

Material Extra

Efeito da inconsistência temporal na
operação e na precificação da
energia elétrica

Artigo PSCC 2016 (políticas Inconsistentes)

Aluno de mestrado: Arthur

Orientadores: Street e Davi

Submetido em outubro de 2015

Artigo PSCC

- **Assessing the Cost of Time Inconsistent Operation Policies in Hydrothermal Power Systems**
- **Abstract:** The current state of the art method used for medium/long-term planning studies of hydrothermal power system operation is the Stochastic Dual Dynamic Programming (SDDP) algorithm. The computational savings provided by this method notwithstanding, it still relies on major system simplifications to achieve acceptable performances in practical applications. Simplifications in the planning stage in contrast to the actual implementation might induce time inconsistent policies and, consequently, a sub-optimality gap. In this paper, we extend previous work on the subject of time inconsistency to measure the effects of modeling simplifications in the SDDP framework for hydrothermal operation planning. Case studies involving simplifications in transmission lines modeling and in security criteria indicates that this source of time inconsistency might lead to unaccounted for reservoir depletion and spikes in energy market spot prices.

Esvaziamento dos reservatórios em 2012

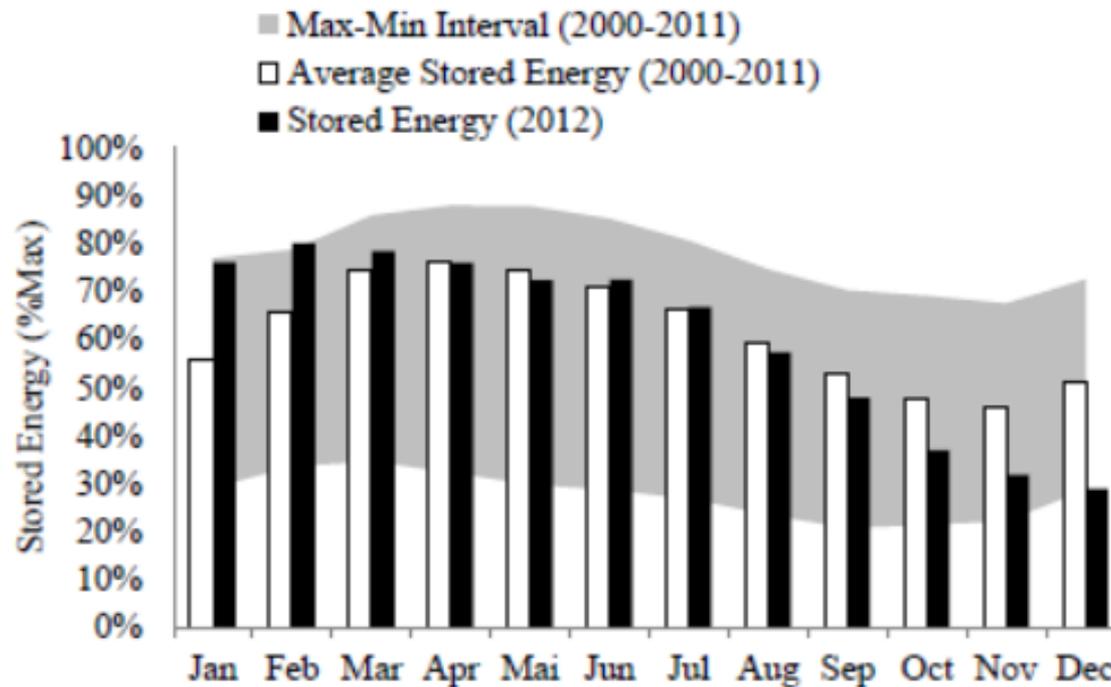
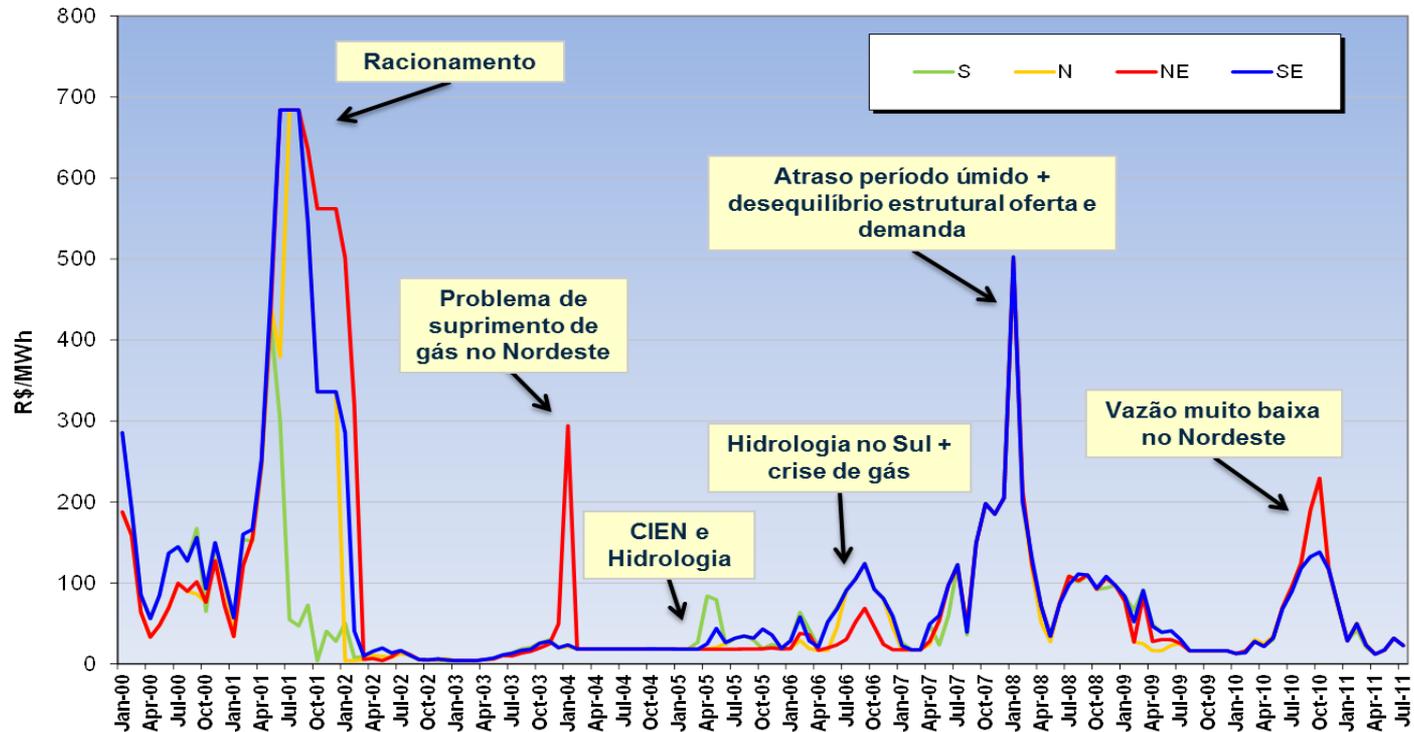


Figure 1. Real Data From Brazilian Hydro System [12]

