

Contribuição à Consulta Pública nº 074/2019 - MME

Documentação Técnica GT Metodologia da CPAMP (ciclo 2018-2019): Mecanismos de Aversão ao Risco: CVaR + VminOp; Variabilidade Amostral; Volatilidade do CMO; Representação Hidrológica (Geração de Cenários)

15 de Julho de 2019

ÍNDICE

ÍNDICE	2
SUMÁRIO EXECUTIVO	3
OBJETO	6
CONTEXTUALIZAÇÃO	6
OPORTUNIDADES DE INTERVENÇÃO	9
EIXOS DE ANÁLISE	10
VARIABILIDADE AMOSTRAL E REPRESENTAÇÃO DA ÁRVORE DE CENÁRIOS	10
VOLATILIDADE DO CMO/PLD	12
MECANISMO DE AVERSÃO AO RISCO: CVaR E VOLUME MÍNIMO OPERATIVO	14
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	18

SUMÁRIO EXECUTIVO

1. É notório o esforço despendido durante todo o processo do Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas Associadas aos Modelos Computacionais para o Planejamento da Expansão, Operação do Sistema Elétrico Brasileiro – SEB e Formação do Preço do Mercado de Curto Prazo”. Nota-se que o processo tem atingido um nível de amadurecimento generoso, com a interlocução de diversos agentes setoriais e validações de suas etapas.

2. Os Relatórios Técnicos foram produzidos no âmbito da Consulta Pública MME nº 74, por conseguinte, possuem o rigor técnico e metodológico pertinente para a avaliação do tema, finalizado com considerações, recomendações e adoções reproduzidas a seguir:

“Diante das análises apresentadas, o GT-Metodologia sinaliza que as seguintes propostas de avanços metodológicos sejam consideradas a partir da primeira semana operativa de 2020 nos estudos de planejamento de operação, na formação de preço, no cálculo de garantia física e no Plano Decenal de Expansão, cuja aprovação depende da decisão plenária da CPAMP:

Variabilidade Amostral e representação da árvore de cenários

- **Consideração** do método de reamostragem plena passo 1 momento forward, durante o cálculo da política operativa no modelo NEWAVE;
- **Consideração** do centroide como representante no processo de Amostragem Seletiva (AS), em substituição ao ruído mais próximo ao centroide, para geração de cenários de energia natural afluyente para os modelos NEWAVE e DECOMP;
- **Alteração** da iteração mínima para 30, considerada no critério de parada do modelo NEWAVE;
- **Recomenda-se** avaliar a pertinência de se aprofundar, no próximo ciclo de trabalho da CPAMP, na análise da consideração do número de backward variável ao longo dos meses no período de planejamento;
- **Recomenda-se** que o limite máximo de iterações do processo de convergência, hoje definido em 45, seja reavaliado diante de aprimoramentos de hardware e de metodologias que aumentem a eficiência computacional, contribuindo assim para a redução do tempo de simulação.

Volatilidade do CMO

No ciclo 2018/2019 foram analisadas duas metodologias candidatas à mitigação da volatilidade do CMO/PLD: 1) suspensão da redução automática da ordem do modelo PAR(p) quando da ocorrência de coeficientes negativos que podem levar a cortes positivos considerados indesejáveis na Função de Custo Futuro, e 2) utilização de correlação espacial de ENAs entre REEs em base mensal, em substituição à anual.

Conforme os resultados indicaram, nenhuma das duas metodologias apresenta potencial de mitigação da volatilidade. (grifou-se)

Quanto à utilização de correlação espacial mensal, mesmo não apresentando melhorias na volatilidade do CMO/PLD, tal implementação representa um aprimoramento ao modelo

estocástico para a geração de cenários de afluências, tornando-o mais representativo da realidade, dado que mais um dado de entrada passa a ser discretizado em base mensal, em um modelo dividido em estágios mensais. Sendo assim:

- Recomenda-se a **utilização** da correlação espacial mensal nos modelos NEWAVE e GEVAZP a partir de janeiro de 2020;
- Recomenda-se dar continuidade à investigação de possíveis aprimoramentos para redução da volatilidade no ciclo 2019/2020.

Mecanismo de aversão ao risco: CVaR + Volume Mínimo Operativo (VminOp)

- **Adotar**, a partir da primeira semana operativa de 2020, a funcionalidade VminOp no modelo NEWAVE, para os processos do Programa Mensal de Operação, de formação do Preço de Liquidação das Diferenças, de cálculo da garantia física e do Plano Decenal de Expansão com Volumes Mínimos Operativos constantes ao longo de todos os meses do horizonte de planejamento do NEWAVE. Para os REEs Paraná, Paranapanema e Sudeste em 10% EARMáx, para os REEs do subsistema Sul em 30% EARMáx, para o REE Nordeste em 22,5% EARMáx e para o REE Norte em 10,7% EARMáx;
- **Adotar** a funcionalidade VminOp no modelo NEWAVE para o cálculo de Garantia Física e Plano Decenal de Expansão iniciados a partir de 2020;
- Rever com periodicidade anual os valores a serem utilizados nas restrições de volume mínimo operativo, dado que são associados à configuração hidroelétrica do sistema;
- **Adotar** a penalidade para violações de VminOp indexada ao CVU mais elevado das usinas termoeletricas em operação no horizonte de cinco anos do PMO, sendo penalidade = $(1 + \text{taxa desconto anual})(\text{MAXCVU})$, arredondada em duas casas decimais;
- **Executar** a simulação final do modelo NEWAVE sem a consideração de racionamento preventivo;
- Avaliar eventuais adequações nos Procedimentos de Rede;
- Avaliar a priorização no próximo ciclo de trabalho da CPAMP, de avanços metodológicos no modelo DECOMP para a consideração do VminOp como variável de estado ou a aplicação da restrição de volume mínimo individualmente, nos reservatórios das usinas hidrelétricas situados nas cabeceiras das principais bacias.

Representação hidrológica: geração de cenários

Frente aos resultados e análises expostos no relatório específico, o GT-Metodologia concluiu ser ainda prematura a decisão pela alteração do histórico oficial de vazões/ENAs.

