

O valor da água e projeções para estudos de longo prazo

Workshop on Computing Efficient Energy Prices *EPE*

AGENDA

- **Modernização do setor elétrico**
- **Ferramentas para estudos de longo prazo**
- **Novos desenvolvimentos**
- **Desafios para aprimorar a representação**

Modernização do Setor Elétrico

Modernização do Setor Elétrico

Principais temas associados a este Workshop

- **Formação de Preços (*Tight e Loose Pools*)**
 - Aprimoramentos do mecanismo atual
 - Eventual transição para um novo mecanismo
- **Separação Contratual entre Lastro e Energia**
 - Produtos e necessidade de precificação
- **Revisão dos Critérios de Suprimento**
 - Requisitos dos sistema

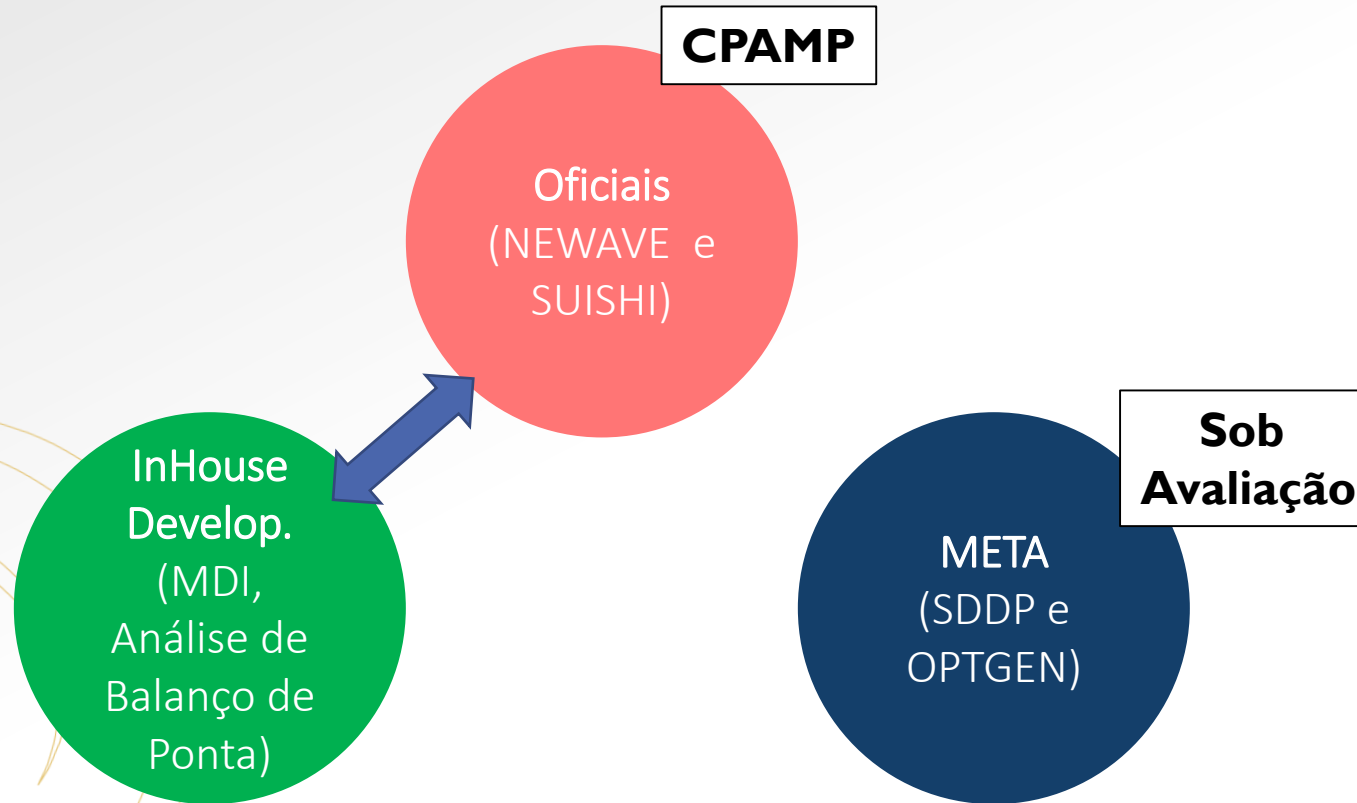


29/10

Ferramentas para estudos de longo prazo

Conjuntos de ferramentas

Atualmente a EPE dispõe de 3 conjuntos



Conjuntos de ferramentas

Ferramentas Oficiais

- EPE como membro da CPAMP, tem responsabilidade para acompanhar e monitorar a evolução das ferramentas do setor
- NEWAVE, DECOMP, DESSEM, SUISHI
- Planejamento de Curto, Médio e Longo Prazos