Picos de PLD



Processo de tomada de decisão em t utilizando o SDDP

- Utiliza-se um modelo simplificado para planejar a operação do sistema e calcular a FCF para t+1
- E um modelo mais detalhado para operar em t
- Suponha a seguinte dinâmica:

$$Q_t(v_{t-1}, a_{ti}) = \min_{y_t, g_t, f_t} c_t^\top g_t + Q_{t+1}(v_t) \quad (1)$$

$$\text{subject to } Ag_t + By_t + Cf_t = d_t \quad (2)$$

$$H_t y_t = v_{t-1} + a_{ti} : (\pi_{ti}) \quad (3)$$

$$(y_t, g_t, f_t) \in \mathcal{X}_t. \quad (4)$$

$$Q_t(v_{t-1}) = \sum_{i=1}^{N_t} p_{ti} Q_t(v_{t-1}, a_{ti})$$

Etapa de planejamento em t

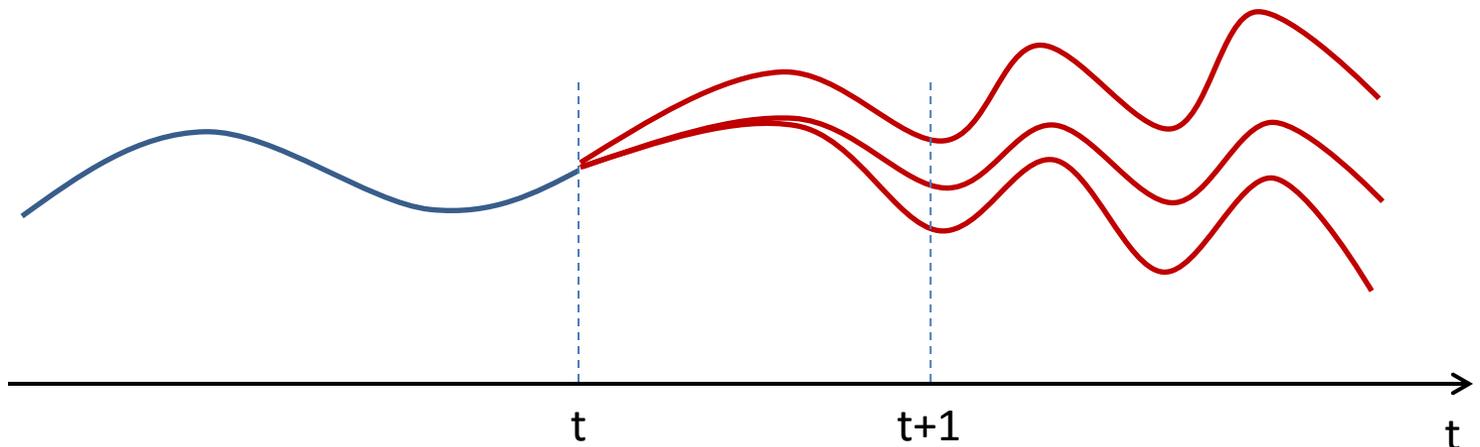
- Resolve o SDDP utilizando o modelo para planejamento (simplificando)

$$Q_t^{plan}(v_{t-1}, a_{ti}) = \min_{y_t, g_t, f_t} c_t^\top g_t + Q_{t+1}^{plan}(v_t) \quad (1)$$

$$\text{subject to } Ag_t + By_t + Cf_t = d_t \quad (2)$$

$$H_t y_t = v_{t-1} + a_{ti} : (\pi_{ti}) \quad (3)$$

$$(y_t, g_t, f_t) \in \mathcal{X}_t^{plan}. \quad (4)$$



Etapa de planejamento em t

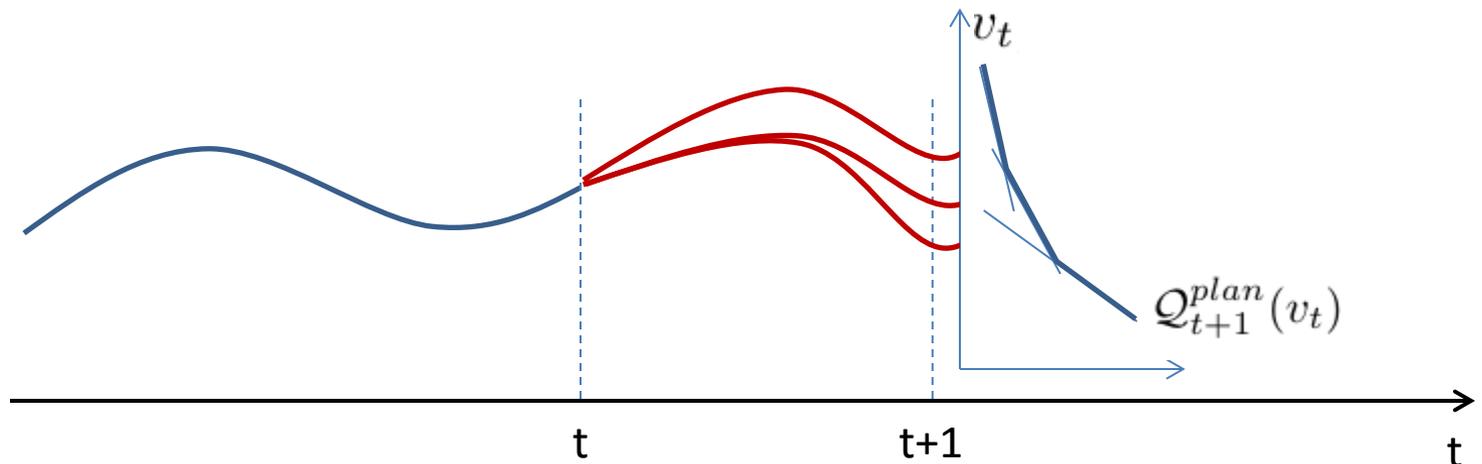
- Obtém a função de custo futuro (FCF) para t+1

$$Q_t^{plan}(v_{t-1}, a_{ti}) = \min_{y_t, g_t, f_t} c_t^\top g_t + Q_{t+1}^{plan}(v_t) \quad (1)$$

$$\text{subject to } Ag_t + By_t + Cf_t = d_t \quad (2)$$

$$H_t y_t = v_{t-1} + a_{ti} : (\pi_{ti}) \quad (3)$$

$$(y_t, g_t, f_t) \in \mathcal{X}_t^{plan}. \quad (4)$$



Etapa de implementação da política operativa “real” em t

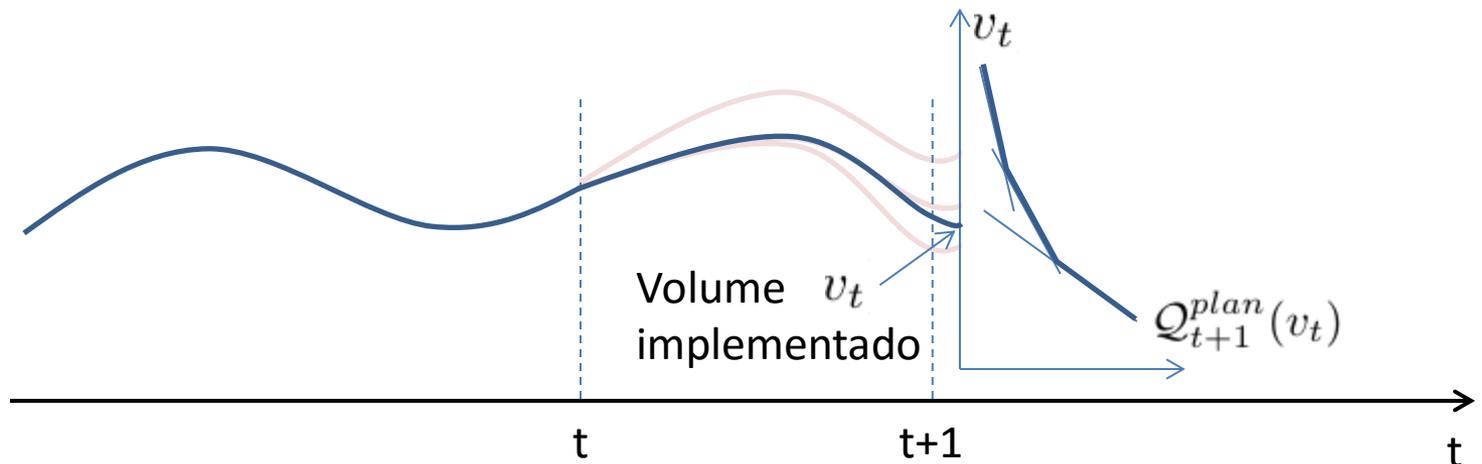
- Utiliza a FCF (simplificada) de t+1 e implementa a decisão de primeiro estágio utilizando um modelo mais detalhado (imp)