Recomendações para o ciclo 2019/2020:

- **Instituir** um projeto Estratégico de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) junto à ANEEL direcionado aos estudos sobre o clima e suas variabilidades características e as relações com o comportamento estacionário ou não das séries de vazões, a fim de possibilitar a previsibilidade de eventos contínuos de anomalias como os atualmente observados no SIN;
- **Implementar** funcionalidade de escolha do período a ser simulado por REE, com possibilidade de simulação de anos iniciais e finais quaisquer;
- Análise dos cenários gerados pelo GEVAZP para cada REE, com propostas de melhoria nos processos de geração de cenários de curto/médio prazo. Ademais, analisam-se as

seguintes linhas de desenvolvimento: (i) desacoplar o GEVAZP do modelo NEWAVE, permitindo o emprego de outros modelos de geração de cenários; e (ii) estudar os benefícios de se aumentar o horizonte temporal de uso do modelo DECOMP.

Recomendações Finais

- *Recomenda-se reavaliar a parametrização do CVaR, observando-se o problema em todas as suas dimensões, considerando o impacto econômico e o impacto na segurança operativa, avaliando a preferência do Operador com relação à segurança da operação dado os resultados do modelo, além das consequências na comercialização e nas tarifas de energia;*
- *Recomenda-se que seja realizada a Consulta Pública e que se dê publicidade aos estudos apresentados visando que a sociedade esteja ciente das metodologias propostas e contribua para os desenvolvimentos apresentados.*

3. Destas considerações, recomendações e adoções cabe se deter no momento naquelas que correspondem a modificações imediatas nos procedimentos atuais, quais sejam: reamostragem na simulação *forward*; uso do centroide na amostragem seletiva; volume Mínimo Operativo – VminOp a partir de 2020, com revisão periódica dos limites mínimos; penalização das violações do VminOp indexada no Custo Variável Unitário – CVU mais elevado. As demais recomendações são endereçadas a estudos futuros para melhor compreensão e aprofundamento.

4. **Reamostragem da simulação *forward*:** apesar de recomendada na literatura especializada, ela não produziu resultados significativos em relação à árvore completa da simulação *backward*, mas também não resultou completamente inócua, pois contribuiu para uma melhor representação dos cenários de afluência. Razão pela qual foi recomendada sua manutenção.

5. **Uso do centroide na amostragem seletiva:** a seleção do centroide ao invés do ruído mais próximo do centroide resultou na redução da variabilidade do Custo Marginal de Operação – CMO. Porém isto se dá às custas de uma elevação do CMO médio.

6. **Adoção de VminOp a partir de 2020, com revisão periódica dos limites mínimos:** Enquanto o *Conditional Value at Risk* – CVaR opera através de um sinal de preço, “destorcendo” o CMO médio com um acréscimo que pode ser entendido como um prêmio de risco, e no que pode ser visto como uma coordenação *dual*, o VminOp atual como uma coordenação *primal*, ao limitar uma variável de decisão do modelo. Com a ressalva de que na abordagem proposta este limite é relaxado e sua violação penalizada, o que equivale a uma coordenação por preço, com uma espécie de *dualização* da restrição do limite. Ambos mecanismos têm o propósito de elevar o “valor da água”, antecipando o despacho termelétrico e, conseqüentemente, preservando os níveis dos volumes do Reservatório Equivalente de Energia – REE. Tudo isto ao custo da elevação do CMO.

7. **Penalização das violações do VminOp indexada ao CVU mais elevado:** a penalização das violações do VminOp indexada ao CVU mais elevado precifica a reserva de energia hidráulica ao “valor da água”, seu custo de oportunidade.
8. **Despacho de termelétrica e carga flexível:** Resta apontar a ausência de qualquer reflexão no RT-008-2019/GT-Metodologia sobre o impacto que a ampliação do modo de contratação das termelétricas e o gerenciamento de cargas flexíveis, buscando atender blocos da curva de duração, teria na amplitude dos saltos bruscos do CMO.

OBJETO

9. A Consulta Pública nº 74 instituída recentemente pelo Ministério de Minas e Energia – MME, disponibilizou, para análise e contribuições, a documentação técnica do Grupo de Trabalho – GT Metodologia da Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico – CPAMP no contexto das “Questões Metodológicas Associadas aos Modelos Computacionais para o Planejamento da Expansão, Operação do Sistema Elétrico Brasileiro – SEB e Formação do Preço do Mercado de Curto Prazo”, criada pela Resolução CNPE nº 1, de 2007 e regulamentada pela Portaria MME nº 47, de Fevereiro de 2008, com a finalidade de garantir coerência e integração das metodologias e programas computacionais utilizados pelo MME, pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS e pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE.
10. São, portanto, objeto desta análise, os Relatórios Técnicos apresentados pelo GT Metodologia CPAMP no âmbito da Consulta Pública nº 74/2019 - MME, os quais avaliam (i) a variabilidade amostral e representação da árvore de cenários; (ii) volatilidade do CMO/PLD; (iii) mecanismo de aversão ao risco: CVaR + VminOp; e (iv) a geração de cenários para representação hidrológica.

CONTEXTUALIZAÇÃO

11. Em 5 de julho de 2017, o MME disponibilizou a Nota Técnica nº 5/2017/AEREG/SE para a Consulta Pública nº 33. A referida nota técnica apresentou proposta de aprimoramento do marco legal do setor elétrico, baseada em quatro eixos:

EIXO 1 – COMPROMISSOS DE REFORMA E ELEMENTOS DE COESÃO: decisões que orientam a reforma e elementos de coesão, incluindo reforços explícitos a mecanismos já existentes destinados a atuar como contrapartidas às alterações fundamentais do modelo;

EIXO 2 – MEDIDAS DE DESTRAVAMENTO: aumento da flexibilidade de aspectos do modelo do setor elétrico, permitindo gerenciamento dinâmico dos riscos sistêmicos e comerciais, sem precipitar escolhas definitivas;

EIXO 3 – ALOCAÇÃO DE CUSTOS E RACIONALIZAÇÃO: alocação adequada de custos entre os agentes – o que se reflete em medidas explícitas de correção de incentivos e racionalização de subsídios ou incentivos, com observância dos requisitos formais e legais, mitigando riscos judiciais por meio do instrumento legal e esclarecendo regras de enquadramento; e

EIXO 4 – MEDIDAS DE SUSTENTABILIDADE E DESJUDICIALIZAÇÃO: medidas de sustentabilidade, que incluem propostas de desjudicialização e distribuição da renda dos ativos do setor.

12. No Eixo 1, o Preço de Liquidação de Diferenças – PLD horário foi inserido na relação de medidas destinadas à redução de distorções alocativas de custos e de incentivos para fontes alternativas de energia, que elevariam a necessidade de arrecadação da Conta de Desenvolvimento Energético – CDE com a migração de consumidores para o Ambiente de Contratação Livre – ACL e que poderiam ser substituídas ao longo do tempo pela adequada valoração dos atributos que essas fontes entregam ao sistema.

