



GARANTIA FÍSICA DE ENERGIA

***Adequação do critério de convergência
da carga crítica ao critério de
suprimento de energia definido na
Resolução CNPE nº 29/2019***

Fevereiro de 2020



GOVERNO FEDERAL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
MME/SPE

Ministério de Minas e Energia

Ministro

Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior

Secretária Executivo

Marisete Fátima Dadald Pereira

Secretário de Planejamento e

Desenvolvimento Energético

Reive Barros dos Santos

Secretário Adjunto de Energia Elétrica

Domingos Romeu Andreatta

Secretária de Petróleo, Gás Natural e

Combustíveis Renováveis

Renata Beckert Isfer

Secretário de Geologia, Mineração e

Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira



Empresa de Pesquisa Energética

Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Presidente

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Giovani Vitória Machado

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Erik Eduardo Rego

Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustível

José Mauro Ferreira Coelho

Diretor de Gestão Corporativa

Álvaro Henrique Matias Pereira

URL: <http://www.epe.gov.br>

Sede

Esplanada dos Ministérios Bloco "U" - Ministério de Minas e Energia - Sala 744 - 7º andar - 70065-900 - Brasília - DF

Escritório Central

Av. Rio Branco, 01 - 11º Andar
20090-003 - Rio de Janeiro - RJ

GARANTIA FÍSICA DE ENERGIA

Adequação do critério de convergência da carga crítica ao critério de suprimento de energia definido na Resolução CNPE nº 29/2019

Coordenação Geral e Executiva

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

Erik Eduardo Rego

Coordenação Executiva

Bernardo Folly de Aguiar

Equipe Técnica

Fernanda Gabriela B. dos Santos

Hermes Trigo da Silva

Luis Paulo Scolaro Cordeiro

Pamella Elleng Rosa Sangy

Rafaela Veiga Pillar

Nº EPE-DEE-RE-013/2020-r0

Data: 14 de fevereiro de 2020

Histórico de Revisões

Rev.	Data	Descrição
0	14/02/2020	Publicação Original

Índice

Tabelas	4
Figuras	4
APRESENTAÇÃO	5
1. INTRODUÇÃO	6
2. ANÁLISE DAS DISTRIBUIÇÕES DE CMO MÉDIO E DE CVaR_{10%}(CMO)	9
CASO BASE LEN A-6 2019 – CVaR _{10%} CMO ~ 700 R\$/MWh	9
CASO BASE LEN A-6 2019 – CVaR _{10%} CMO ~ 800,00 R\$/MWh	13
CASO BASE LEN A-6 2019 – CVaR _{10%} CMO ~ 1000,00 R\$/MWh	15
REVISÃO ORDINÁRIA DE GARANTIAS FÍSICAS 2017 – CVaR _{10%} CMO ~ 800,00 R\$/MWh.....	17
3. CONCLUSÃO	19
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

Tabelas

Tabela 1 – Testes de Normalidade para a distribuição de CVaR _{10%} (CMO).....	11
Tabela 2 – Estatísticas básicas para a amostra com CVaR _{10%} (CMO) ~ 700 R\$/MWh	12
Tabela 3 – Estatísticas básicas para a amostra com CVaR _{10%} (CMO) ~ 800 R\$/MWh	14
Tabela 4 – Estatísticas básicas para a amostra com CVaR _{10%} (CMO) ~ 1000 R\$/MWh	16
Tabela 5 – Estatísticas básicas para a amostra com CVaR _{10%} (CMO) ~ 800 R\$/MWh (ROGF)	18
Tabela 6 – Intervalo de confiança de 2 desvios padrão para cada amostra	19
Tabela 7 – Tolerâncias propostas – CMO médio e CVaR _{10%} (CMO).....	19

Figuras

Figura 1 – Valor Esperado do Custo Total de Operação para a amostra de 100 elementos.....	9
Figura 2 - Distribuição do CVaR _{10%} (CMO) para a amostra com CVaR _{10%} (CMO) ~ 700 R\$/MWh.....	10
Figura 3 – Histograma do CVaR _{10%} (CMO) para a amostra com CVaR _{10%} (CMO) ~ 700 R\$/MWh.....	10
Figura 4 – Distribuição do CMO médio para a amostra com CVaR _{10%} (CMO) ~ 700 R\$/MWh	11
Figura 5 – Distribuição Normal padrão.....	12
Figura 6 – Distribuição do CMO Médio para a amostra com CVaR _{10%} (CMO) ~ 800 R\$/MWh.....	13
Figura 7 – Distribuição do CVaR _{10%} (CMO) para a amostra com CVaR _{10%} (CMO) ~ 800 R\$/MWh.....	14
Figura 8 – Distribuição do CMO Médio para a amostra com CVaR _{10%} (CMO) ~ 1000 R\$/MWh.....	15
Figura 9 – Distribuição do CVaR _{10%} (CMO) para a amostra com CVaR _{10%} (CMO) ~ 1000 R\$/MWh.....	16
Figura 10 – Distribuição do CMO Médio para a amostra com CVaR _{10%} (CMO) ~ 800 R\$/MWh (ROGF)	17
Figura 11 – Distribuição do CVaR _{10%} (CMO) para a amostra com CVaR _{10%} (CMO) ~ 800 R\$/MWh (ROGF).....	18

APRESENTAÇÃO

A presente Nota Técnica registra os estudos efetuados pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE com o objetivo de determinar a tolerância a ser utilizada no processo iterativo de ajuste da oferta total de garantia física de energia do Sistema Interligado Nacional – SIN, em virtude do novo critério de garantia de suprimento de energia estabelecido pelo Conselho Nacional de Política Energética – CNPE, conforme Resolução nº 29, de 12 de dezembro de 2019.

A Resolução CNPE nº 29/2019, em seu art. 1º, inciso II, estabelece que o critério geral de garantia de suprimento para aferição da adequabilidade do atendimento à energia no sistema seja baseado no valor esperado condicionado a determinado nível de confiança (CVaR) do Custo Marginal de Operação – CMO e da insuficiência da oferta de energia (Energia não suprida). Os limites máximos e níveis de confiança para cada uma das métricas será determinado pelo Ministério de Minas e Energia – MME, conforme consta no artigo 3º.

Adicionalmente, o *caput* do art. 6º da referida resolução estabelece que o critério de cálculo das garantias físicas de energia deverá considerar, além das métricas definidas no art. 1º, a igualdade entre CMO e Custo Marginal de Expansão - CME, assegurando o acoplamento entre o cálculo de garantia física e os estudos de planejamento da expansão do sistema elétrico. No parágrafo único deste mesmo artigo, consta a ressalva de que a igualdade referida no *caput* poderá não ser atendida para que os valores resultantes da aplicação das métricas definidas no art. 1º estejam dentro dos seus respectivos limites.