$$\min_{y_t, g_t, f_t} c_t^\top g_t + Q_{t+1}^{plan}(v_t) \quad (12)$$

$$\text{subject to } Ag_t + By_t + Cf_t = d_t \quad (13)$$

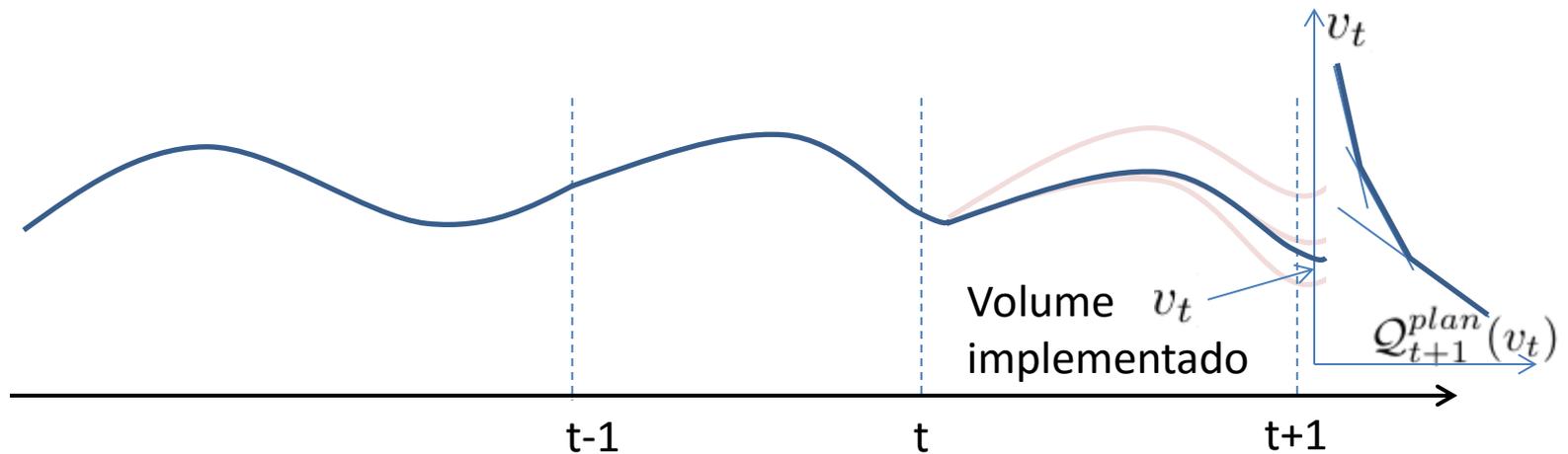
$$H_t y_t = v_{t-1} + a_{ti} : (\pi_{ti}) \quad (14)$$

$$(y_t, g_t, f_t) \in \mathcal{X}_t^{imp}. \quad (15)$$



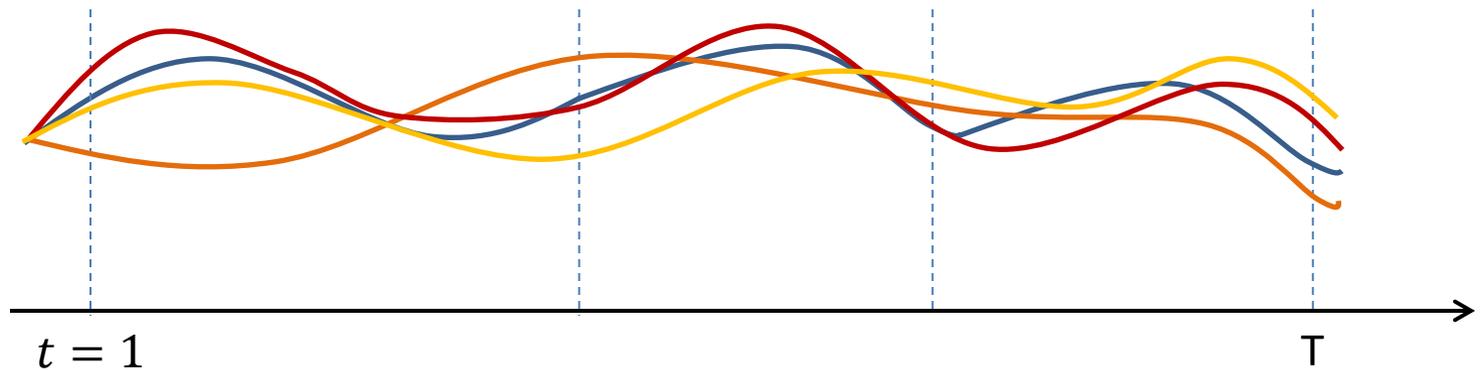
... $t \leftarrow t+1$

- Repete-se o procedimento de planejamento e implementação das decisões até o final do horizonte.



Simulando a política implementada

1. Simulamos M séries de vazões para todo o horizonte
2. Definimos $t = 1$ e os volumes iniciais de hoje.
3. FOR $s = 1, \dots, M$ DO:
 - a) Converte o SDDP com o modelo planejamento de t até $t + T$
 - b) Resolve o problema de primeiro estágio com modelo detalhado e FCF(plan) obtida em 3.a e armazena as soluções obtidas para tEND DO
4. Faça $t \leftarrow t + 1$
5. Se $t = T$, PARE, caso contrário, atualize os volumes iniciais com os volumes finais obtidos no passo 3.b e VOLTE ao passo 3.



Simplificações abordadas

A. Segunda lei de Kirchhoff (linearizada): $f_l = b_l(\theta_i - \theta_j)$

B. Critério n-1 para linhas

$$\left\{ (y_t, g_t, f_t) \in \mathcal{X}_t^S \mid \exists (y_t^c \in \mathcal{Y}_t, g_t^c \in \mathcal{G}_t, f_t^c \in \mathcal{F}_t, \right. \quad (21)$$

$$\left. \Delta g_t^{up}, \Delta g_t^{down}, \Delta u_t^{up}, \Delta u_t^{down}) \right\} \quad (22)$$

$$\underline{G}_t + \Delta g_t^{down} \leq g_t \leq \overline{G}_t - \Delta g_t^{up} \quad (23)$$

$$\underline{U}_t + \Delta u_t^{down} \leq u_t \leq \overline{U}_t - \Delta u_t^{up} \quad (24)$$

$$0 \leq \Delta g_t^{up} \leq \overline{\Delta G}_t^{up} \quad (25)$$

$$0 \leq \Delta g_t^{down} \leq \overline{\Delta G}_t^{down} \quad (26)$$

$$0 \leq \Delta u_t^{up} \leq \overline{\Delta U}_t^{up} \quad (27)$$

$$0 \leq \Delta u_t^{down} \leq \overline{\Delta U}_t^{down} \quad (28)$$

$$v_t^c \geq \gamma v_t; \quad \forall c \in \mathcal{C} \quad (29)$$

$$A^c g_t^c + B^c y_t^c + C^c f_t^c = d_t; \quad \forall c \in \mathcal{C} \quad (30)$$

$$-P_L^c \overline{F}_t \leq f_t^c \leq P_L^c \overline{F}_t; \quad \forall c \in \mathcal{C} \quad (31)$$

$$f_t^c = R^c \theta_t^c; \quad \forall c \in \mathcal{C} \quad (32)$$

$$H_t^c y_t^c = v_{t-1}^{(n)} + a_t^c; \quad \forall c \in \mathcal{C} \quad (33)$$

$$P_g^c (g_t - \Delta g_t^{down}) \leq g_t^c \leq P_g^c (g_t + \Delta g_t^{up}); \quad \forall c \in \mathcal{C} \quad (34)$$

$$P_u^c (u_t - \Delta u_t^{down}) \leq u_t^c \leq P_u^c (u_t + \Delta u_t^{up}); \quad \forall c \in \mathcal{C} \quad \left. \right\}, \quad (35)$$