Desenvolvimento InHouse

- Planejamento de longo prazo com operação simplificada (séries de energia)
- EPE atualmente desenvolve novas funcionalidades: integração entre expansão e operação
- Balanço de ponta e atendimento horário

Conjuntos de ferramentas

META

- Em 2018, com recursos do Banco Mundial, a EPE adquiriu um novo pacote de modelagem
- Contrato com a PSR, a partir de novembro de 2018, por 3 anos
- OPTGEN: planejamento da expansão de longo prazo
- SDDP: detalhamento da operação (resolução mensal ou horária)
- Atualmente a EPE está realizando estudos avaliativos para utiliza-las adequadamente nos estudos de planejamento, considerando detalhamento das renováveis, rede elétrica e restrições do setor de gás

Metodologia de Planejamento Atual

Modelo de Decisão de Investimento

Modelo computacional para suporte a decisão de expansão

Investimento Detalhado

Operação Simplificada

Ajustes da Expansão e simulação da Operação

Simulação da Operação - NEWAVE
Avaliação da operação dos sistema para detalhar condições futuras e balanço de carga

Operação e ajustes finos

Balanço de ponta e atendimento horário

Modelo de Decisão de Investimentos - MDI

Função Objetivo: Minimizar a soma para todos os períodos e conjuntos



MDI: Principais Características

Restrições de atendimento a carga

- Mensais ou patamares (4): dependendo do horizonte
- Cenários de Geração individualizada para cada hidrelétrica
- Despacho por ordem de mérito das termelétricas
- Produção estimada para fontes não-despachadas

Restrições de balanço de ponta

- Balanço de capacidade de ponta
- Perdas por deplecionamento dos reservatórios
- Indisponibilidade termelétrica
- Estimativas a partir de dados horários para contribuição de eólica e solar
- Maximum Instantaneous Power and Operating Reserve.

MDI: Principais Características

Representação dos cenários hidrológicos

- Obtidos a partir de simulações da cadeia NEWAE-SUIISHI (simulação individualizada)
- Considera toda a oferta de hidrelétricas candidatas
- Metodologia para escolha e estimativa das probabilidades dos 10 cenários
- Séries de múltiplos períodos para energia e capacidade de ponta juntos
- Variáveis inteiras para expansão hidrelétrica