Esta Nota Técnica visa apresentar valores para as tolerâncias a serem consideradas na igualdade entre CMO e CME e no limite do CVaR do CMO durante o processo de convergência da carga crítica e, dessa forma, subsidiar o MME nessa definição.

1. INTRODUÇÃO

A garantia física de energia do SIN é definida como a máxima quantidade de energia que o sistema pode suprir a um dado critério de garantia de suprimento. Esta energia é rateada entre todos os empreendimentos de geração que constituem o SIN a fim de se obter os valores individuais com vistas à comercialização de energia, via contratos.

A metodologia de cálculo de garantias físicas de energia de empreendimentos termelétricos e hidrelétricos despachados centralizadamente, conforme Portaria MME nº 101, de 22 de março de 2016, consiste nos seguintes passos:

- i. Determinação da oferta total de garantia física de energia do SIN;
- ii. Individualização da garantia física de energia do SIN por usina.

A determinação da oferta total de garantia física é obtida por processo iterativo, por simulação estática da operação do sistema hidrotérmico, empregando-se o modelo NEWAVE.

Considerando o critério de garantia de suprimento vigente¹ até a publicação da Resolução CNPE nº 29/2019, o processo iterativo de ajuste da oferta total de garantia física de energia do SIN era considerado convergido quando o critério de igualdade entre CMO e CME fosse atendido, admitida uma tolerância, definida em Portaria específica, respeitado o limite de risco de déficit de energia em todos os subsistemas.

Entretanto, com o advento da Resolução CNPE nº 29/2019, o processo iterativo de ajuste da oferta total de garantia física de energia do SIN será considerado convergido quando o critério de igualdade entre CMO e CME for atendido, admitida uma tolerância (definida em Portaria específica), respeitados os limites estabelecidos para o valor esperado do CMO, condicionado a um determinado nível de confiança, e para o valor esperado da insuficiência da oferta de energia, condicionado a um determinado nível de confiança. Os limites e os níveis de confiança serão definidos em Portarias específicas.

Caso os limites dos critérios não sejam atendidos, a igualdade entre CMO e CME será relaxada e o processo será considerado convergido quando os limites forem atendidos e a igualdade ao respectivo limite, para, pelo menos, um dos critérios seja obtida, admitida uma tolerância a ser definida em Portaria específica. Para a métrica de valor esperado condicionado a um determinado nível de confiança do CMO, a igualdade ao limite, admitida a tolerância pré-estabelecida, é exigida em pelo menos um mês, para os demais, o limite tem que ser atendido.

¹ O critério de garantia de suprimento vigente até a publicação da Resolução CNPE nº 29/2019 foi estabelecido na Resolução CNPE nº 9, de 28 de julho de 2008.

Em resumo, no processo de convergência da carga crítica, procura-se atender:

- a) $CMO=CME$ com $CVaR_{10\%}(CMO) \leq 800$ (em todos os meses) e $CVaR_{1\%}(ENS) \leq 5\%$;

Se a) não for obtido, altera-se a carga crítica até obter b) ou c):

- b) $CVaR_{10\%}(CMO)=800$ (em, pelo menos, um mês), $CVaR_{10\%}(CMO) \leq 800$ (em todos os meses) e $CVaR_{1\%}(ENS) \leq 5\%$;
- c) $CVaR_{1\%}(ENS)=5\%$ e $CVaR_{10\%}(CMO) \leq 800$ (em todos os meses).

Admitidas, nas igualdades, tolerâncias pré-estabelecidas, conforme mencionado anteriormente.

Atualmente, a tolerância para a igualdade entre CMO e CME consta em Portaria que define as premissas que devem ser utilizadas em cálculos de garantias físicas de energia. Desde 2016, a tolerância está fixada em 2 R\$/MWh, que corresponde a 1% de cada valor de CME^2 definido desde 2016, considerando arredondamento sem casa decimal.

Em virtude da publicação da Resolução CNPE nº 29/2019, é necessário definir tolerância para a igualdade das outras métricas aos seus respectivos limites, a saber:

- Valor esperado condicionado a determinado nível de confiança (CVaR) de insuficiência da oferta de energia (Energia Não Suprida – ENS);
- Valor esperado condicionado a determinado nível de confiança (CVaR) do custo marginal de operação (CMO).

Os níveis de confiança considerados neste estudo são aqueles constantes no Relatório do GT Modernização intitulado “Garantia de Suprimento – Proposta de Parâmetros”, de outubro de 2019 [1]. Quanto aos limites, por serem suscetíveis a atualizações futuras, foram analisados outros valores, além daqueles constantes no relatório. As métricas com seus respectivos limites, níveis de confiança e bases temporais são apresentados a seguir:

- Para o valor esperado de insuficiência da oferta de energia, condicionado ao nível de confiança de 1%, $CVaR_{1\%}(ENS)$, calculado em base anual, o limite será de 5% da demanda anual por energia do SIN; e
- Para o valor esperado do custo marginal de operação, condicionado ao nível de confiança de 10%, $CVaR_{10\%}(CMO)$, calculado em base mensal, o limite será de R\$ 800/MWh para cada subsistema.

² Os valores de CME definidos desde 2016 são: 193 R\$/MWh, 217 R\$/MWh, 234 R\$/MWh, 247 R\$/MWh.

Em casos de garantia física, por se tratarem de casos estáticos, considera-se que os cinco anos de estudos são equivalentes entre si e, portanto, o CVaR(CMO) é calculado agregando-se as amostras dos cinco anos de estudo, em base mensal, ou seja, são calculados 12 valores de CVaR(CMO), um para cada mês, com uma amostra de 10.000 elementos (2.000 séries hidrológicas x 5 anos). Ressalta-se que o limite deve ser respeitado em todos os 12 valores de CVaR(CMO).

Já o CVaR(ENS) é calculado com base em uma amostra de valores mensais de déficit³ de todos os anos do período de estudo, totalizando 120.000 elementos (2.000 séries hidrológicas x 5 anos x 12 meses). O limite deve ser atendido para esse valor único de CVaR(ENS).

Considerando que o CVaR(ENS) não é o critério ativo para a configuração atual, conforme os resultados apresentados no Relatório do GT Modernização [1], a tolerância para esse critério será estudada em um momento futuro.

Desse modo, esta Nota Técnica se propõe a estabelecer as tolerâncias para a igualdade entre CVaR_{10%}(CMO) e seu respectivo limite e a igualdade entre CMO e CME, a serem admitidas na determinação da oferta total de garantia física de energia do SIN.

