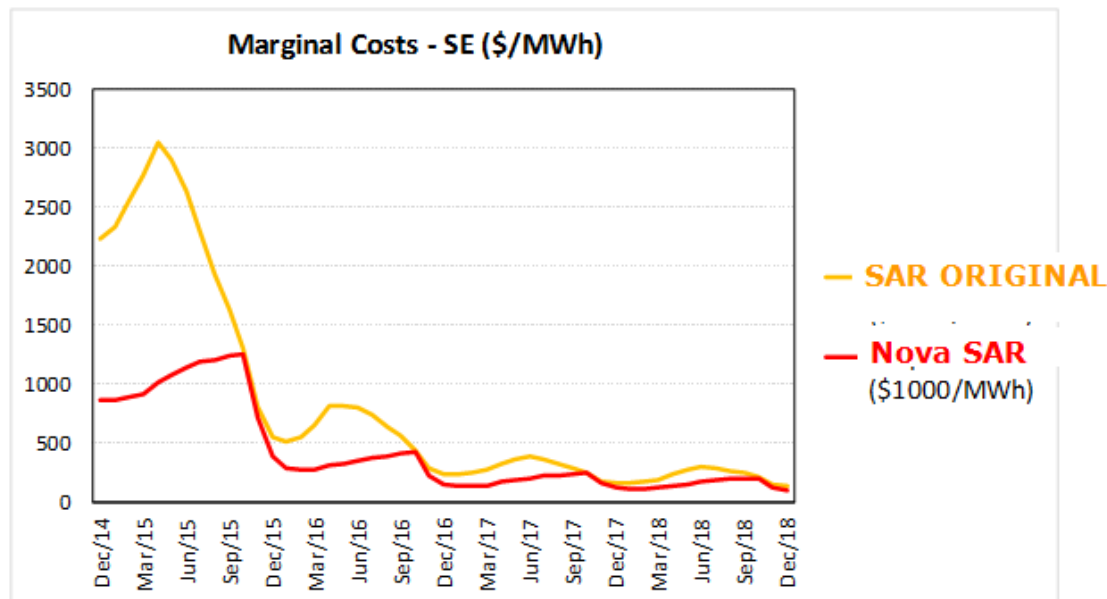
COMPARAÇÃO COM CVAR

- **Desempenho bem melhor na cauda da distribuição**
- um pouco pior (?) na situação (menos importante) onde há elevados armazenamentos

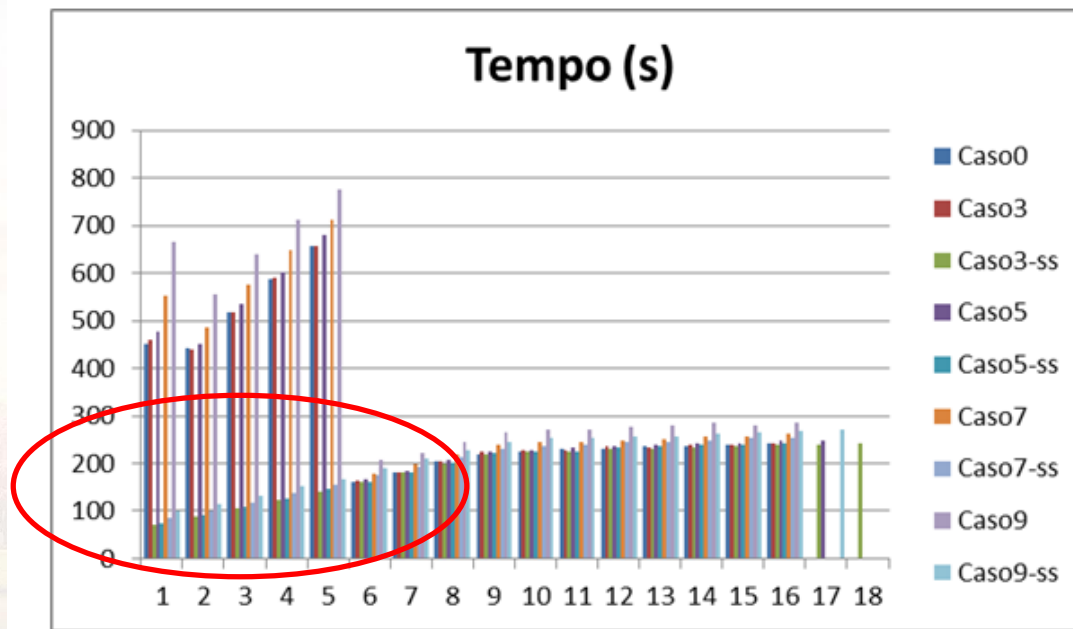


COMPARAÇÃO COM A SAR ORIGINAL

- **Obtêm-se valores “realistas” para o CMO, sem necessidade de calibrar o parâmetro de penalização**



Redução do tempo por iteração com a construção a priori da SAR



CESAR LUIS VASCONCELLOS
ANDRE LUIZ DINIZ
MARIA ELVIRA MACEIRA
DEBORA DIAS JARDIM PENNA



(21) 2598-6046



(21) 99853-0093



diniz@cepel.br



www.cepel.br