*“3.38. (...) Essas fontes gozam de desconto nas tarifas de uso das redes de transmissão e de distribuição, aplicável sobre a produção e sobre o consumo da energia, de modo que cada unidade de expansão do segmento especial **implica um aumento dos subsídios pagos pela Conta de Desenvolvimento Energético – CDE.** Este desenho resulta em subsídios cruzados, afetando adversamente a alocação de custos no setor.”* (grifou-se)

*“3.39. Mais à frente, quando forem abordadas as propostas de destravamento e da **correta alocação de custos**, serão apresentadas outras medidas que lidam com essa **distorção alocativa** corrigindo a forma como são dados **incentivos a determinadas fontes de energia e como esses incentivos poderiam ser substituídos ao longo do tempo pela adequada valoração dos atributos que essas fontes entregam ao sistema e por meio de preços mais granulares no tempo (com compromisso de implantação de preços horários) e no espaço.** (...)”* (grifou-se)

13. No Eixo 2, a Nota Técnica nº 5/2017/AEREG/SE sustenta que é fundamental o estabelecimento de preços críveis, com regras transparentes, e que se desviem o mínimo possível da realidade operativa. Para tanto, defende que o início da utilização de preços com intervalo máximo horário ocorra até 2020, inclusive como um elemento de coesão para um mercado mais liberalizado que independa da opção de despacho.

14. O documento também discorre sobre a possibilidade de o sistema trabalhar com modelos de despacho centralizado por custo ou por ofertas de preço dos agentes, explicitando nesse caso a necessidade de mecanismos de monitoramento de mercado para combater práticas lesivas à concorrência.

15. A previsão de fechamento diário de posições mediante aporte de garantias financeiras, particularmente, é apontada como instrumento essencial para a mitigação do risco de inadimplência nas liquidações, mesmo que os intervalos de liquidação continuem dilatados. Neste caso, o fechamento diário atuaria como um estímulo para a contratação antecipada e seria

mais compatível com a granularização temporal do preço para intervalos horários. Ademais, a nota técnica aponta a conveniência de a adoção de preços horários ser acompanhada de medidas acessórias como a:

- a) abertura de códigos e algoritmos de ferramentas computacionais de suporte à formação do preço, ao planejamento e à operação;
- b) possibilidade de oferta de preços para prestação de serviços ancilares;
- c) previsão de aporte diário de garantias financeiras para fechamento de posições no Mercado de Curto Prazo – MCP;
- d) alteração do dispositivo que prevê o Mecanismo de Realocação de Energia – MRE para compartilhamento do risco hidrológico.

16. Ainda de acordo com a Nota Técnica nº 5/2017, os elementos supracitados seriam fundamentais em uma eventual criação de uma bolsa pelo mercado, com negociações padronizadas e funções de liquidação (*clearing house*), que teria o condão de contribuir para alternativas de expansão do sistema diretamente pelo ambiente livre, mediante a maior credibilidade dos preços e a separação de lastro e energia, que passaria a ser a ferramenta principal de confiabilidade sistêmica.

17. Assim, após um período de aproximadamente 45 dias, o MME recebeu cerca de 215 contribuições no âmbito da Consulta Pública nº 33/2016. E, em 20 de dezembro de 2017, foi emitida a Nota Técnica nº 14/2017/AEREG/SE, contendo proposta para fechamento da referida Consulta Pública.

18. Em relação às medidas de acoplamento entre operação e formação de preço, foi mantida a recomendação inicial para adoção do PLD horário, condicionada à obrigatoriedade de licitação para compra de modelos computacionais em substituição à abertura compulsória dos códigos-fonte dos modelos atuais. Também, foi mantida a previsão de oferta de preços para a operação e formação de preços de curto prazo com atenção a práticas anti-competitivas e mecanismos de monitoramento de mercado, com a proposição de um calendário mínimo¹ para implantação dessa modalidade de formação de preços em um horizonte de pelo menos 4 anos.

19. A Consulta Pública nº 71, instituída recentemente, também pelo MME, disponibilizou a documentação técnica do GT Metodologia da CPAMP, que trata do Modelo DESSEM, com foco na adoção operacional do PLD horário.

¹ A proposta prevê: realização de estudos sobre a oferta de preço a serem concluídos até 30 de junho de 2020; período de testes não inferior a um ano antes da aplicação, o que permite uma simulação sombra com os modelos computacionais; e aplicação apenas a partir de 1º de janeiro de 2022.

20. Por fim, a Consulta Pública nº 74, aberta para contribuições até 15 de julho de 2019, disponibilizou a documentação técnica do GT Metodologia da CPAMP, que trata de aprimoramentos gerais nos modelos computacionais NEWAVE e DECOMP.

OPORTUNIDADES DE INTERVENÇÃO

21. A necessidade de intervenção é caracterizada individualmente para (i) variabilidade amostral e representação da árvore de cenários; (ii) volatilidade do CMO/PLD; (iii) mecanismo de aversão ao risco: CVaR + VminOp; e (iv) a geração de cenários para representação hidrológica.

22. No que tange à variabilidade amostral e representação da árvore de cenários, após uma avaliação mais detalhada do problema conforme descrito no Relatório Técnico do GT Metodologia da CPAMP – nº 08-2019, atendendo à demanda do GT-Metodologia, o CEPEL mostrou que a redução abrupta do CMO foi ocasionada pela geração de cenários de afluência com valores atipicamente elevados, gerados pelo sorteio de ruídos aleatórios com média bastante elevada, cuja probabilidade de ocorrência era bastante reduzida (aproximadamente 0,27%). De modo a minimizar os efeitos da ocorrência de cenários tão atípicos, o CEPEL se empenhou em identificar melhorias no algoritmo de agregação da amostragem seletiva, culminando com a proposta de substituir o representante desse processo (o centroide passou a ser o representante do processo de agregação da Amostragem Seletiva no lugar do ruído mais próximo), que resultou na redução da variabilidade amostral da árvore completa e do “efeito dente” outrora identificado.