³ O déficit é calculado, em cada mês, como a razão entre a energia não suprida e a demanda por energia do SIN.

2. ANÁLISE DAS DISTRIBUIÇÕES DE CMO MÉDIO E DE CVaR_{10%}(CMO)

CASO BASE LEN A-6 2019 – CVaR_{10%}CMO ~ 700 R\$/MWh

Nesta seção, serão analisadas as distribuições de CMO médio e de CVaR_{10%}(CMO) para uma amostra de 100 casos estatisticamente equivalentes, no que tange ao custo total de operação.

A partir de um caso típico de cálculo de garantias físicas, em que não há limites de intercâmbio entre diferentes subsistemas, será construída uma amostra de 100 elementos estatisticamente equivalentes ao se transferir 1 MW médio da demanda de um subsistema qualquer para outro, em apenas um mês.

Os estudos foram realizados a partir do Caso Base para o LEN A-6/2019, no qual foram incorporados os aprimoramentos aprovados pela CPAMP, conforme Portaria MME nº 300, de 31 de julho de 2019, e obtida uma amostra 100 elementos estatisticamente equivalentes considerando a perturbação acima descrita, conforme pode ser verificado na Figura 1.

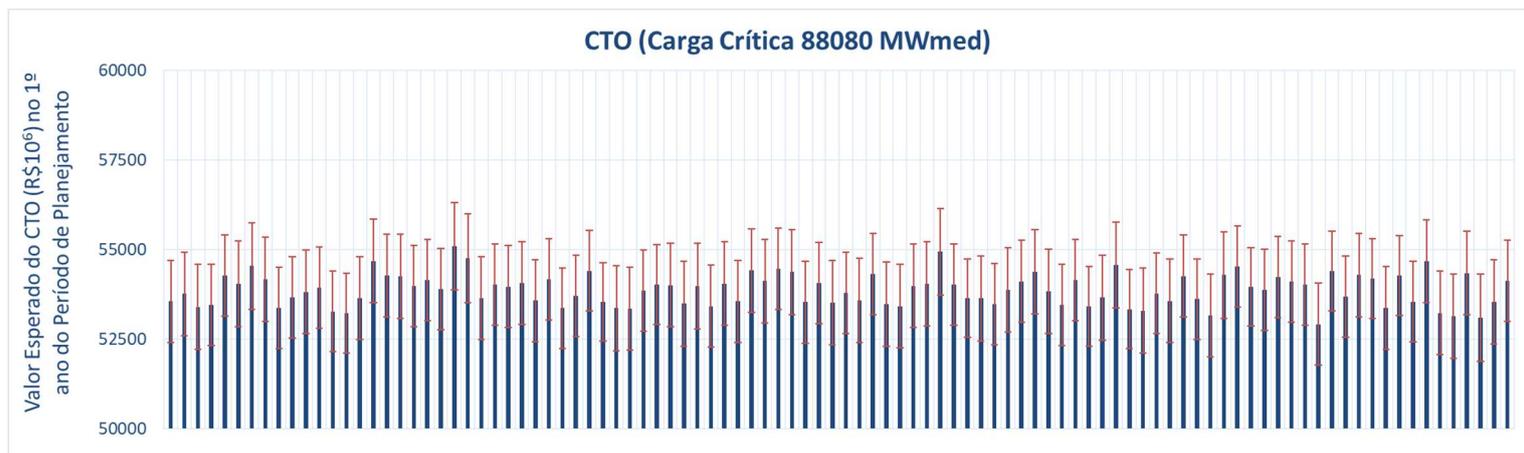


Figura 1 – Valor Esperado do Custo Total de Operação para a amostra de 100 elementos

Os valores de CVaR_{10%}(CMO) para cada um dos 100 casos estatisticamente equivalentes são apresentados, em ordem crescente, na Figura 2. Nesse gráfico, as linhas indicam a faixa de variação do valor médio amostral de CVaR_{10%}(CMO) nos patamares de $\pm 2\%$, $\pm 3\%$ e $\pm 4\%$.

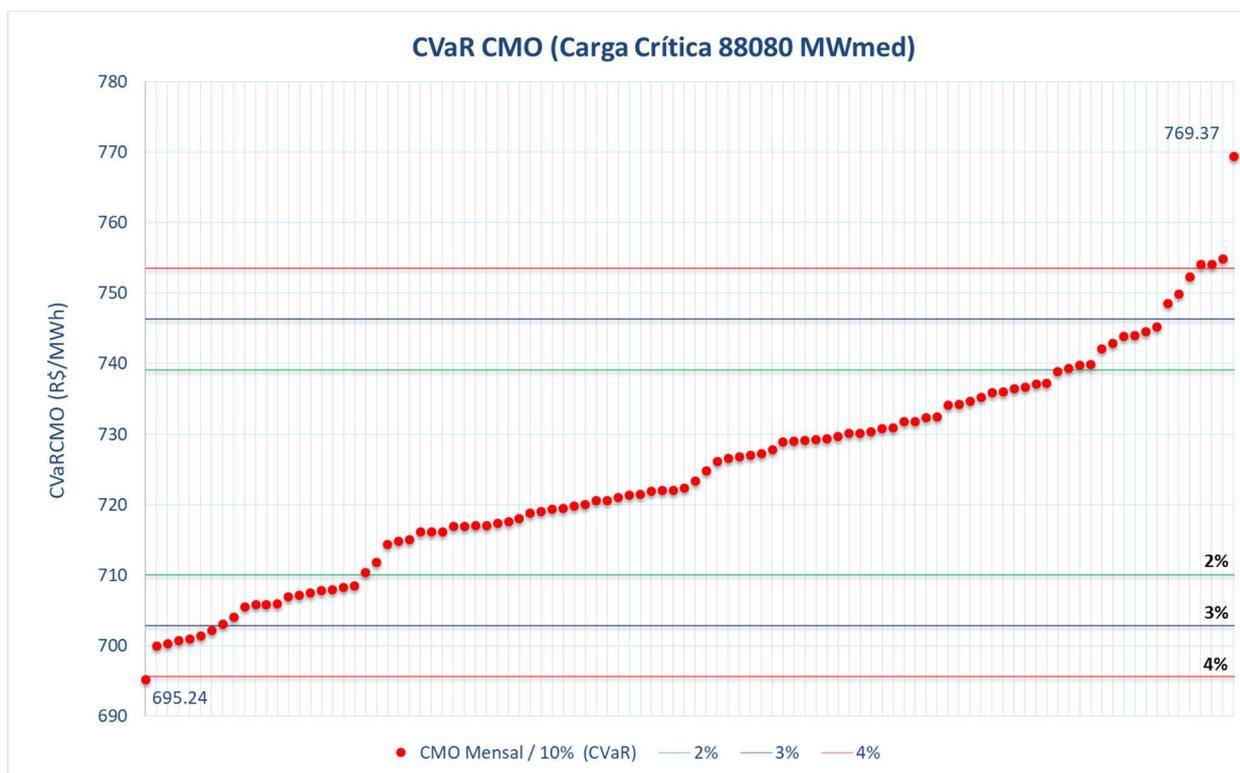


Figura 2 - Distribuição do CVaR_{10%}(CMO) para a amostra com CVaR_{10%}(CMO) ~ 700 R\$/MWh

Outra forma de analisar os dados é a partir do histograma do CVaR_{10%}(CMO), na

Figura 3.