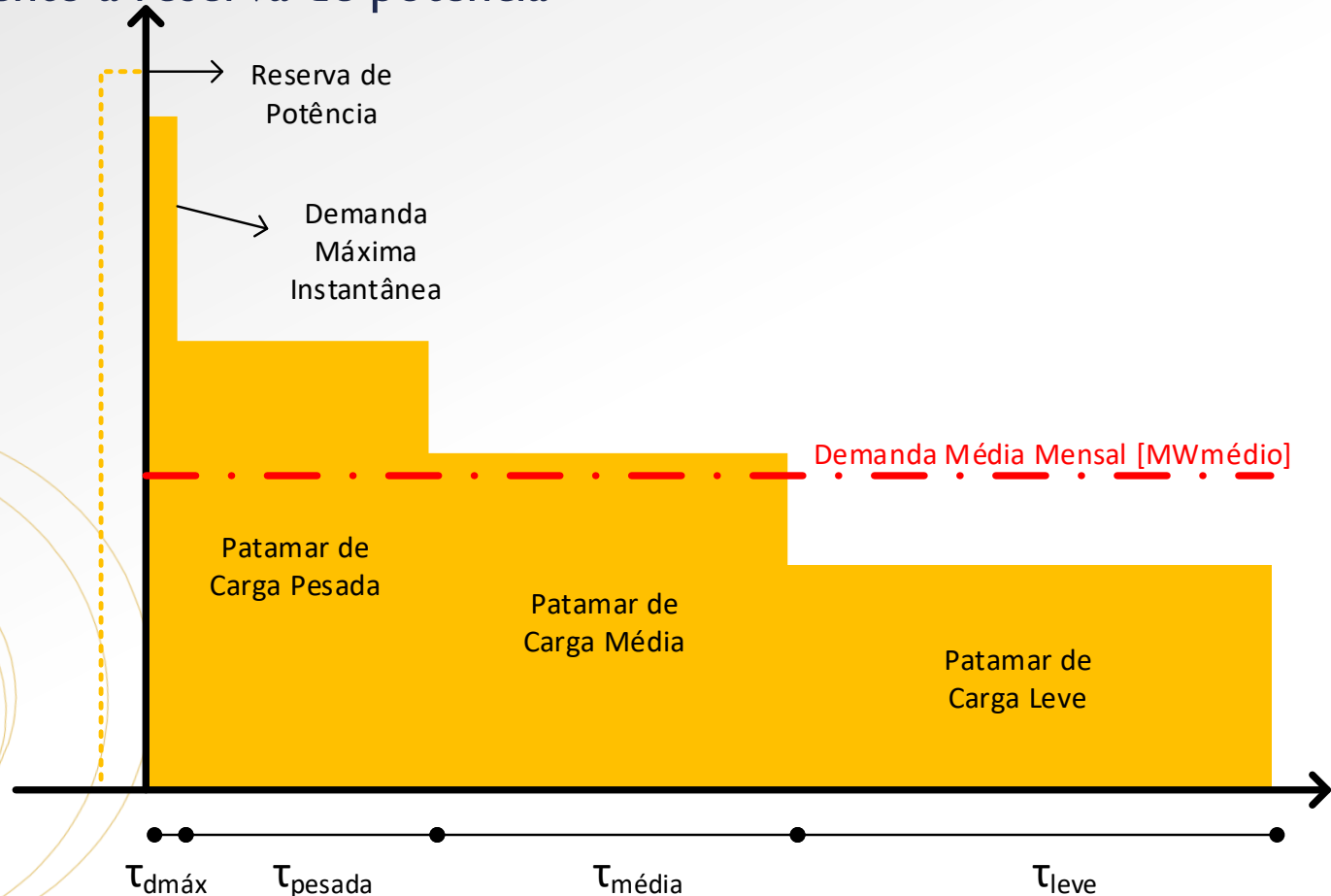
Outras

- Código aberto, orientado a objetos (Python)
- Manipulação de dados via MS Excel
- Flexibilidade para introdução de restrições
- Funciona com qualquer *solver*

```
# Restricao de atendimento a demanda de energia em cada periodo
def restAtendeDemanda (modelo, isis, iper, icen):
    # atendimento a demanda de energia
    return ((sum(modelo.prodTerm[term.nomeUsina, iper, icen]
                + sum(modelo.interc[jsis, isis, iper, icen]
                - sum(modelo.interc[isis, jsis, iper, icen]
                + modelo.energiaRenovEx[isis, iper, icen] +
                + modelo.deficit[isis, iper, icen]) \
                + sum(modelo.capHidroNova[proj.nomeUsina, iper, icen]
                + sum(modelo.capRenovCont[proj.nomeUsina, iper, icen]
                + sum(modelo.capRenovInt[proj.nomeUsina, iper, icen]
                + sum(modelo.prodTermCont[proj.nomeUsina, iper, icen]
                >= modelo.demanda[isis, iper, icen] + sum(
```