23. Referente a volatilidade do CMO/PLD, foram avaliados dois possíveis aprimoramentos: (i) suspensão da redução automática da ordem do modelo PAR(p) quando da ocorrência de coeficientes negativos que podem levar a cortes positivos considerados indesejáveis na Função de Custo Futuro – FCF, e (ii) utilização de correlação espacial de Energia Natural Afluente – ENA entre REEs em base mensal, em substituição à anual. Os resultados indicaram que nenhuma das duas alternativas apresentou potencial de mitigação da volatilidade, no entanto, a correlação espacial mensal trouxe outros benefícios, que possibilitaram uma aproximação do modelo à realidade operativa. Assim, o GT-Metodologia propôs que esta seja aplicada no NEWAVE e no DECOMP.

24. Também, foi proposta a representação de mecanismos adicionais de segurança através da adoção, em todos os meses do período de planejamento, de restrições de níveis mínimos nos REE. A violação desses níveis deve ser penalizada na função objetivo do modelo de otimização, de forma que a FCF do modelo NEWAVE possa considerar um valor da água maior à medida que os níveis de armazenamento se aproximam dos níveis críticos. Através da FCF, essa informação também é passada ao modelo de programação da operação - DECOMP, possibilitando ganhos de armazenamento.

25. Quanto à geração de cenários para representação hidrológica, foram investigadas possíveis relações de anomalias com a variabilidade de índices climáticos. Também foram avaliados eventuais impactos à operação/planejamento caso o histórico de vazões atualmente empregado nas modelagens (1931-2017) fosse modificado através de um simples truncamento na série de dados. O GT-Metodologia concluiu ser ainda prematura a decisão pela alteração do histórico oficial de vazões/ENAs e propôs que seja realizado um projeto Estratégico de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) junto à ANEEL direcionado aos estudos sobre o clima e suas variabilidades características e as relações com o comportamento estacionário ou não das séries de vazões, a fim de possibilitar a previsibilidade de eventos contínuos de anomalias como os atualmente observados no SIN.

26. Por fim, quanto a adequabilidade da parametrização do mecanismo de aversão ao risco – CVaR, o RT-008-2019/GT-Metodologia dispõe que se faz necessária uma avaliação periódica diante de evoluções da configuração do sistema, de aprimoramentos metodológicos nos modelos energéticos, da inclusão de mecanismos adicionais de segurança, dentre outras questões relevantes que possam afetar a relação oferta x demanda do sistema. Foram então realizadas simulações retrospectivas encadeando os modelos NEWAVE e DECOMP com o objetivo de emular os processos de PMO e cálculo do PLD de maneira sequencial, acumulando os efeitos das decisões operativas ao longo do tempo.

EIXOS DE ANÁLISE

VARIABILIDADE AMOSTRAL E REPRESENTAÇÃO DA ÁRVORE DE CENÁRIOS

27. A questão da variabilidade amostral e representação da árvore de cenários tem origem na constatação de uma anormalidade persistente no comportamento do CMO no mês de agosto de 2018 em todas as simulações realizadas, como indicado na Fig.1.

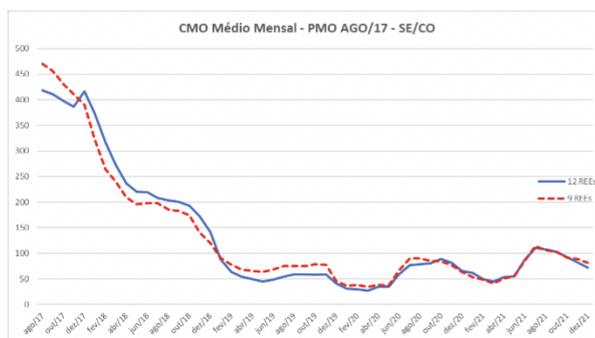


Figura 1: CMO médio mensal 2000 séries – SE/CO
Fonte: Adaptado do RT-008-2019/GT-Metodologia

28. Na leitura dos gráficos do CMO resultantes das simulações do modelo NEWAVE deve-se ter em atenção que o horizonte alongado de 5 anos tem o propósito de criar uma calda com o fito de mitigar o efeito conhecido como *day after*, o esvaziamento dos reservatórios no final do horizonte de estudo. Isto posto, a informação de fato relevante fica restrita ao primeiro ano, quando se procede o acoplamento com o modelo DECOMP, e quando o CMO apresenta maiores médias e volatilidade.

29. Tendo-se descartada a existência de algum erro computacional, a atenção foi direcionada para a melhoria da representação da árvore de cenários gerada pelo modelo GEVAZP, concomitante com a redução na variabilidade amostral.²

30. O emprego de técnicas de reamostragem da simulação *forward* do NEWAVE, recomendada na literatura especializada, não produziu resultados significativos em relação à árvore completa da simulação *backward*, mas também não resultou completamente inócua, pois contribuiu para uma melhor representação dos cenários de afluência.

31. Posteriormente um viés na seleção dos ruídos usados na geração dos cenários de afluência, que levou à seleção do centroide ao invés do ruído mais próximo do centroide, Fig.2. Porém a redução da variabilidade do CMO se dá às custas de uma elevação da sua média. O GT Metodologia concluiu por indicar o uso do centroide para o ano de 2020, após expandir as simulações para: PMO Outubro/2018; PDE2026; Caso Base para o LEN A-4/2018.

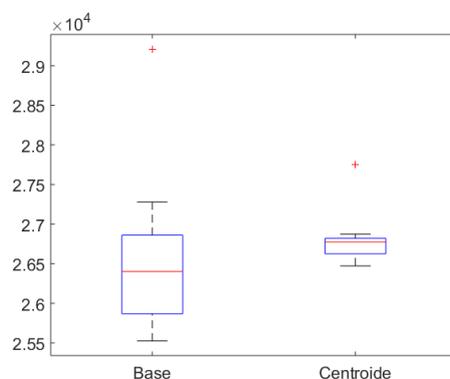


Figura 2: Custo de operação variando-se a semente *backward*
Fonte: Adaptado do RT-008-2019/GT-Metodologia

32. Outras linhas de investigação foram centradas na reamostragem da simulação *forward* do NEWAVE e no exame da correlação espacial da ENA entre REE, calculada em base mensal.

² O GT-Metodologia usa como métrica a variabilidade do CMO médio, quando talvez fosse mais apropriado usar o próprio desvio padrão, para evitar carregar o viés da média.

33. Quando se examina a modificação na variabilidade do CMO no DECOMP/GEVAZP Fig.3, fica mais destacado que a redução da variabilidade se dá às custas da elevação significativa do CMO médio. Com a ressalva de que esta observação é limitada à simulação exibida.