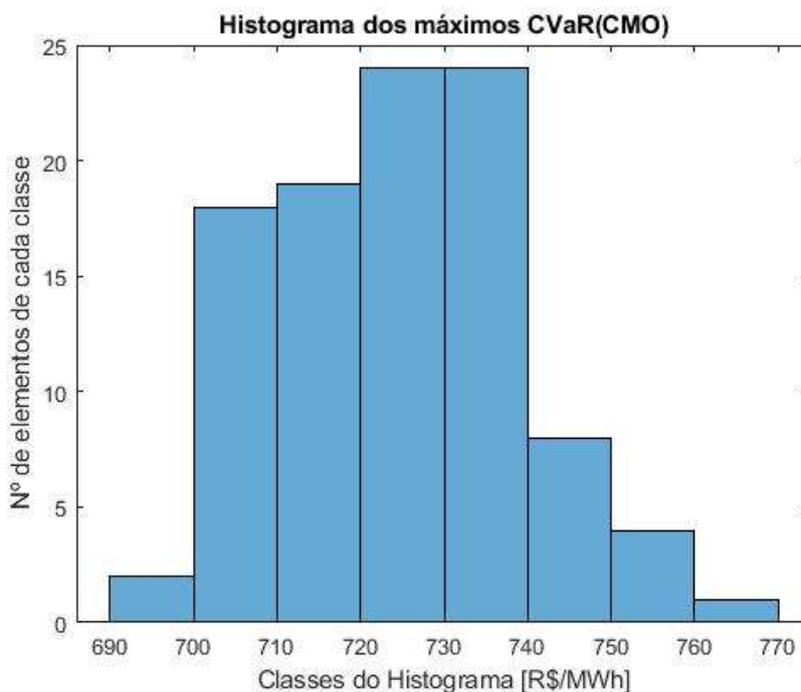


Figura 3 – Histograma do CVaR_{10%}(CMO) para a amostra com CVaR_{10%}(CMO) ~ 700 R\$/MWh

Com objetivo de avaliar se o $CVaR_{10\%}(CMO)$ segue uma distribuição normal, foram realizados testes de hipóteses como o de Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov (1 amostra) e Jarque-Bera [2], cujos resultados são apresentados na Tabela 1:

Teste de Normalidade	Resultado
Anderson-Darling	Aceito
Kolmogorov-Smirnov (1 amostra)	Aceito
Jarque-Bera	Aceito

Tabela 1 – Testes de Normalidade para a distribuição de $CVaR_{10\%}(CMO)$

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a distribuição de $CVaR_{10\%}(CMO)$, considerando a amostra de 100 casos estatisticamente equivalentes, pode ser aproximada por uma distribuição normal.

De forma análoga, obtemos que a distribuição de CMO médio também pode ser aproximada por uma distribuição normal.

A Figura 4 apresenta, em ordem crescente, os custos marginais de operação médios (CMO médio) para a amostra de 100 casos estatisticamente equivalentes. Nesse gráfico, as linhas indicam a faixa de variação do valor médio amostral de CMO médio nos patamares de $\pm 2\%$, $\pm 3\%$ e $\pm 4\%$.

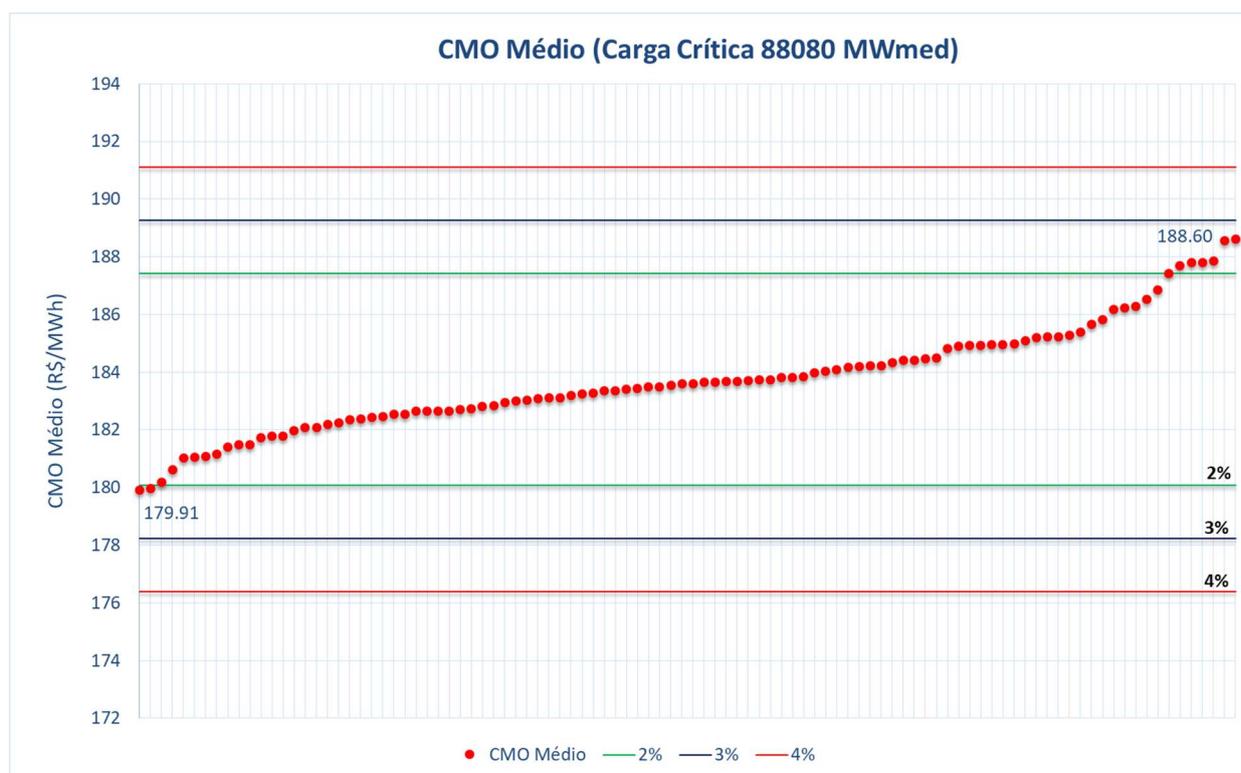


Figura 4 – Distribuição do CMO médio para a amostra com $CVaR_{10\%}(CMO) \sim 700$ R\$/MWh