MDI: Curva de carga

- Representação em 4 patamares
- Atendimento a reserva de potência



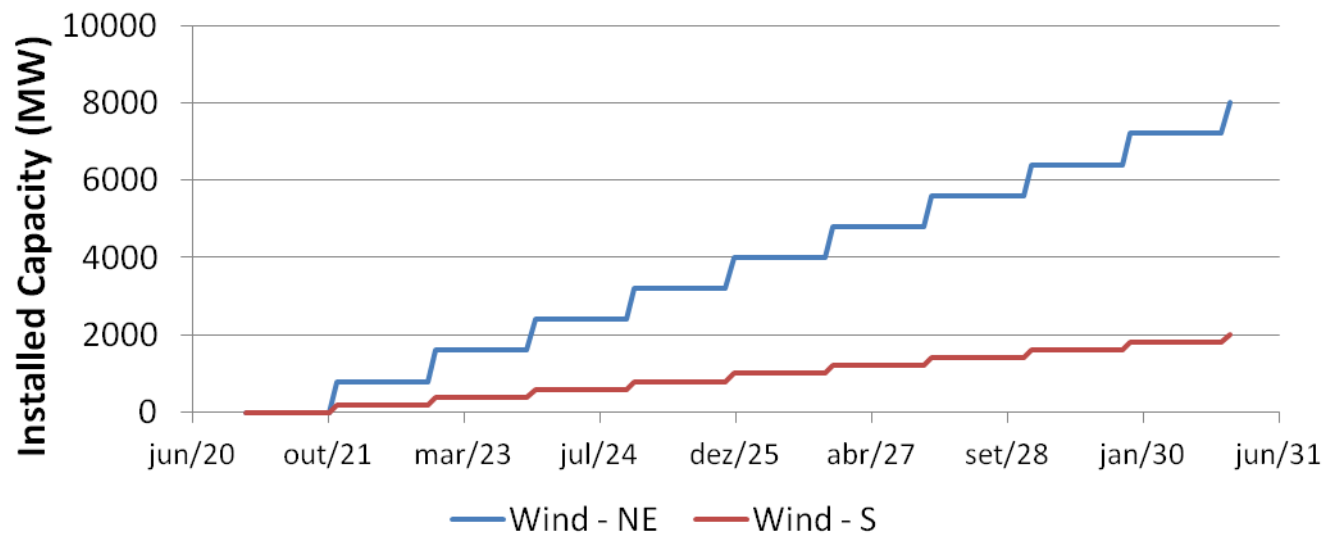
MDI: Restrições de expansão

Expansão por “steps”

- Para fontes selecionadas a expansão é distribuída ao longo de um período

Proporção entre regiões

- Historicamente observa-se uma proporção entre empreendimentos no S e NE (apesar da diferença de fator de capacidade)



Novos Desenvolvimentos

Próximos passos: Aprimorar a representação

Algoritmos

- Decomposição (Investimento e Operação)
- PDDE
- Representação horária (ramp-up/down, UC, etc.)

Ambiente Computacional

- Julia Language
- Integração com Banco de Dados
- Parallel e Cloud Computing



```
# Inicializa o objeto SDDP do Oscar
m = SDDPModel(
    risk_measure      = NestedAVaR(beta = 0.5, lam
    cut_oracle        = DefaultCutOracle(), # metodo
    solver            = ClpSolver(), #GLPKSolverLP(),
    markov_transition = M,
    sense             = :Min, # problema de minimiza
    stages            = NPer, # numero de estagios
    objective_bound   = 0 # limite geral
) do sp, stage, markov

UHes = sin["UHE"]["usinas"]
UTES = sin["UTE"]["usinas"]
r2u  = sin["UHE"]["res"]
```


Modelo detalhado de operação

Principais características

- Reservatórios individualizados
- Solver Comercial (CPLEX)

Inovações

- Estratégias de paralelização
- Incerteza das afluições por cadeias de Markov
- Abordagem diferenciada para o efeito “final do mundo”