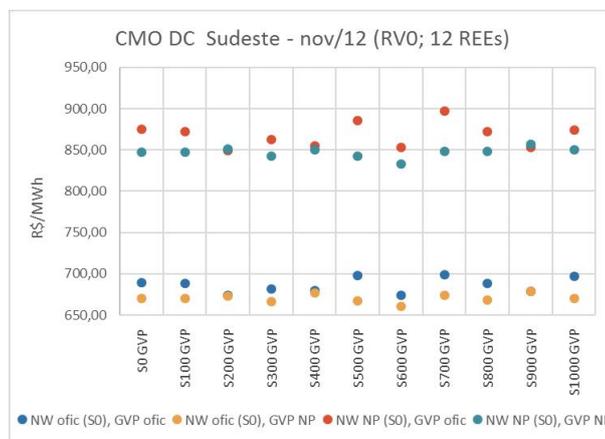


Figura 3: Redução da variabilidade amostral com uso do centroide: GEVAZP e DECOMP
Fonte: Adaptado do RT-008-2019/GT-Metodologia

34. Porém ainda não resta completamente esclarecida a razão das anormalidades supracitadas no CMO de agosto de 2017 terem se manifestado apenas nas simulações em que o número de REE havia sido aumentado de 9 para 12.

35. As simulações com o modelo NEWAVE para acompanhamento dos efeitos das modificações testadas padecem de dificuldades intrínsecas difíceis de serem removidas. Cada simulação internaliza sorteios que não são replicáveis em outras simulações, dificultando a segregação entre o que foi decorrente das modificações introduzidas e o que foi consequência da variação dos sorteios.

VOLATILIDADE DO CMO/PLD

36. A volatilidade do CMO/PLD é intrínseca a um sistema hidrotérmico com participação expressiva da geração hidrelétrica, sujeita aos humores da natureza. Esta característica do Sistema Interligado Nacional – SIN pode ser ampliada com o crescimento da geração proveniente de fontes intermitentes, como eólica e fotovoltaica.

37. A Fig.4 destaca os principais fatores de influência desta volatilidade: hidrologia, armazenamento, disponibilidade, carga, expansão, intercâmbio e outros. E aqui cabe discutir uma omissão. Se os fatores elencados explicam a frequência do despacho termelétrico com CMO/PLD maior do que zero, é a natureza da contratação termelétrica, majoritariamente por disponibilidade com sinalização para empreendimentos de custo fixo baixo e CVU elevado que influencia as amplitudes dos saltos no CMO/PLD.

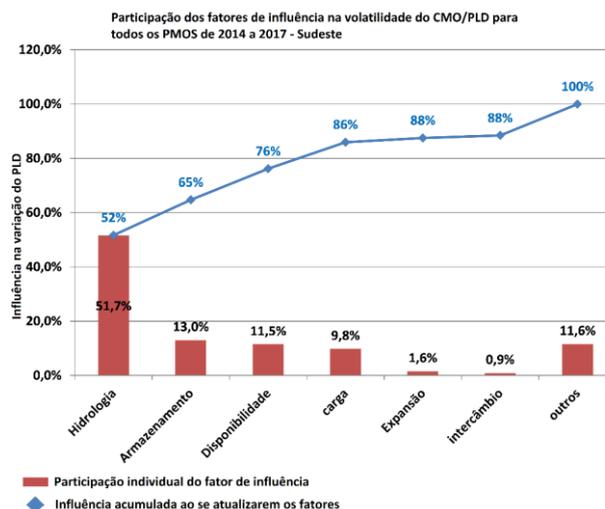


Figura 4: Fatores que influenciam a volatilidade do CMO/PLD
Fonte: Adaptado do RT-008-2019/GT-Metodologia

38. A contratação de termelétrica atendendo outras regiões da curva de duração que não fosse exclusivamente a ponta, despachadas com maior permanência e menos CVU, provavelmente causassem as maiores reduções na volatilidade do CMO/PLD.

39. No âmbito do RT-008-2019/GT-Metodologia, a mitigação da volatilidade do CMO/PLD ficou confinada na análise de duas alternativas: suspensão da redução automática da ordem do modelo auto regressivo PAR(p) quando da ocorrência de coeficientes negativos; utilização da correlação espacial das ENAs entre REEs, calculadas em base mensal em substituição ao cálculo atual feito em base anual.

40. Esta modificação findou sendo recomendada por razão diversa (mostrar-se um aprimoramento no modelo de geração de cenários hidrológicos), mesmo que não tenha contribuído significativamente para a redução da volatilidade do CMO/PLD. Cabe destacar a pertinência de aprofundamento desta análise.

41. A Fig.5 exhibe o comportamento do PLD (com limites) e com destaque os grandes saltos observados nos submercados Sudeste/Centro-Oeste e Sul para os trimestres maio-junho-julho/2017, março-abril-maio/2018 e janeiro-fevereiro-março/2019.

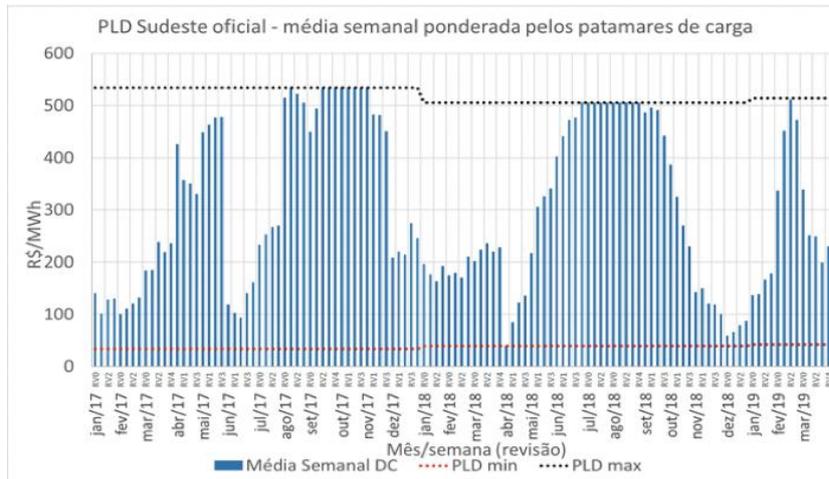


Figura 5: Média semanal do PLD oficial recente para os quatro submercados (mínimo e máximo)
Fonte: Adaptado do RT-008-2019/GT-Metodologia

42. Analogamente, a Fig.6 exibe o comportamento do CMO (sem limites) e com destaque os grandes saltos observados nos submercados Sudeste/Centro-Oeste e Sul para os trimestres maio-junho-julho/2017, março-abril-maio/2018 e janeiro-fevereiro-março/2019.