Ao comparar a Figura 2 com a Figura 4, observa-se que a variabilidade amostral da distribuição

de $CVaR_{10\%}(CMO)$ é visualmente superior à da distribuição de CMO médio, que se traduz num maior valor de variância, conforme pode ser observado na Tabela 2. Deduz-se, portanto, que a tolerância a ser obtida para a igualdade do valor de $CVaR_{10\%}(CMO)$ e seu limite tende a ser maior que tolerância a ser obtida para a igualdade entre CMO e CME.

	CMO Médio (R\$/MWh)	CVaR_{10%}(CMO) (R\$/MWh)
Média	183,74	724,59
Mínimo	179,91	695,24
Máximo	188,60	769,37
Amplitude	8,69	74,13
Desvio Padrão	1,85	14,76

Tabela 2 – Estatísticas básicas para a amostra com $CVaR_{10\%}(CMO) \sim 700$ R\$/MWh

A Figura 5 apresenta a função de densidade de probabilidade teórica da distribuição normal, com a esperança matemática (ou média) definida por μ e o desvio padrão σ . Para a distribuição normal, 68,26% das amostras estão entre ± 1 desvio padrão, e 95,46% das amostras estão contidas entre ± 2 desvios padrão, essa sendo uma medida de intervalo de confiança amplamente utilizada.

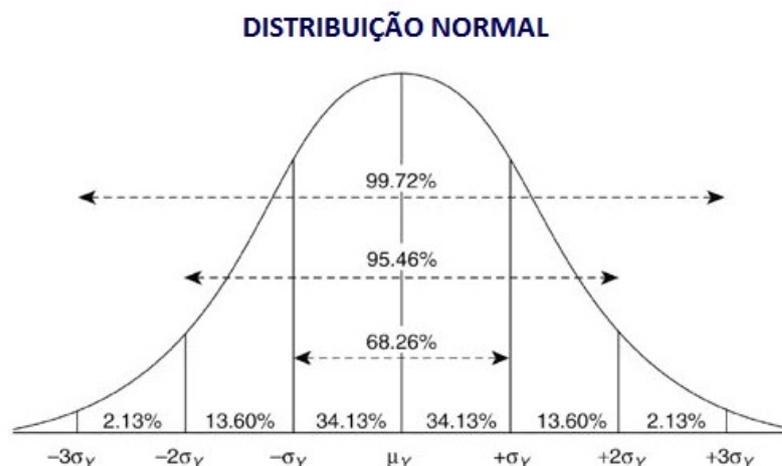


Figura 5 – Distribuição Normal padrão

Assim, para fins de determinação das tolerâncias para convergência da carga crítica, com base nas análises dos testes de hipóteses, será considerado que, tanto a distribuição de $CVaR_{10\%}(CMO)$ quanto a distribuição de CMO médio se aproximam de uma distribuição normal, que é uma das distribuições de probabilidade mais utilizadas para modelar fenômenos naturais em probabilidade e estatística.

Desse modo, visando avaliar a robustez da tolerância proposta, será avaliado o comportamento para outras amostras, variando-se a configuração e valores médios de $CVaR_{10\%}(CMO)$ e de CMO, da tolerância como sendo 2 desvios padrões.

CASO BASE LEN A-6 2019 – CVaR_{10%}(CMO) ~ 800,00 R\$/MWh

A seção anterior apresentou o Caso Base para o LEN A-6 2019 considerando uma carga crítica de 88.080 MW médios e CVaR_{10%}(CMO) com média de aproximadamente 727,30 R\$/MWh. Ao se considerar que no Relatório do GT Modernização [1] foi estabelecido que “Considerando a metodologia proposta e os estudos do PDE 2026, 2027 e 2029, este trabalho propõe que seja aplicado o critério CVaR_{10%}(CMO) ≤ 800 [R\$/MWh] para cada subsistema e com discretização mensal”, é importante analisar a tolerância para o caso base de leilão nesse patamar de CVaR_{10%}(CMO).

A partir de um caso considerado convergido para o critério de CVaR_{10%}(CMO) em um valor próximo de 800,00 R\$/MWh, foram realizadas perturbações marginais na demanda, assim como detalhado no capítulo anterior, de modo a se obter 40 casos estatisticamente equivalentes.

A Figura 6 apresenta, em ordem crescente, os custos marginais de operação médios (CMO médio) para o caso citado, onde cada ponto corresponde a um dos 40 *decks* executados. Nesse gráfico, as linhas indicam a faixa de variação do valor médio amostral de CVaR_{10%}(CMO) nos patamares de ±2%, ±3% e ±4%.