Cadeia de Markov

Implementação ágil

- Não é necessário estimar um modelo para cada UHE

Proposta

- 20 estados de Markov
- Afluências e probabilidades de transição históricas

Estado
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

Dez -> Jan

Estado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	32.9%	14.7%	10.5%	7.4%	5.4%	4.8%	4.1%	3.6%	2.6%	3.3%	1.9%	1.6%	1.6%	1.5%	1.6%	1.1%	1.1%	0.5%	0.9%	0.5%
2	18.6%	14.6%	10.9%	9.0%	6.4%	6.9%	4.3%	4.4%	4.5%	1.9%	2.9%	2.9%	2.2%	2.3%	1.7%	1.9%	1.2%	1.2%	0.9%	1.0%
3	13.4%	12.6%	8.1%	9.1%	7.4%	5.6%	7.0%	5.4%	4.0%	5.1%	3.4%	2.9%	3.6%	2.3%	2.3%	1.5%	1.6%	2.1%	0.8%	1.5%
4	9.2%	10.9%	10.0%	8.6%	7.7%	6.6%	7.5%	5.1%	4.4%	4.5%	3.9%	3.8%	3.5%	2.6%	2.4%	2.1%	1.9%	1.8%	1.8%	1.1%
5	6.5%	8.6%	8.9%	7.1%	8.6%	6.6%	6.4%	6.1%	6.4%	5.9%	4.5%	4.1%	3.7%	3.1%	2.8%	2.6%	3.5%	1.9%	1.7%	0.8%
6	4.9%	7.6%	8.7%	8.8%	7.9%	7.1%	6.6%	4.8%	6.4%	6.1%	4.8%	4.4%	4.5%	3.3%	3.4%	2.6%	2.4%	2.2%	1.9%	1.3%
7	3.6%	7.1%	6.9%	8.4%	6.9%	6.7%	7.0%	6.5%	5.4%	5.1%	4.9%	5.3%	5.0%	3.7%	3.9%	3.0%	3.1%	2.6%	2.3%	2.4%
8	3.4%	4.7%	7.4%	6.6%	7.4%	6.7%	6.8%	7.3%	7.0%	5.6%	5.4%	4.7%	4.6%	4.2%	3.8%	3.7%	3.4%	3.4%	2.2%	2.6%
9	1.9%	4.6%	6.1%	5.6%	6.6%	7.1%	5.9%	6.8%	7.4%	6.1%	5.3%	6.4%	4.6%	5.1%	3.9%	4.1%	3.9%	3.5%	2.3%	2.8%
10	1.8%	4.1%	5.4%	5.8%	5.7%	7.4%	5.2%	5.9%	7.6%	6.9%	6.4%	5.1%	5.1%	5.4%	4.6%	4.9%	4.2%	3.4%	3.3%	2.5%
11	1.3%	3.4%	3.4%	4.9%	6.4%	5.2%	7.8%	6.4%	5.4%	5.5%	6.7%	5.9%	5.3%	6.8%	5.1%	5.3%	5.2%	3.6%	3.7%	2.7%
12	1.0%	2.7%	3.8%	4.3%	5.3%	5.9%	5.3%	6.2%	5.6%	6.0%	6.5%	5.8%	6.1%	6.2%	4.8%	5.9%	5.8%	4.1%	4.5%	3.1%
13	0.6%	1.8%	2.1%	4.4%	4.6%	4.6%	5.4%	6.1%	5.1%	6.0%	7.1%	6.9%	6.4%	7.0%	5.8%	6.0%	5.1%	5.9%	6.1%	3.1%
14	0.4%	0.9%	2.2%	2.8%	4.1%	5.7%	4.9%	5.8%	4.9%	5.9%	6.8%	6.1%	7.4%	6.5%	6.0%	6.6%	6.4%	5.8%	5.4%	4.6%
15	0.2%	0.7%	1.8%	2.8%	3.0%	3.2%	3.9%	5.2%	5.3%	5.8%	7.4%	5.9%	6.6%	7.1%	8.9%	7.1%	7.1%	5.9%	7.0%	5.1%
16	0.1%	0.8%	1.6%	1.5%	2.2%	3.5%	3.7%	5.1%	6.2%	5.4%	5.6%	6.6%	6.4%	7.3%	7.7%	7.6%	7.9%	7.7%	6.7%	6.4%
17	0.0%	0.3%	1.0%	0.9%	1.6%	2.7%	3.1%	3.6%	4.4%	4.8%	5.7%	5.9%	7.2%	7.5%	8.6%	8.1%	8.1%	8.7%	9.4%	8.5%
18	0.0%	0.4%	0.2%	0.6%	1.4%	2.1%	2.9%	3.4%	3.7%	4.2%	5.3%	5.1%	6.3%	6.9%	8.6%	8.6%	8.4%	10.4%	9.9%	11.8%
19	0.0%	0.1%	0.1%	0.5%	0.7%	1.1%	1.1%	2.1%	3.7%	3.6%	4.1%	6.3%	6.1%	7.5%	7.5%	9.0%	9.9%	12.0%	13.4%	11.9%
20	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.3%	0.1%	0.3%	0.8%	1.0%	1.6%	2.5%	3.7%	3.2%	4.6%	7.2%	7.8%	10.7%	13.4%	16.5%	25.9%

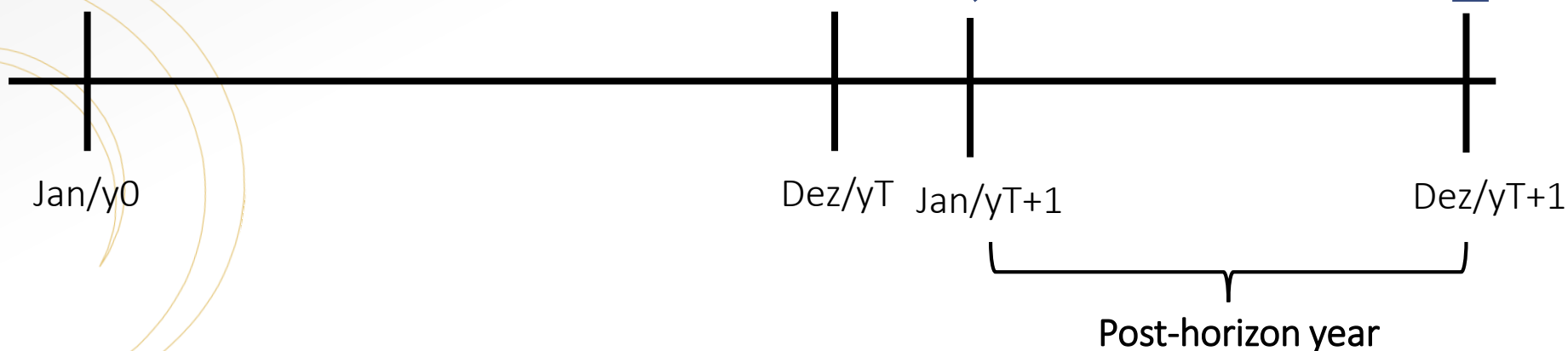
Efeito “Final do Mundo”