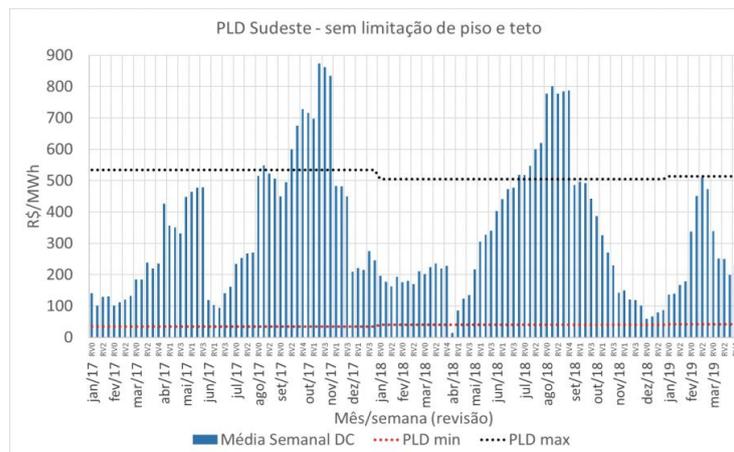


Figura 6: Média semanal do CMO oficial recente para os quatro submercados
Fonte: Adaptado do RT-008-2019/GT-Metodologia

MECANISMO DE AVERSÃO AO RISCO: CVaR E VOLUME MÍNIMO OPERATIVO

43. O RT-008-2019/GT-Metodologia da CPAMP examina a ampliação do mecanismo de aversão ao risco pela inclusão de limites mínimos operativos aos volumes do REE. Além de fazer uma análise de sensibilidade nos parâmetros atuais do CVaR.

44. Enquanto o CVaR opera através de um sinal de preço, “destorcendo” o CMO médio com um acréscimo que pode ser entendido como um prêmio de risco, e no que pode ser visto

como uma coordenação *dual*, o V_{minOp} atua como uma coordenação *primal*, ao limitar uma variável de decisão do modelo. Com a ressalva de que na abordagem proposta este limite é relaxado e sua violação penalizada, o que equivale a uma coordenação por preço, com uma espécie de *dualização* da restrição do limite. Ambos mecanismos têm o propósito de elevar o “valor da água”, antecipando o despacho termelétrico e, conseqüentemente, preservando os níveis dos volumes do REE.

45. Além do papel exclusivo de aversão ao risco hidrológico na geração de energia elétrica, os volumes mínimos dos REEs também contemplam restrições associadas ao uso múltiplo da água, como é o caso dos reservatórios do Rio São Francisco.

46. Como esperado, a Fig.7 mostra que as simulações sugerem uma redução expressiva nas Energias Armazenadas – EAR que resultariam em volumes abaixo do V_{minOp} . Evidentemente, isto se dá ao custo da elevação do CMO/PLD.

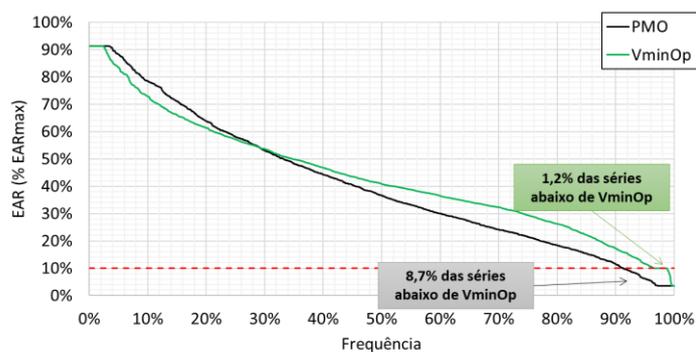


Figura 7: Energia Armazenada em novembro/2019 – REE Paraná.
Fonte: Adaptado do RT-008-2019/GT-Metodologia

47. Com respeito ao CVaR, foram realizadas análise de sensibilidade do parâmetro λ , usado na combinação convexa do CMO médio (puro) com a média do percentil associado ao parâmetro α . Quanto maior o λ , maior será o CMO. Nesta análise de sensibilidade: α foi mantido em 50; λ assumiu os valores: 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50. Como referência atual, tem-se: α igual a 50, e λ igual a 40.

48. Os resultados da sensibilidade, simulados para os meses de abril/2012 (Fig.8), novembro/2012 e outubro/2015, foram plotados em gráficos com dois critérios: Custo do Déficit e Custo da Geração Térmica. O conceito de Ótimo de Pareto é então usado para identificar soluções eficientes.

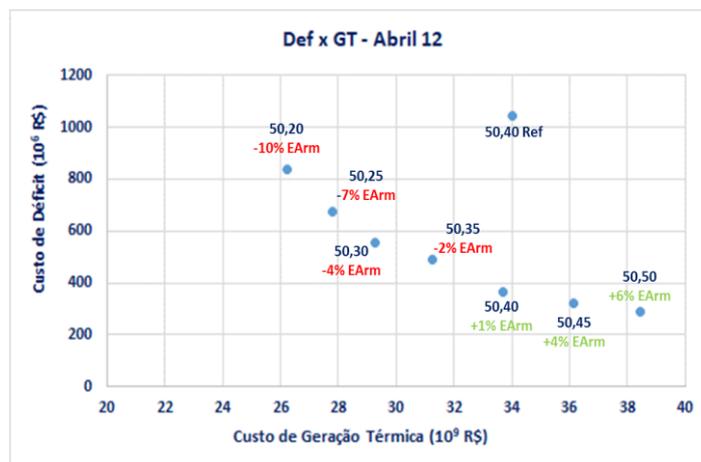


Figura 8: Gráficos de Pareto do binômio segurança x custo de operação, abril/2012a.
Fonte: Adaptado do RT-008-2019/GT-Metodologia

49. As análises para estes três meses citados anteriormente são bastantes detalhadas, apresentando os resultados do comportamento do: CMO, geração hidráulica, geração térmica, energia armazenada. Também são feitas análises de sensibilidade com os dados do PDE 2027 e o Caso Base LEN A-4/2018.³

50. O *backtest* realizado de encadeamento dos modelos NEWAVE e DECOMP, no período de janeiro/2012 a dezembro/2014, possibilita uma visualização mais acurada do comportamento do CMO na Fig.3.38 (RT-008-2019/TG-Metodologia). Uma simulação retrospectiva de um cenário hidrológico severo. Os resultados mostrados na Fig.3.39 (RT-008-2019/TG-Metodologia) a antecipação esperada do despacho térmico, e uma melhor preservação da Energia Armazenável Máxima – EARM_{Max}, Fig.3.4 (RT-008-2019/TG-Metodologia)

51. Também é realizado um *backtest* com o NEWAVE abrangendo o período 2012—2016, cujos resultados exibidos nas Fig.3.43—3.47 (RT-008-2019/TG-Metodologia) permitem acompanhar os efeitos adicionais de cada ajuste individual: centroide -> correlação espacial mensal -> reamostragem -> V_{minOp} -> variação do λ (30, 35, 40). Novamente é interessante se ater ao primeiro ano das simulações, conferindo menor importância à calda dos quatro anos seguintes.