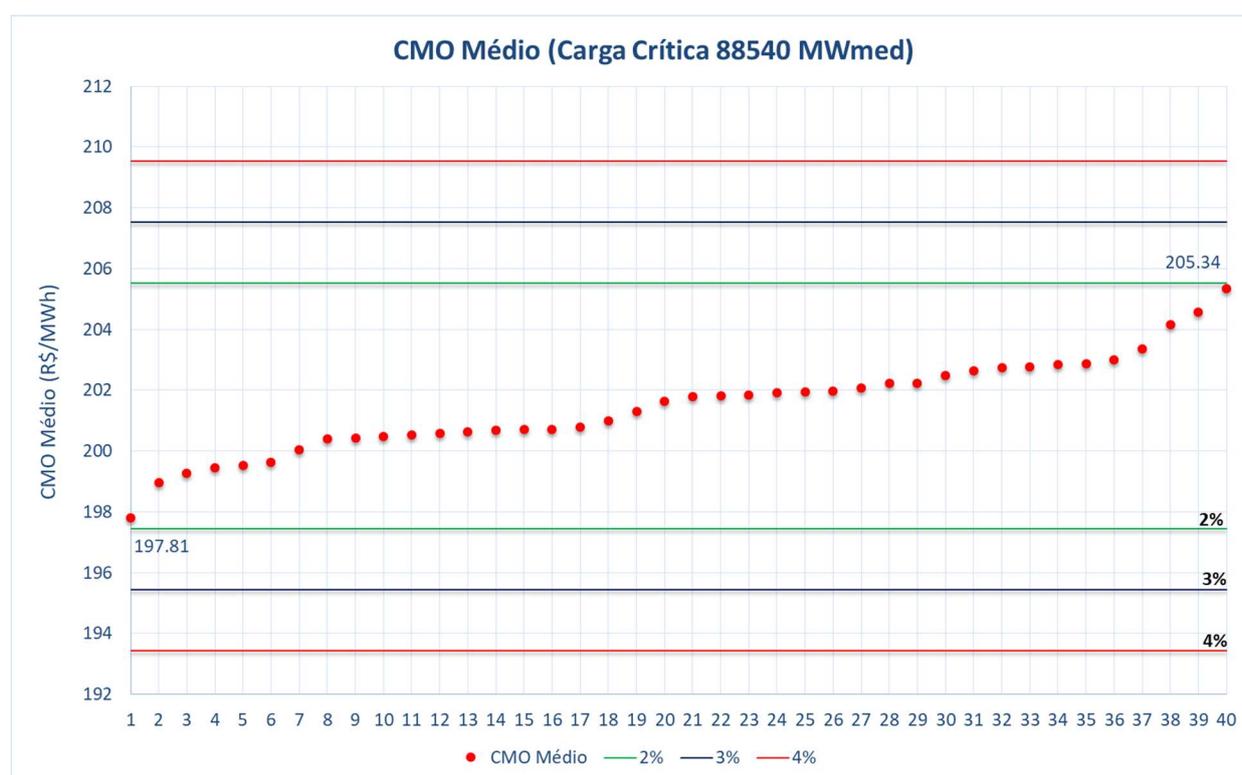


Figura 6 – Distribuição do CMO Médio para a amostra com CVaR_{10%}(CMO) ~ 800 R\$/MWh

Da mesma forma, a Figura 7 apresenta, em ordem crescente, os valores de $CVaR_{10\%}(CMO)$.

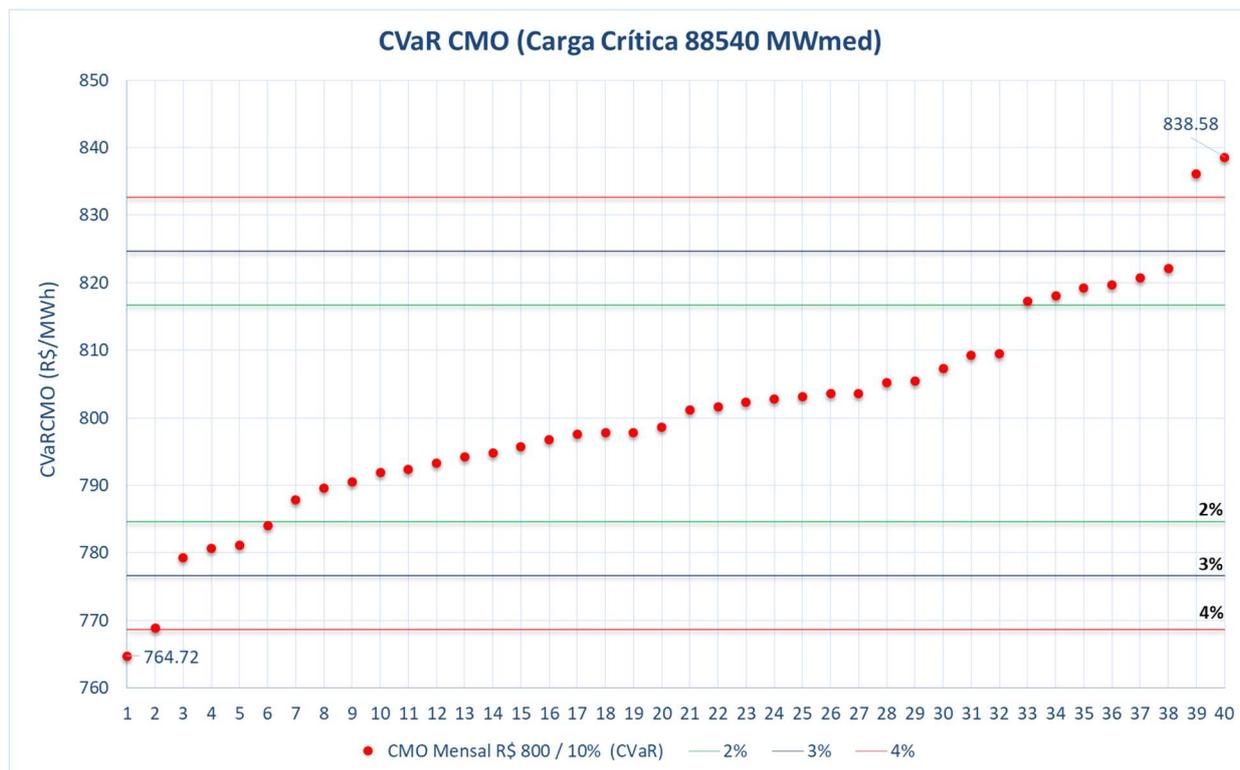


Figura 7 – Distribuição do $CVaR_{10\%}(CMO)$ para a amostra com $CVaR_{10\%}(CMO) \sim 800$ R\$/MWh

O caso convergido a $CVaR_{10\%}(CMO) \sim 800$ R\$/MWh apresentou um incremento de carga de 460 MW médios em relação ao caso base de estudo e também uma maior variância, que pode ser explicada pelos 2 casos em cada extremo da distribuição. As estatísticas básicas encontradas são:

	CMO Médio (R\$/MWh)	$CVaR_{10\%}(CMO)$ (R\$/MWh)
Média	201,48	800,62
Mínimo	197,81	764,72
Máximo	205,34	838,58
Amplitude	7,53	73,86
Desvio Padrão	1,57	15,75

Tabela 3 – Estatísticas básicas para a amostra com $CVaR_{10\%}(CMO) \sim 800$ R\$/MWh

Ao se considerar que o valor alvo de CMO médio e $CVaR_{10\%}(CMO)$ sejam as médias da própria amostra e que a medida proposta do intervalo de confiança de ± 2 desvios padrão poderia ser utilizada como tolerância, o caso estaria convergido para a carga crítica que resultasse em um $CVaR_{10\%}(CMO)$ entre 769,11 R\$/MWh e 832,12 R\$/MWh, ou seja, uma tolerância de $\pm 3,94\%$.

Já o CMO médio estaria considerado como convergido para uma carga crítica que resultasse em um custo marginal entre $\pm 198,35$ R\$/MWh e $\pm 204,61$ R\$/MWh, resultando em uma tolerância de $\pm 1,56\%$.