Significado

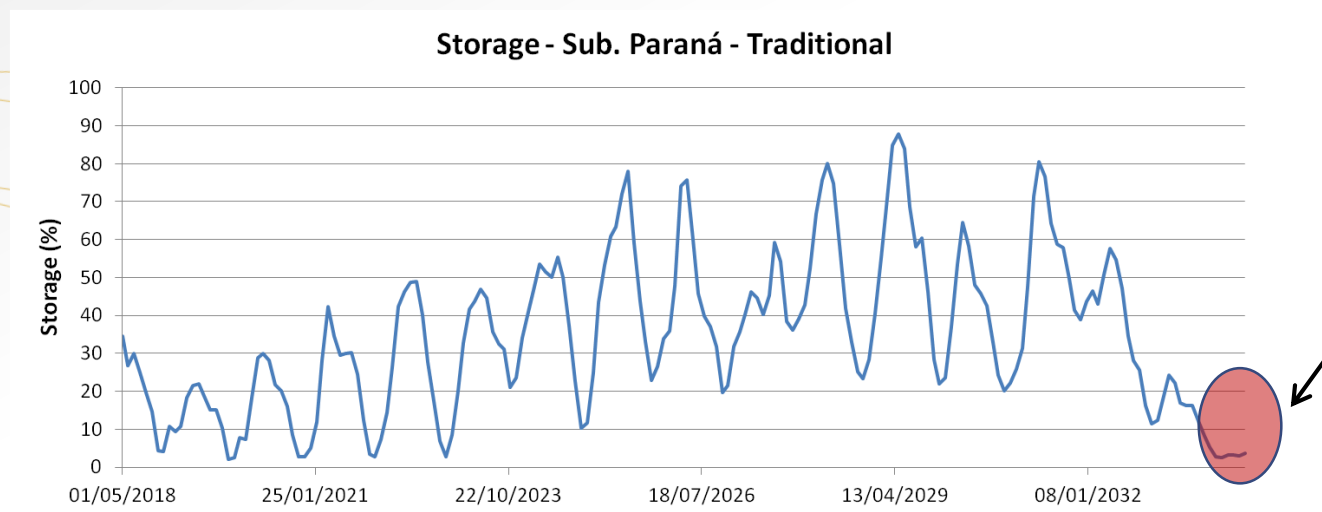
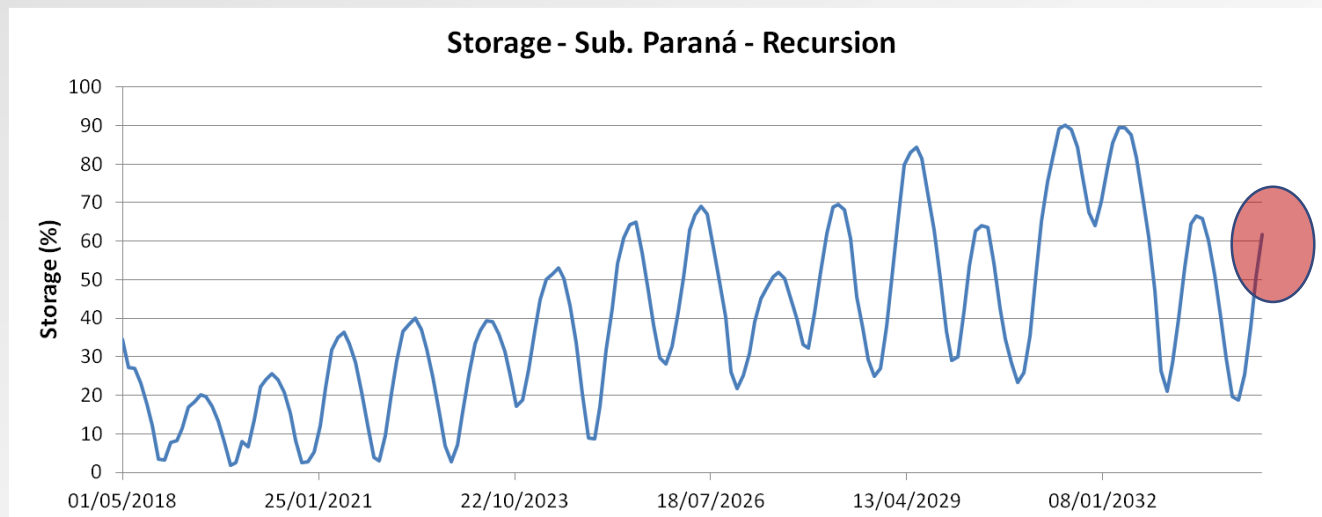
- No último estágio a água tem valor nulo
- Abordagem tradicional: adicionar 3 a 5 anos no final do horizonte