GAP de inconsistência

- Diferença entre o custo de duas políticas:
 - **Política inconsistente:** planeja com o modelo simplificado mas opera (implementa as decisões) com o modelo detalhado
 - **Política planejada:** política obtida com o modelo simplificado utilizado na etapa de planejamento. Apesar de consistente, essa política não é nunca implementada.
- Utilizamos o Teste t para verificar se o GAP é zero

$$GAP = \frac{1}{M} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^M c_i^\top g_{ti}^D - \frac{1}{M} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^M c_i^\top g_{ti}^S. \quad (16)$$

Avaliação da política inconsistente

- Diferença entre o custo de duas políticas:
 - **Política inconsistente:** planeja com o modelo simplificado mas opera (implementa as decisões) com o modelo detalhado
 - **Política consistente** com o modelo detalhado: planeja e opera com o modelo detalhado
- Analisamos os níveis de armazenamento, despacho termelétrico e custo marginal de operação

Sistema teste caso A: simplificação na restrição de transmissão (2ª lei)

- Demanda constante igual a 100 MWh por período
- Uma hidro grande, uma térmica barata (G1) e uma cara (G2).

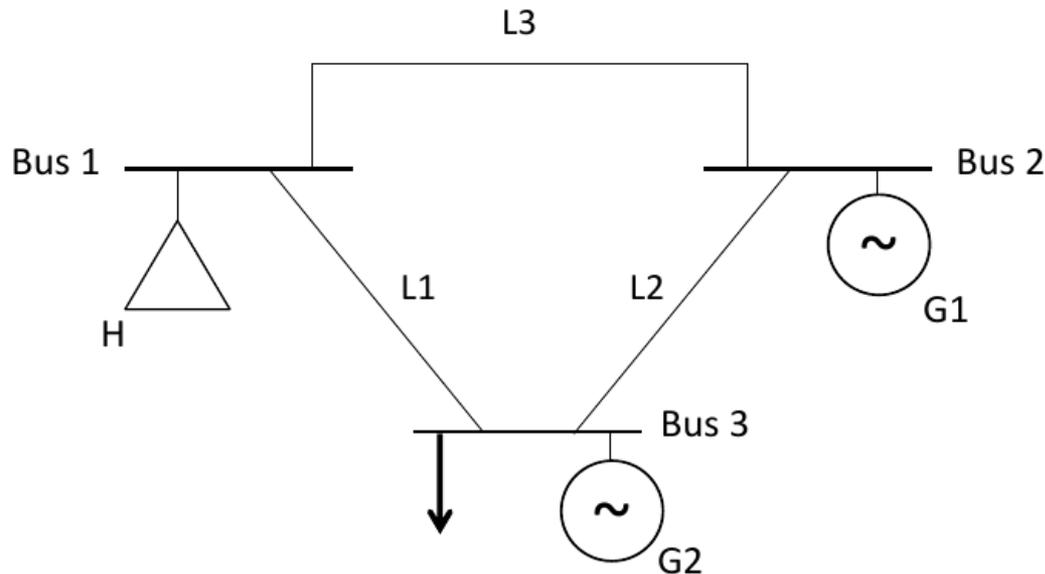


Figure 2. Three Bus System

TABLE I. THERMAL GENERATOR DATA

Thermal Unit	c R\$/MWh	\bar{G} MW	$\overline{\Delta G}^{up}$ MW	$\overline{\Delta G}^{down}$ MW
G_1	20	100	50	50
G_2	100	50	25	25

TABLE II. HYDRO GENERATOR DATA (m^3)

Hydro Unit	\bar{V}	\bar{U}	v_0	$\overline{\Delta U}^{up}$	$\overline{\Delta U}^{down}$
H	150	80	50	80	80

Sistema teste caso A: simplificação na restrição de transmissão (2ª lei)

- Geração cara (G2) mitigada no caso consistente
- Picos de geração cara e CMO na política inconsistente
- GAP = 7% do custo planejado

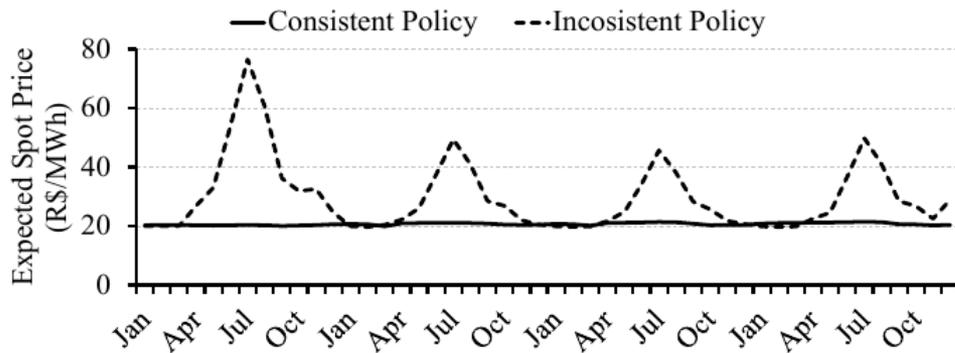


Figure 5. Spot Price with time inconsistency due to simplifications in transmission line modeling.

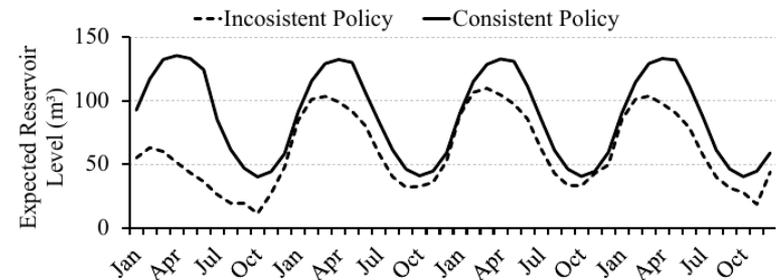


Figure 3. Reservoir levels with time inconsistency due to simplifications in transmission line modeling.

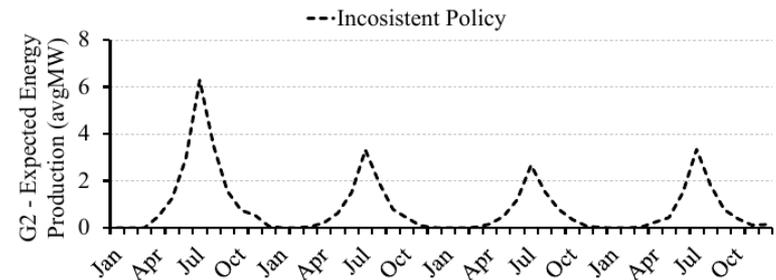


Figure 4. Expensive thermal generation with time inconsistency due to simplifications in transmission line modeling. In this case, generation under the consistent policy is constant and equal to zero.

Sistema teste caso B: simplificação no critério de segurança $n - 1$

- Demanda constante igual a 100 MWh por período
- Uma hidro grande, uma térmica barata (G1) e uma cara (G2).