CASO BASE LEN A-6 2019 – CVaR_{10%}CMO ~ 1000,00 R\$/MWh

Para o mesmo caso foi incrementada a carga crítica até o CVaR_{10%}(CMO) atingir um valor próximo a 1.000 R\$/MWh, e executados os mesmos passos do caso considerado convergido ao CVaR_{10%}(CMO) de 800 R\$/MWh. Em relação ao último caso, foi necessário incrementar a carga em 810 MW médios para a mesma oferta de geração.

A Figura 8 apresenta, em ordem crescente, o CMO médio para os casos ajustados, além das linhas que indicam a variabilidade em relação a média da amostra nos patamares de ±2%, ±3% e ±4%.

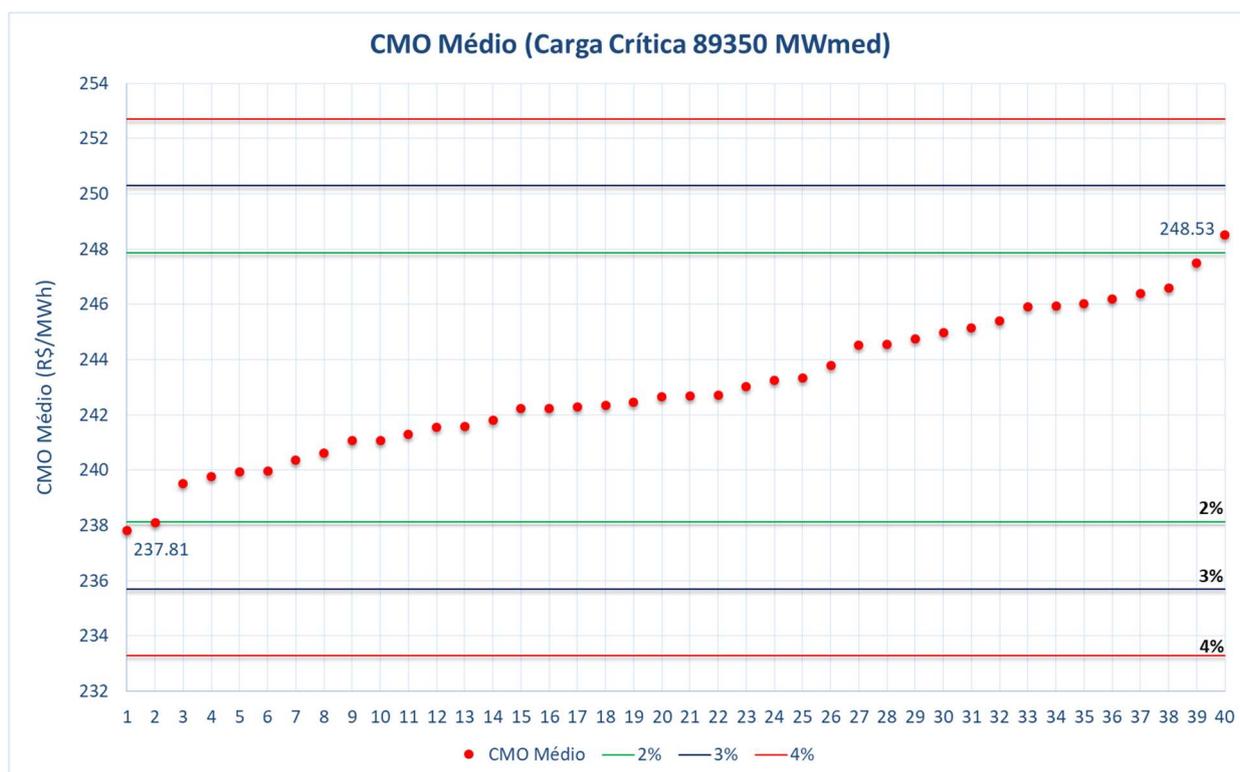


Figura 8 – Distribuição do CMO Médio para a amostra com CVaR_{10%}(CMO) ~ 1000 R\$/MWh

Da mesma forma, a Figura 9 apresenta, em ordem crescente, os valores de $CVaR_{10\%}(CMO)$.

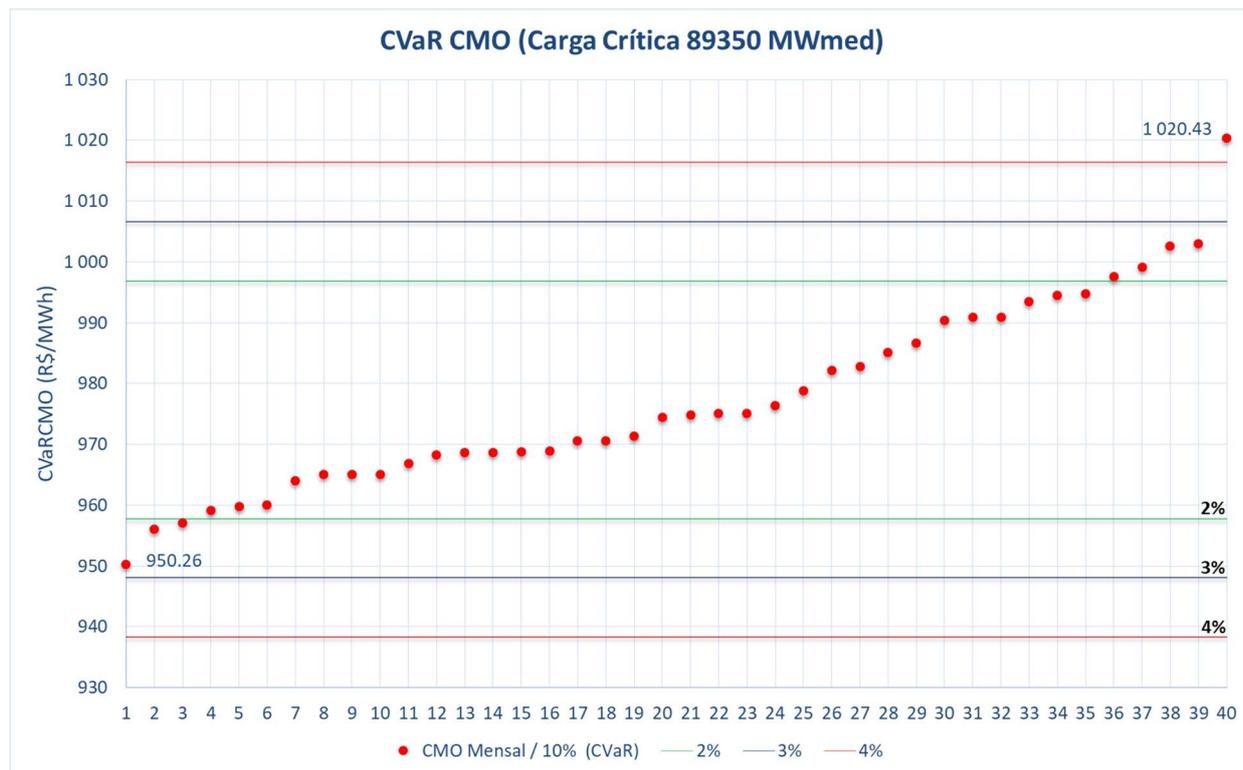


Figura 9 – Distribuição do $CVaR_{10\%}(CMO)$ para a amostra com $CVaR_{10\%}(CMO) \sim 1000$ R\$/MWh