52. Em relação ao volume mínimo operativo, merece destaque os aprimoramentos advindos das contribuições no âmbito da Consulta Pública nº 64/2018, tais quais: uso do V_{minOp} em todos os meses do horizonte de cinco anos do NEWAVE; avaliação da metodologia apresentada pelo CEPEL para o tratamento da penalidade associada à violação do V_{minOp}; reavaliação dos valores associados às restrições de volume mínimo operativo,

³ Leilão de Energia Nova A-4, 2018.

abordando o aspecto conceitual; definição da penalidade associada a essa violação; e uso do VminOp nos processos de planejamento da expansão da geração de energia elétrica.

53. Os recorrentes processos de Consulta Pública realizados pelo Ministério de Minas e Energia de fato têm contribuído para a evolução estrutural do sistema elétrico e permitido os constantes aprimoramentos com eficiência. Entretanto, pontua-se a importância de que, sempre que possível, seus resultados e conclusões sejam disponibilizados tempestivamente, a fim de que nas etapas subsequentes, como a CP 74/2019, tais aprimoramentos já possam estar consolidados no mercado.

REPRESENTAÇÃO HIDROLÓGICA: GERAÇÃO DE CENÁRIOS

54. A representação hidrológica para geração de cenários foi objeto de uma análise acurada no RT-005-2019/GT-Metodologia que finda pontuada por uma dúvida fundamental: Serão as alterações observadas mais recentemente nos regimes hidrológicos consequências de *mudanças* ou de *variações*? Isto é, são alterações permanentes ou flutuações de ciclos de longa duração? Esta resta aberta ao final da análise. Cujas conclusões inevitáveis foram recomendar prudência e aprofundamento das análises.

55. O GT-Metodologia coordenou o *workshop* “Alterações de padrões climáticos e hidrológicos e avaliação da melhor representação energética de séries de vazões naturais” com as seguintes recomendações:

- *“Necessidade de prosseguir nos estudos de investigação da estacionariedade das séries de vazões afluentes aos reservatórios de usinas hidroelétricas. De acordo com o exposto em algumas apresentações, a não estacionariedade pode estar relacionada aos usos consuntivos, às mudanças no uso do solo e/ou à presença de tendência causada pela variabilidade ou mudança do clima. Algumas propostas dizem respeito ao descarte da parte mais antiga do registro histórico, enquanto outras defendem a modificação nos valores de uso consuntivo de modo a garantir a estacionariedade da série de vazões e, ainda, ajustar uma tendência aos dados;*
- *Necessidade de inclusão de variáveis climáticas nos modelos de previsão e geração de cenários de vazões;*
- *A consideração dos cenários de mudança climática do IPCC na construção de cenários de vazões afluentes às usinas hidroelétricas até 2100 possibilitam a avaliação de medidas de adaptação/mitigação nos estudos de planejamento da expansão e operação do SIN”.*

56. O GT-Metodologia conclui que seria prematuro decidir pela alteração do histórico oficial de vazões e de ENAs, sugerindo priorização em melhorias no processo de geração de cenários de aflúncias, com o que se concorda. Ele indica que se institua um projeto de P&D Aneel para estudo do clima. Além de indicar algumas implementações de funcionalidades nos modelos NEWAVE e GEVAZP que permitam escolher com mais flexibilidade o período de simulação, e também o desacoplamento entre o GEVAZP do NEWAVE.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

57. É notório o esforço despendido durante todo o processo do Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas Associadas aos Modelos Computacionais para o Planejamento da Expansão, Operação do Sistema Elétrico Brasileiro – SEB e Formação do Preço do Mercado de Curto Prazo”.

58. As recomendações do RT-008-2019/GT-Metodologia apontam na direção de três efeitos: a) redução relativamente discreta da volatilidade do CMO; b) aumento do valor médio do CMO, que pode ser tanto maior, quando mais elevado seja o nível de aversão ao risco, traduzido nos parâmetros α e λ do modelo do CVaR e nos limites mínimos de armazenamento hidráulico e ainda no fator de penalização de suas violações; c) elevação da energia armazenada nos REEs, pelas mesmas razões do item (b).

59. A busca da *suavização* do CMO ficou circunscrita a correções de desvios entre previsões e realizações de variáveis aleatórias, o que é bastante limitado em um sistema energético com participação muito expressiva das fontes renováveis de CVU nulo. As percepções e análises conduzidas no âmbito do GT-Metodologia são endereçadas exclusivamente à frequência como a complementação térmica é requisitada, em função dos requisitos de carga e disponibilidade de recursos renováveis (hidráulica, eólica e fotovoltaica).

60. No entanto, tudo faz crer que uma maior permanência do despacho de termelétrica, com CVU mais reduzido e permanência mais longa, fosse mais efetiva nesta suavização. Também há espaço ainda pouco compreendido e, conseqüentemente, quase inexplorado do “despacho” de cargas flexíveis. Como a volatilidade do CMO é decorrente da carga residual a ser complementada pelas termelétricas e do CVU máximo desta complementação, um despacho térmico mais conservador e uma ampliação da carga flexível podem vir a ter um impacto mais eficazes na volatilidade do CMO do que as medidas examinadas no âmbito dos trabalhos do GT-Metodologia. Resta apontar a ausência de qualquer reflexão no RT-008-2019/GT-Metodologia sobre o impacto que a ampliação do modo de contratação das termelétricas, buscando atender blocos da curva de duração, teria na amplitude dos saltos bruscos do CMO.