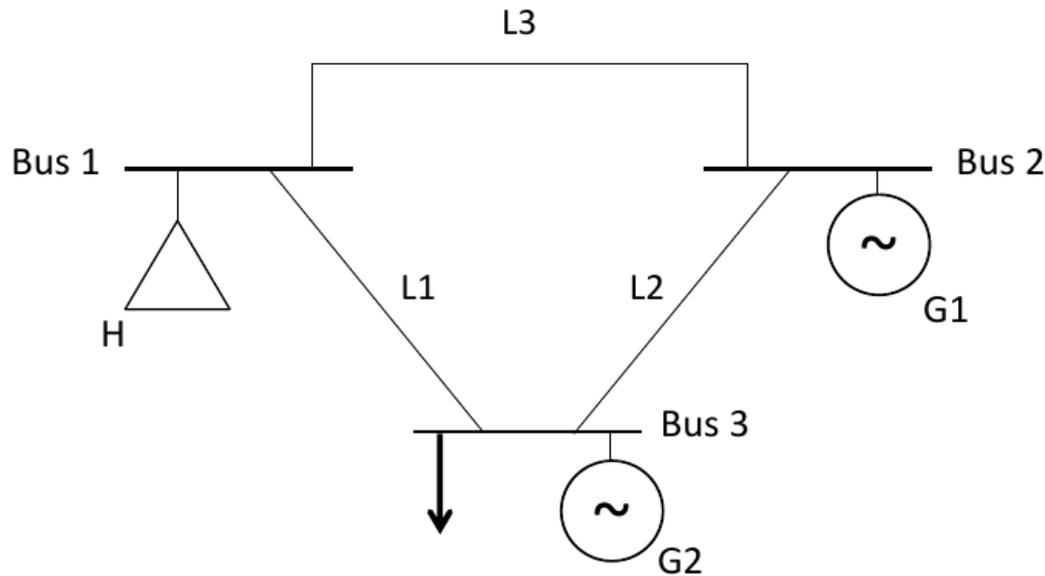


Figure 2. Three Bus System

TABLE I. THERMAL GENERATOR DATA

Thermal Unit	c R\$/MWh	\bar{G} MW	$\overline{\Delta G}^{up}$ MW	$\overline{\Delta G}^{down}$ MW
G_1	20	100	50	50
G_2	100	50	25	25

TABLE II. HYDRO GENERATOR DATA (m^3)

Hydro Unit	\bar{V}	\bar{U}	v_0	$\overline{\Delta U}^{up}$	$\overline{\Delta U}^{down}$
H	150	80	50	80	80

Sistema teste caso B: simplificação no critério de segurança $n - 1$

- Déficit mitigado no caso consistente ($C^{def} = 1000 R\$/MWh$)
- Picos de geração cara e CMO na política inconsistente
- GAP = 63% do custo planejado

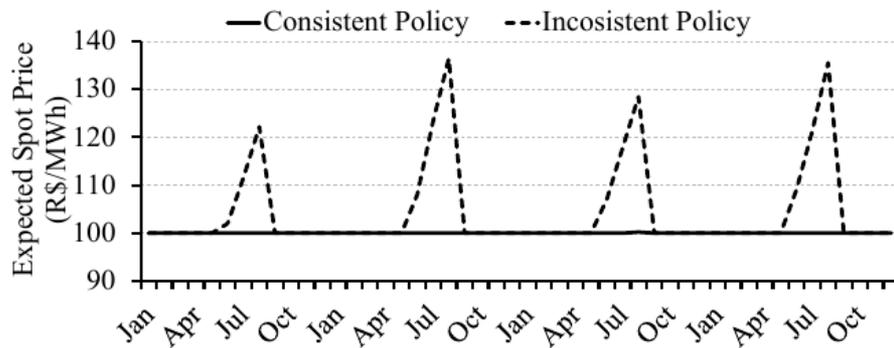


Figure 8. Spot price with time inconsistency due to simplifications in security criteria

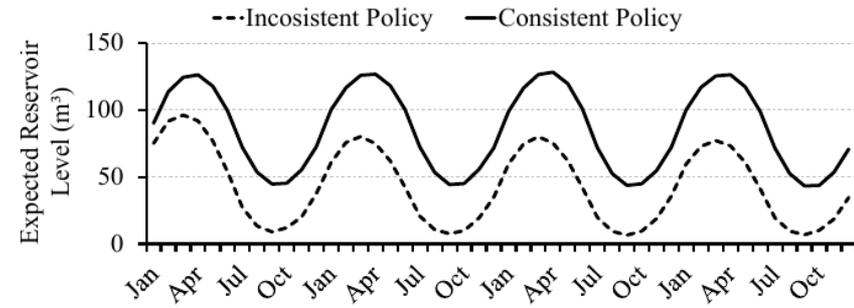


Figure 6. Reservoir levels with time inconsistency due to simplifications in security criteria

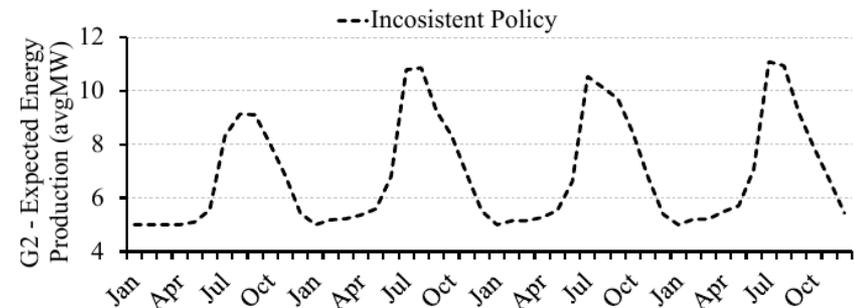


Figure 7. Expensive thermal generation with time inconsistency due to simplifications in security criteria

Hedge Hidrológico na Contratação Ótima de uma Hidro no MRE (2013 e 2014 na visão de 2008)