Proposta

- Horizonte infinito por recursão (a cada iteração)
- Apenas 1 ano para o pós horizonte

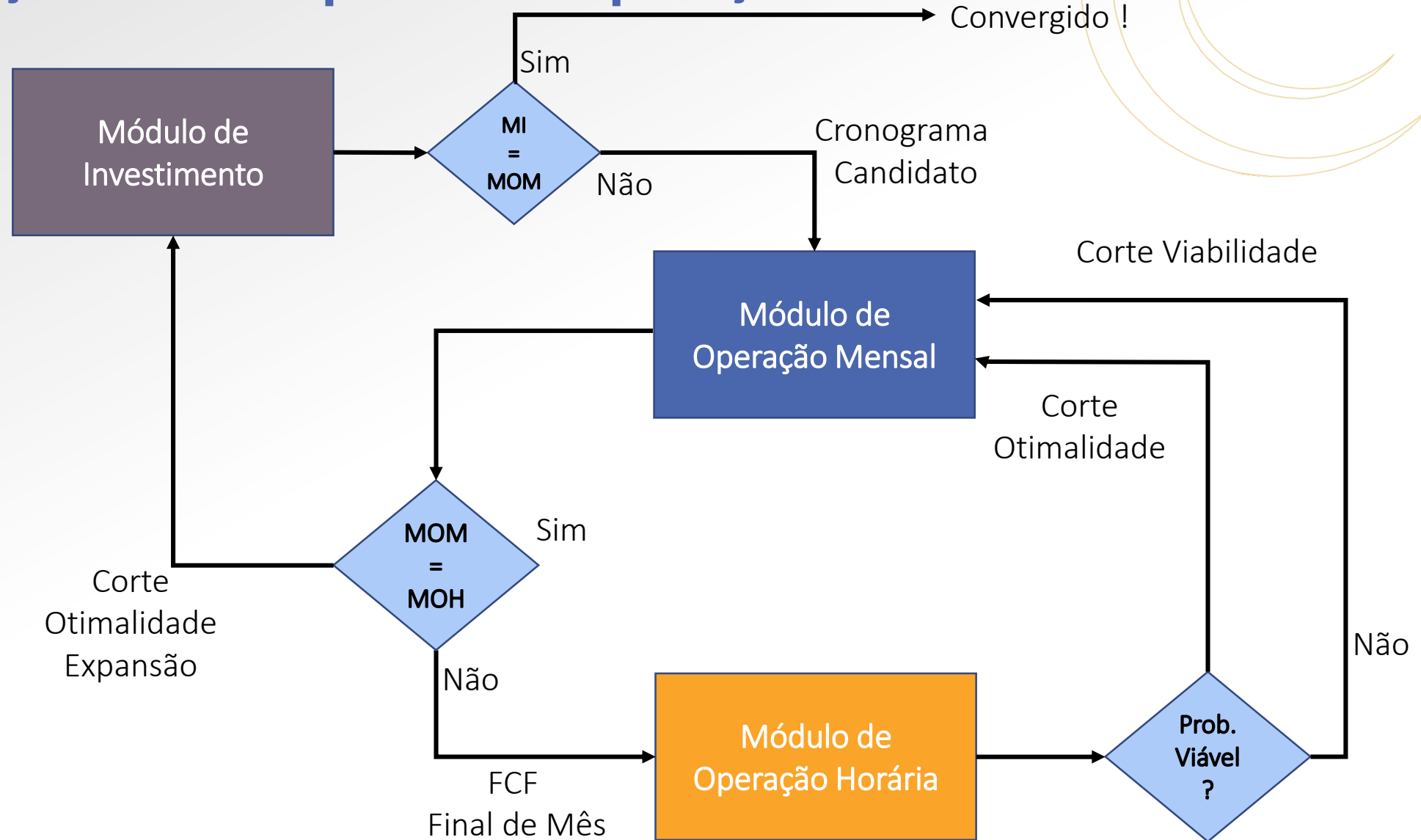


Efeito “Final do Mundo”: Resultados



Efeito “Final do Mundo”