61. Por uma questão de justiça, deve-se reconhecer que os estudos e simulações conduzidos sob a supervisão do GT-Metodologia mais se ativeram a melhor antever as incertezas intrínsecas ao problema e reduzir desvios que porventura fossem acrescidos pelos métodos utilizados no despacho ótimo do SIN, o que nos leva aos seguintes comentários pontuais.

62. **Reamostragem da simulação *forward*:** será preciso aprofundar a análise das alternativas de reamostragem: se antecedendo a simulação *forward* ou antecedendo a *backward*. Como os benefícios observados foram casuais, e também laterais à volatilidade do CMO. Resta indagar ainda se estes benefícios não seriam ocasionais e circunscritos à vizinhança dos casos simulados, o que recomenda a necessidade aprofundamento da análise com outras simulações.

63. **Uso do centroide na amostragem seletiva:** aqui se observa um procedimento um tanto paradoxal. As sementes de erros são sorteadas para induzir o efeito da diversidade em uma população e a escolha do elemento mais próximo do centroide para selecionar um *representante* desta população. Porém o centroide *aglutina* esta população, sendo assim, sua seleção neutraliza o efeito buscado na diversidade da população. Isto é, a diversidade da população seria ou não relevante? Esta questão deve ser aprofundada com outras simulações.

64. **Adoção de VminOp a partir de 2020, com revisão periódica dos limites mínimos:** os mecanismos de aversão ao risco embutidos nos modelos NEWAVE e DECOMP resultam na elevação do CMO médio, o que pode ser entendido como o acréscimo de um prêmio de risco ao CMO médio indiferente ao risco. Evidentemente, a intensidade deste acréscimo deve traduzir um nível de aversão ao risco, no caso o colapso dos volumes de energia armazenada nos reservatórios do SIN. A componente CVaR contempla a aversão ao risco ampliando o peso do CMO nos eventos mais desfavoráveis, correspondendo aos CMO acima da média para α igual a 50%. Isto eleva o “valor da água” e antecipa de alguma forma o despacho térmico. A adoção do VminOp produz um efeito semelhante que se acumula com o causado pelo CVaR. Cabe finalmente destacar que os resultados da Consulta Pública nº 64/2018, que trata exatamente do VminOp, ainda não tenham sido publicados. Sendo o conhecimento tempestivo desta informação fundamental para a consistência e coerência das simulações envolvendo o VminOP, será necessário refazer as simulações após a consolidação das recomendações da CP-64/2018.

65. **Penalização das violações do VminOp indexada no CVU mais elevado:** a semelhança das abordagens CVaR e VminOp fica bastante ampliada ao se permitir violações do VminOp, desde que se incorra no custo de uma penalização indexada ao máximo CVU, ou seja, o próprio CMO. Pois isto converte uma coordenação *primal*, que limita uma variável de decisão, em uma coordenação *dual*, que finda por dualizar a restrição primal de VminOp. Aqui uma questão não trivial será calibrar dois instrumentos concomitantes que têm quase a mesma finalidade, e que poderão produzir efeitos duplicados. A análise de sensibilidade conduzida no âmbito do GT-Metodologia é bastante minuciosa, mas é pertinente colocar a seguinte questão. Não seria possível alcançar o mesmo efeito apenas pela calibração adequada de um deles? E assim evitar o aumento da complexidade do modelo, e ainda as suas futuras calibrações. Isto poderia ser examinado com simulações que comparassem: a) modelo com CVaR; b) modelo com VminOp; c) modelo conjugando CVaR + VminOp. Portanto, é recomendável examinar as vantagens e desvantagens de acrescentar o novo mecanismo de aversão ao risco contra as possibilidades de ajustes no mecanismo existente, e de alguma forma já absorvido pelos agentes do setor. Concluir sobre este ponto também fica dependente da publicação das recomendações da CP-64/2018, exigindo novas simulações.

66. **Despacho termelétrico e carga flexível:** tudo indica que uma maior permanência do despacho de termelétrica – com CVU mais reduzido e permanência mais longa – seria mais efetiva na suavização do CMO. Também há um espaço ainda pouco compreendido e, conseqüentemente, quase inexplorado do “despacho” de cargas flexíveis. Como a volatilidade do CMO é decorrente da carga residual a ser complementada pelas termelétricas e também do

CVU máximo desta complementação, um despacho térmico mais prudente e um melhor gerenciamento da carga flexível podem vir a ter, com elevada chance, um impacto mais eficaz na redução da volatilidade do CMO do que as medidas examinadas no âmbito dos trabalhos do GT-Metodologia. Ficando evidente a dúvida do impacto destas medidas no CMO médio, isto poderia ser incluído sem maiores dificuldades em simulações computacionais adicionais.

67. **Considerando as observações pontuadas nos itens 62—66 deste documento, recomenda-se o aprofundamento das análises apresentadas. Particularmente, no que respeita ao VminOp, recomenda-se a conciliação das premissas usadas com as recomendações da CP-64/2018, tão logo sejam elas tornadas públicas e seus efeitos conhecidos.**

68. **Também se aponta que seria de grande benefício para o SEB se as dúvidas ainda persistentes fossem esclarecidas através de novas simulações conduzidas, não apenas no âmbito do GT-Metodologia, mas também pelos agentes do SEB. Estas simulações restam hoje impossibilitadas aos agentes pela não completa divulgação dos dados usados pelo GT-Metodologia.**

69. **Enfim, considera-se prematura a adoção imediata das modificações propostas no RT-008-2019/GT-Metodologia, sem que haja uma análise temporal maior e consolidada pelos agentes, levando em conta ao menos um ciclo hidrológico completo de modo a analisar, individualmente e em conjunto os efeitos das modificações propostas na formação de preços e na otimização energética do sistema, por exemplo, através da divulgação de uma simulação sombra para análise dos agentes. Desta forma, recomenda-se que as modificações propostas não sejam implementadas já em 2020, sendo efetivadas apenas após o atendimento das condições ideais de análise e comprovação de eficácia das mesmas, e de outras sugestões como as elencadas nos itens 60 e 66, que possivelmente trariam resultados tão ou mais adequados para os fins pretendidos.**

70. **Finalizamos reconhecendo a riqueza das informações e reflexões produzidas no âmbito dos trabalhos do GT-Metodologia, e documentadas nos seus relatórios técnicos. Isto apenas reafirma o alto grau de competência técnica e a prática salutar, persistente por décadas, de examinar em profundidade as intervenções antes de fazê-las, destacando a grandeza do patrimônio intelectual do Setor Elétrico Brasileiro.**