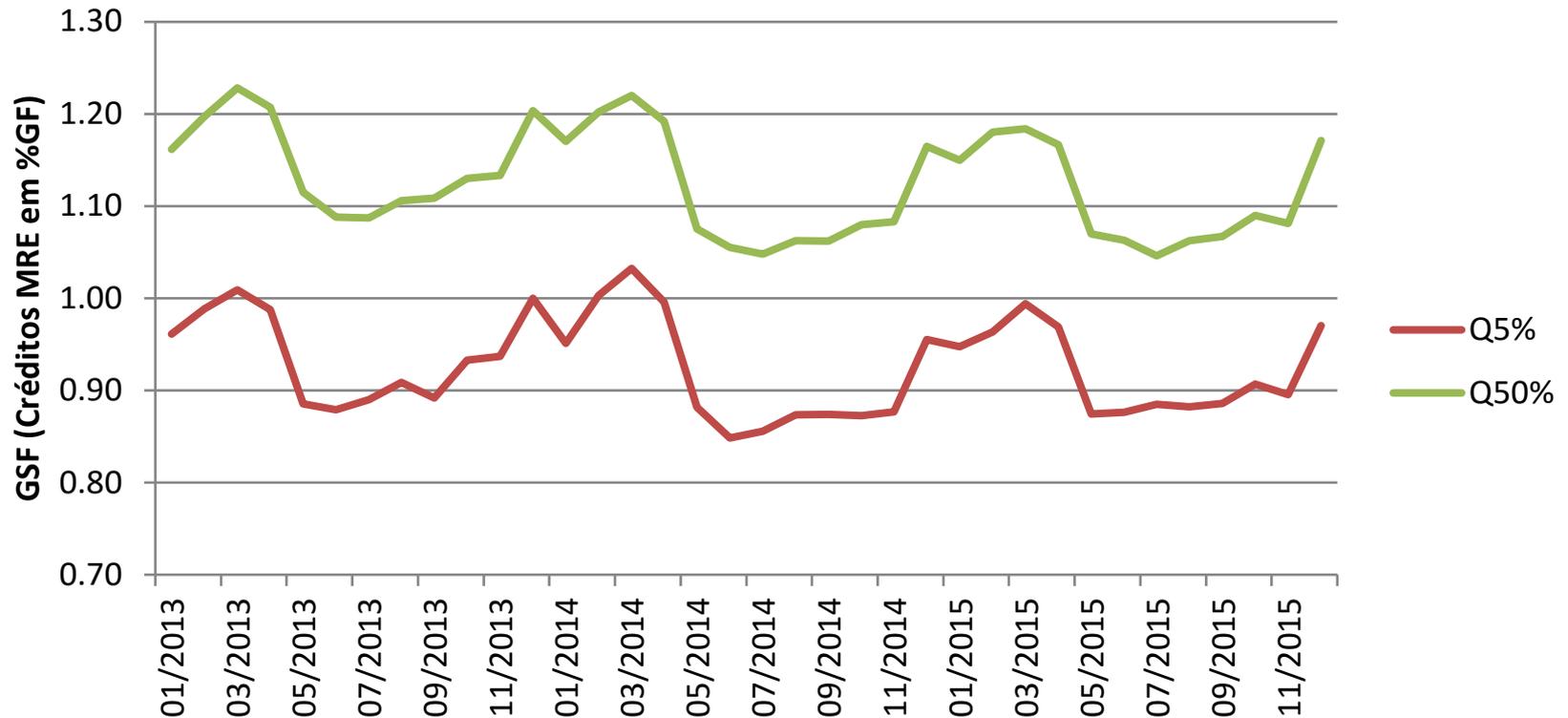
Prof. Alexandre Street

10/dezembro/2015

IAG PUC-Rio

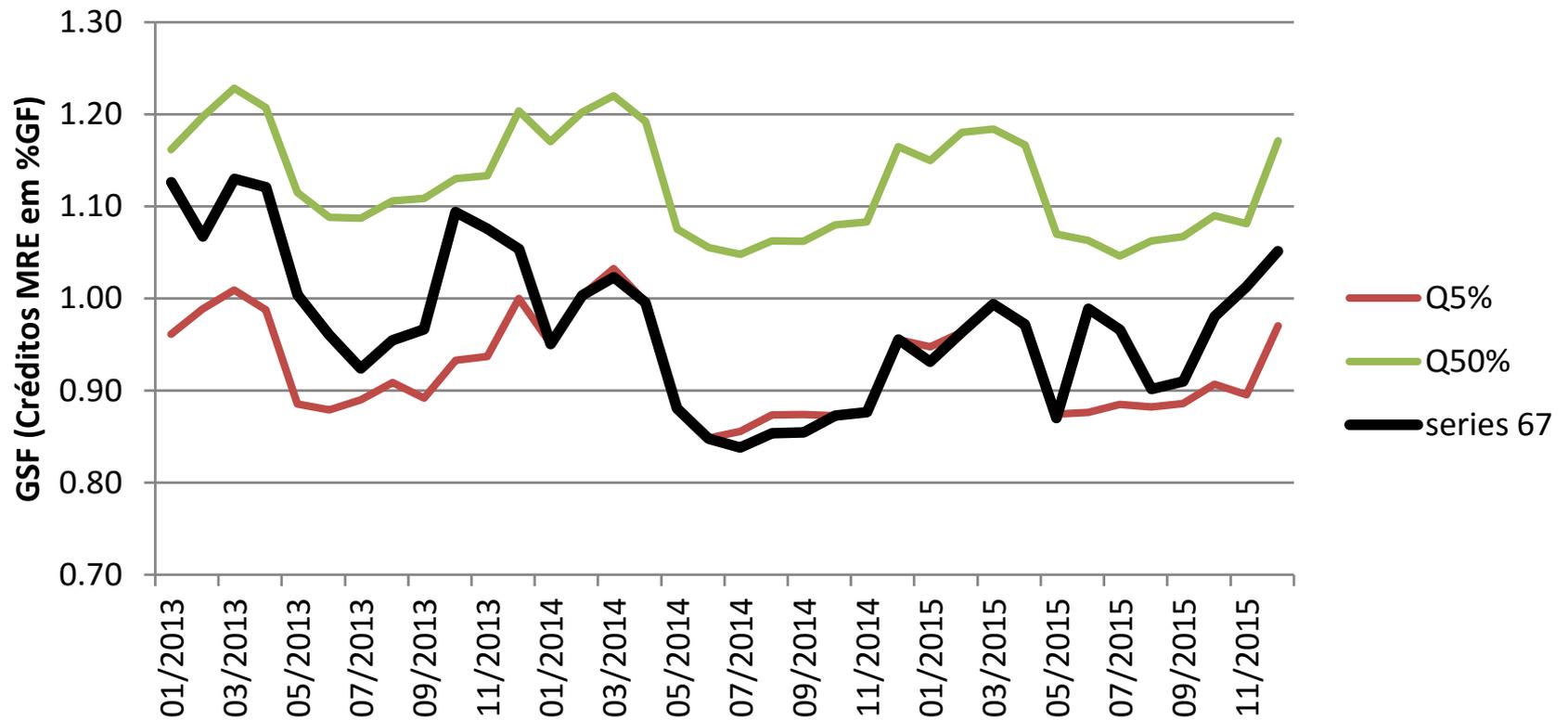
GSF

- Simulação em 2008
- para 2013 e 2014