Futuro: Integração entre Expansão e Operação



Desafios para aprimorar a representação

Representação hidrológica e geração e cenários

Estudos da CPAMP

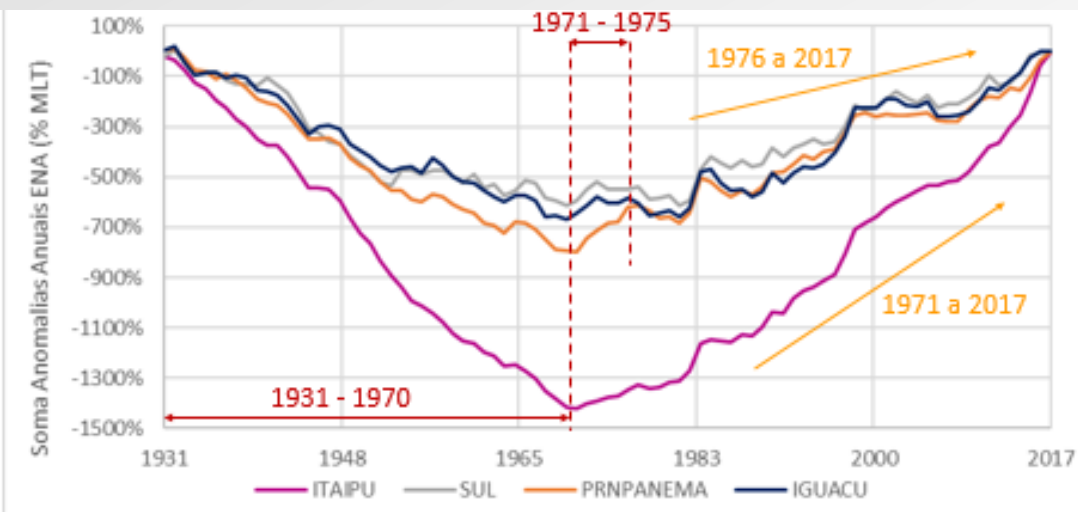
- No ciclo 2018/2019 o GT-Metodologia se aprofundou no tema
- CP 74: [relatório completo](#)

Principais Conclusões

- As vazões apresentam não preservam seus momentos estatísticos ao longo do tempo
- Portanto, o modelo PAR(p) atual não seria capaz de representar essa estrutura
- Há indícios de correlações com índices macroclimáticos
 - MEI e IPDO: Pacífico
 - AMO: Atlântico

Representação hidrológica e geração e cenários

Vazões e índices



MEI

FASE FRIA: até 1975

FASE QUENTE: a partir
1976



AMO / CAR

FASE QUENTE: até 1962

FASE FRIA: 1963 a 1997

FASE QUENTE: a partir
1998

Representação hidrológica e geração e cenários

Outros aspectos

- Mudanças de padrão de fenômenos de circulação atmosférica (bloqueios, ZCAS, etc)
- Atuação das correntes marítimas atuando na temperatura dos oceanos
- Desafios em definir relações causa-efeito
- Compreender a iteração entre vazões e clima para, então, introduzir cenários de mudança climática

Iniciativas

- O tema é muito rico para projetos de P&D ANEEL
- As instituições vem se preparando para desenvolver um estudo amplo e multidisciplinar (possivelmente com recursos do Banco Mundial – META 2)
- Troca de experiências com profissionais dessas áreas
 - Meteorologia, Climatologia, Palioclima, Oceanografia, Hidrologia, etc.
 - UFF, INPE/CPTEC, Cepel, UFC, UnB, USP, UFSC, etc.

Conclusões

Conclusões

- **A modernização do setor vai ensejar a criação de novos produtos e mercados, o que já está sendo considerado na visão de longo prazo**
- **Os modelos para expansão de longo prazo tem outros desafios e necessitam de soluções distintas para representar o valor da água com *trade-off* adequado**
- **No longo prazo é necessário aprimorar a representação hidrológica, com introdução de variáveis climatológicas e até cenários de mudança climática**

Muito obrigado