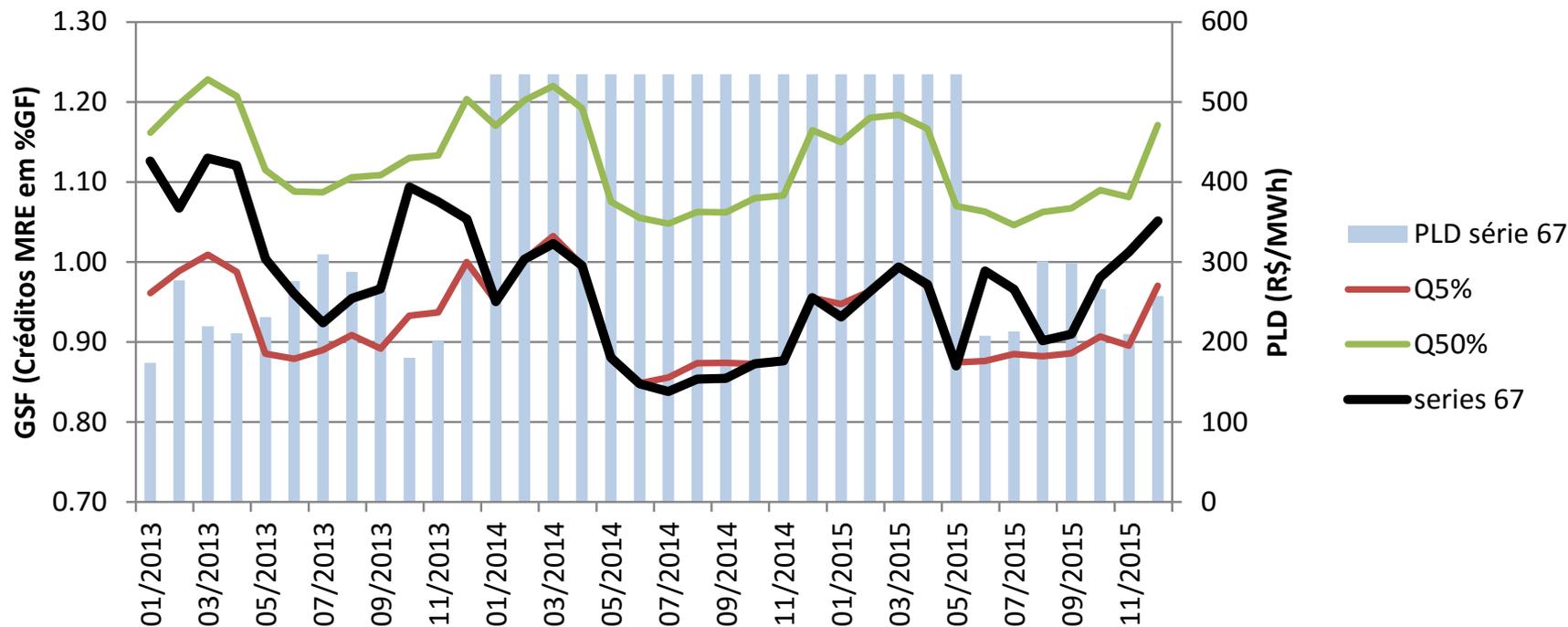
GSF

- Simulação em 2008
- para 2013 e 2014



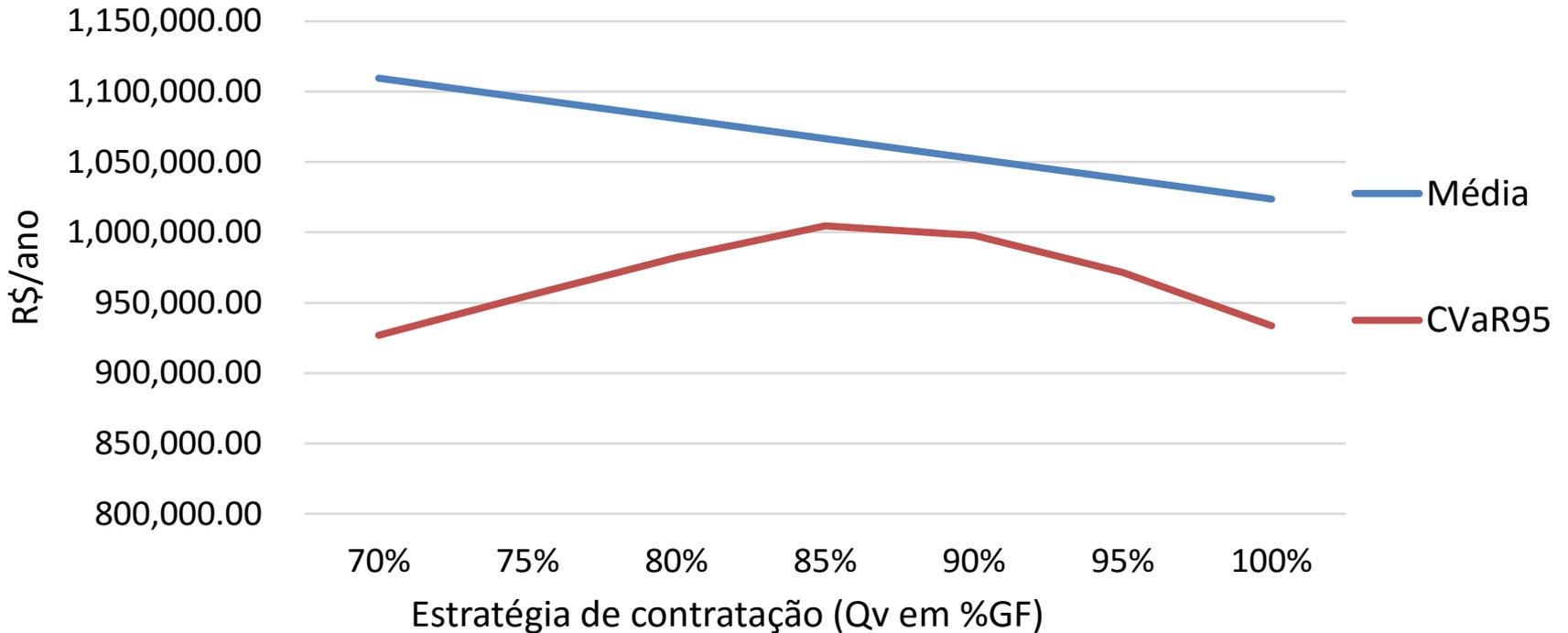
GSF e PLD (série problemática - 67)

- Simulação em 2008
- para 2013 e 2014



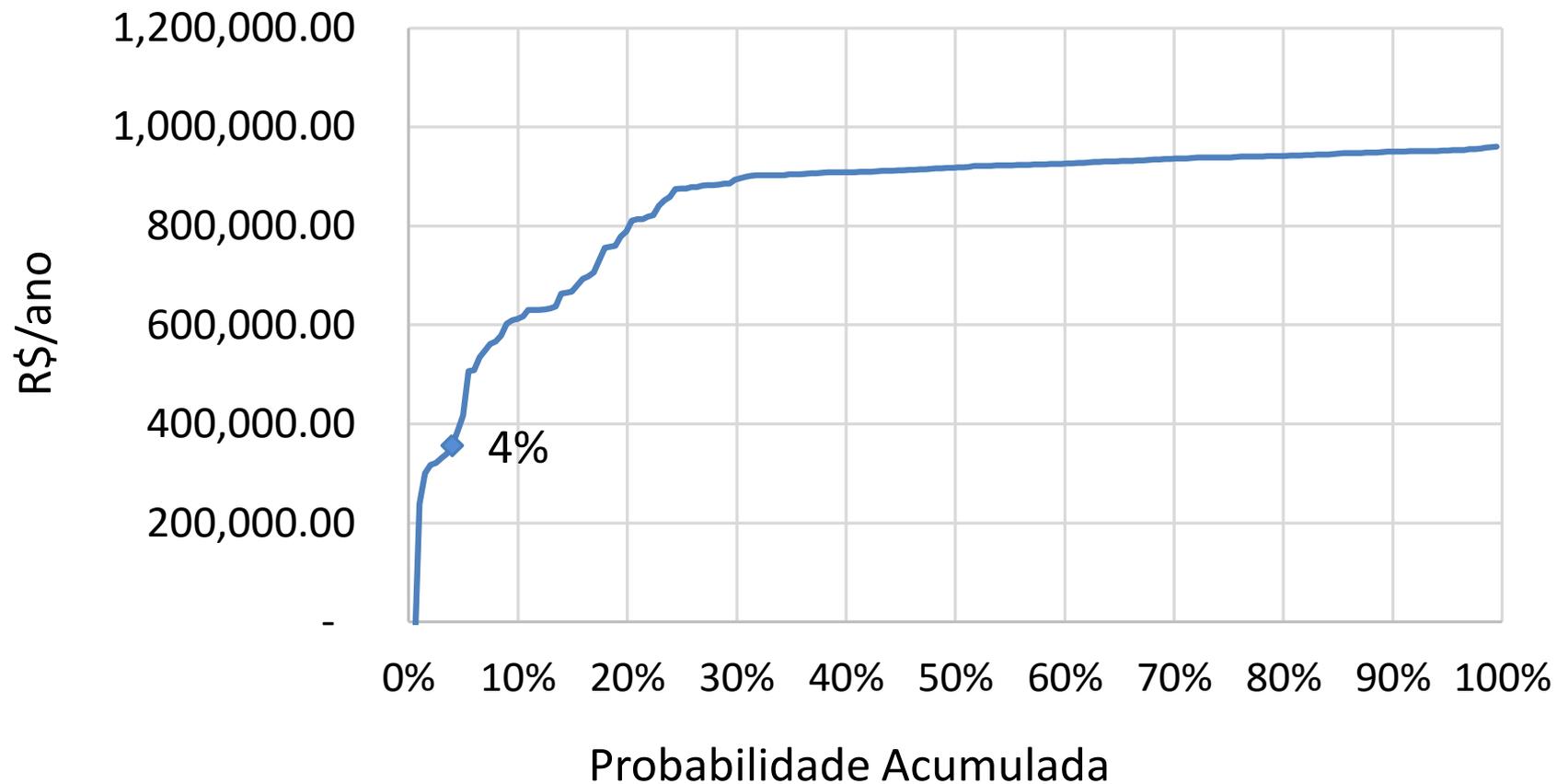
Contratação ótima

Curva de Receita anual (esperada e CVaR)
Portfolio PCH e Eólica no ACL



Para Q = 100% GF destaque para a série 67

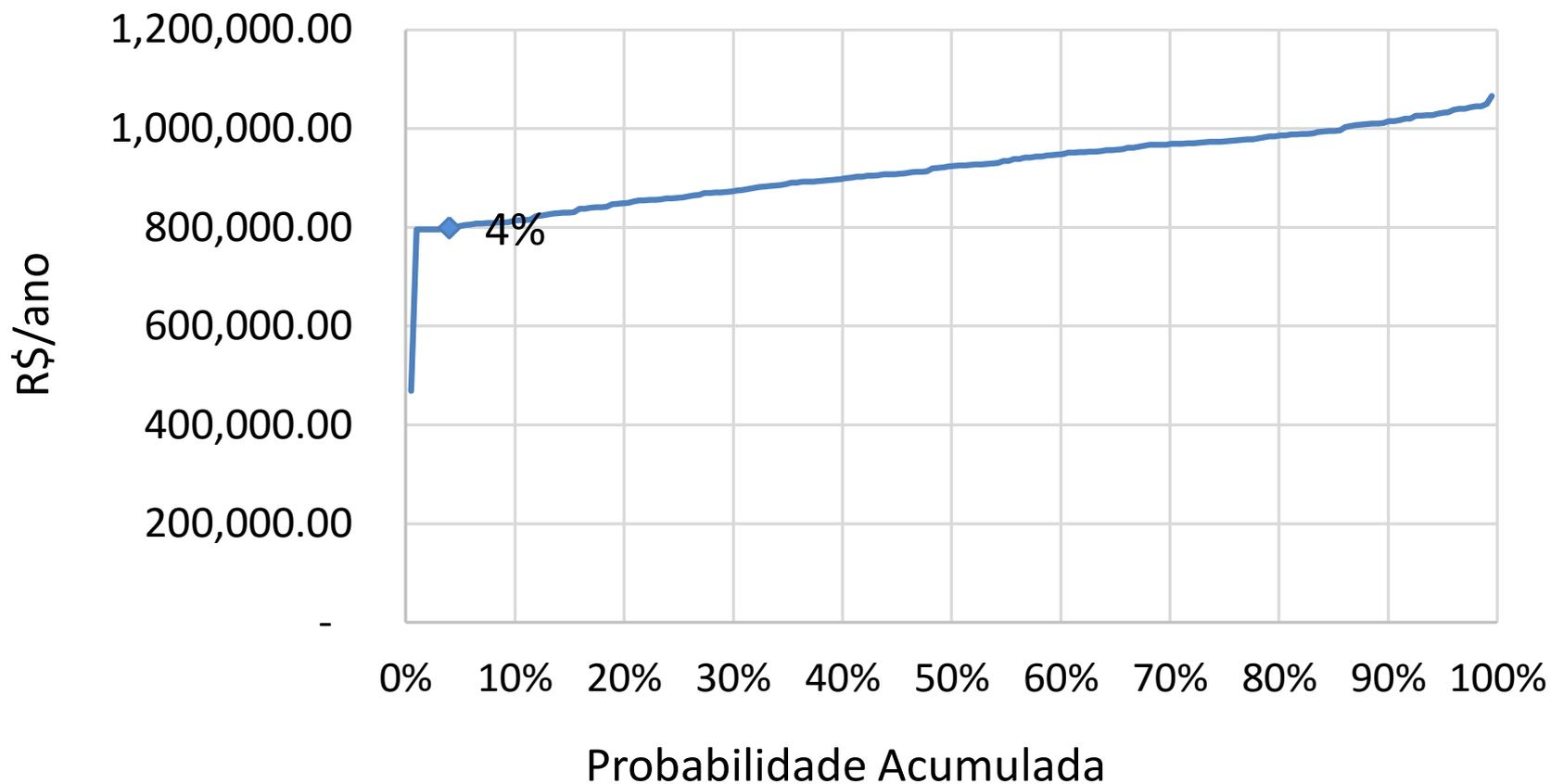
Curva de Pertinência da Renda em 2014



Para Q = 100% GF

Destaque para a série 67

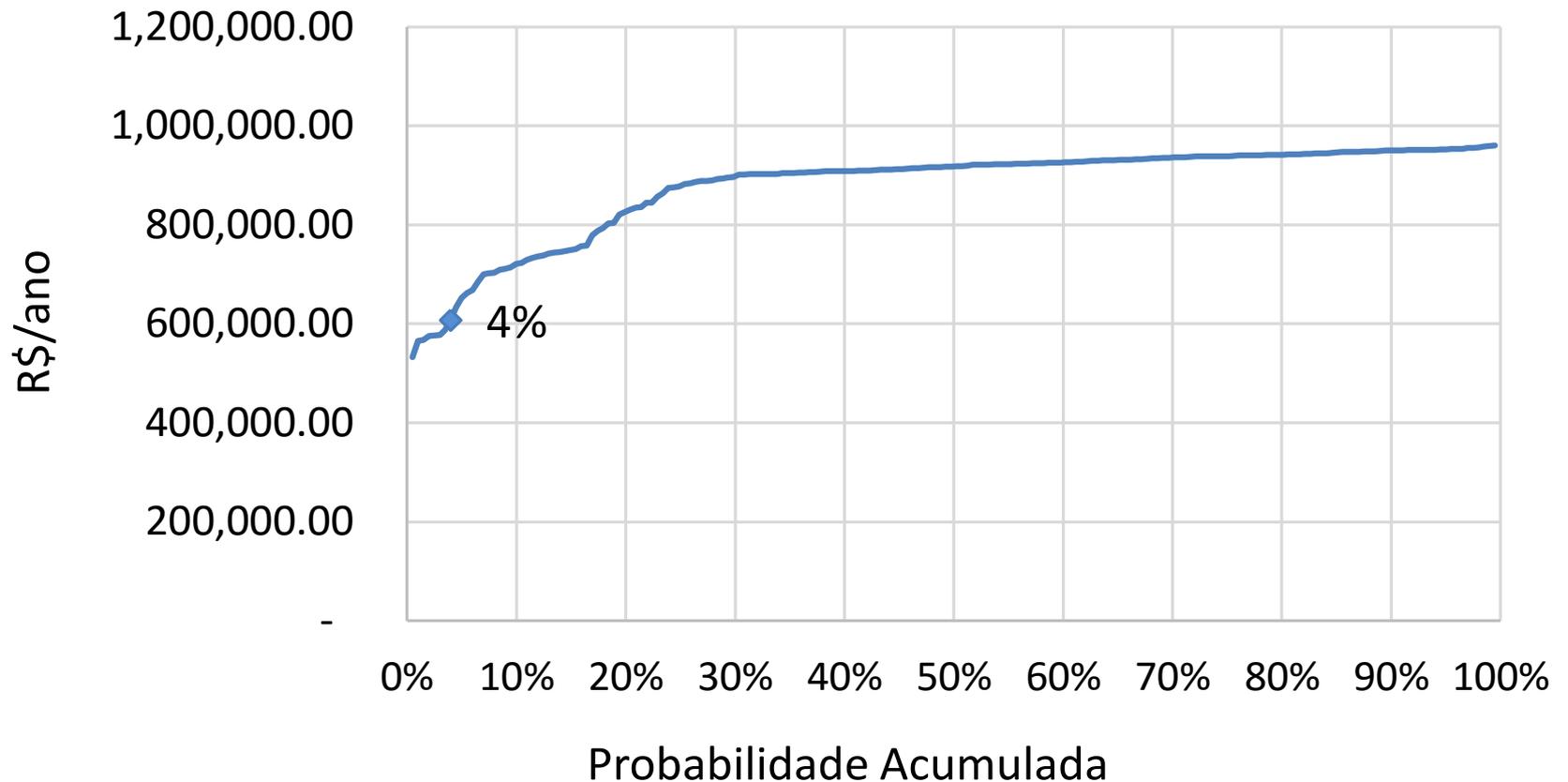
Curva de Pertinência da Renda em 2014



Para $Q = 100\%$ GF

SUPONDO $GSF > 0.95$ SEMPRE!

Curva de Pertinência da Renda em 2014



Contratação ótima

Curva de Receita anual (esperada e CVaR)
Portfolio PCH e Eólica no ACL