Verifica-se que, apesar de o caso ter sido inicialmente ajustado para um valor um pouco inferior a 1.000,00 R\$/MWh, a maioria da amostra resultou em um valor inferior a esse. As estatísticas básicas para a amostra são apresentadas na Tabela 4:

	CMO Médio (R\$/MWh)	$CVaR_{10\%}(CMO)$ (R\$/MWh)
Média	243,00	977,35
Mínimo	237,81	950,26
Máximo	248,53	1020,43
Amplitude	10,72	70,17
Desvio Padrão	2,57	15,57

Tabela 4 – Estatísticas básicas para a amostra com $CVaR_{10\%}(CMO) \sim 1000$ R\$/MWh

Nesse caso, o CMO médio estaria considerado como convergido para uma carga crítica que resultasse em um custo marginal entre $\pm 237,85$ R\$/MWh e $\pm 248,14$ R\$/MWh.

Já para o $CVaR_{10\%}(CMO) \sim 1000,00$ R\$/MWh, a média do caso foi de 977,35 R\$/MWh. Para uma tolerância de ± 2 desvios padrão, o caso estaria convergido entre $\pm 946,22$ R\$/MWh e $\pm 1008,49$ R\$/MWh.

REVISÃO ORDINÁRIA DE GARANTIAS FÍSICAS 2017 – CVaR_{10%}CMO ~ 800,00 R\$/MWh

O caso de Revisão Ordinária de Garantias Físicas - ROGF, de 2017, além de possuir uma configuração diferente, também estava ajustado a outro critério de garantia de suprimento, e pode servir como exemplo do comportamento para uma situação distinta dos casos de leilão apresentados.

O caso original da ROGF foi simulado na versão 23 do NEWAVE e ajustado para um CME de 193,00 R\$/MWh, resultando em uma carga crítica de 84.410 MW médios. O mesmo caso atualizado com as parametrizações aprovadas pela CPAMP em 2019 e com critério de suprimento vigente resultou em uma carga crítica de 85.315 MW médios, uma diferença de 905 MW médios. Já em relação ao Caso Base do Leilão A-6 2019, a diferença de carga crítica do caso da ROGF considerando o critério de CVaR_{10%}(CMO) ~ 800 R\$/MWh foi de 3.225 MW médios.

A Figura 10 apresenta a amostra de casos com base na ROGF convergido para um CVaR_{10%}(CMO) ~ 800 R\$/MWh:

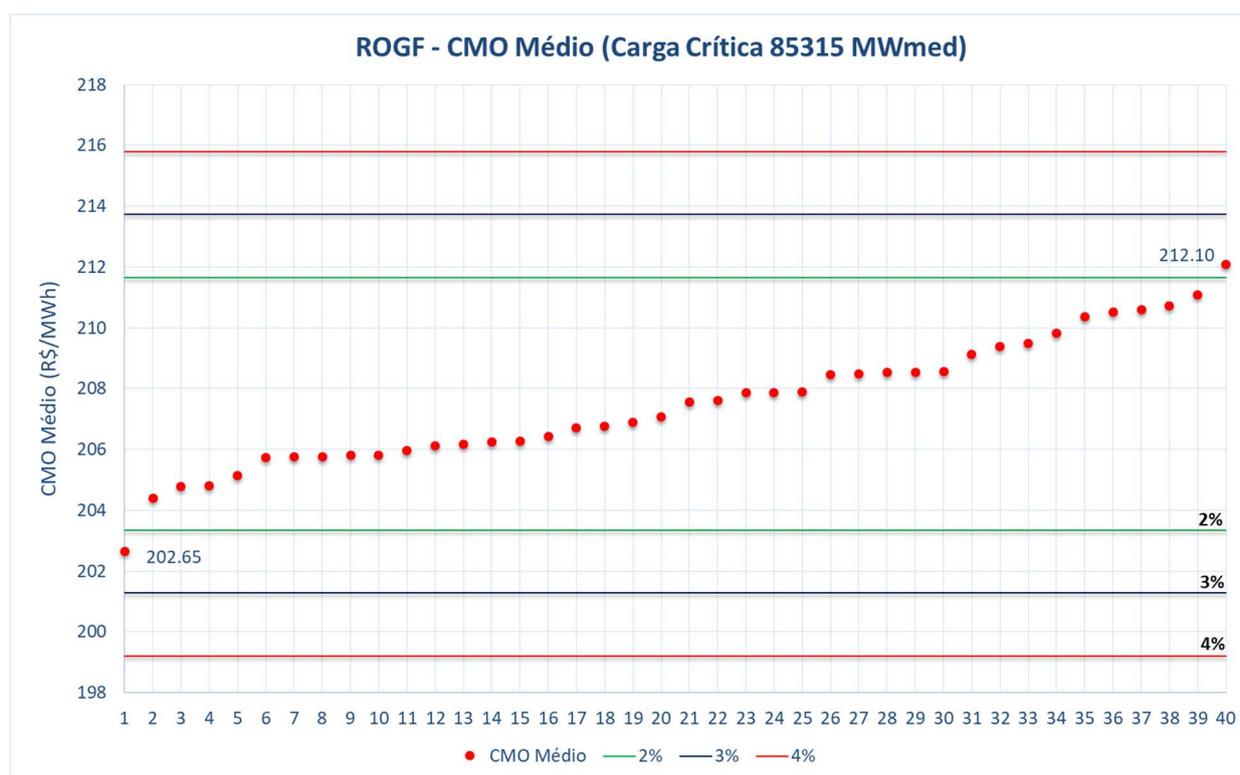


Figura 10 – Distribuição do CMO Médio para a amostra com CVaR_{10%}(CMO) ~ 800 R\$/MWh (ROGF)

A Figura 11 apresenta a amostra de 40 casos estatisticamente equivalentes para um $CVaR_{10\%}(CMO) \sim 800$ R\$/MWh:

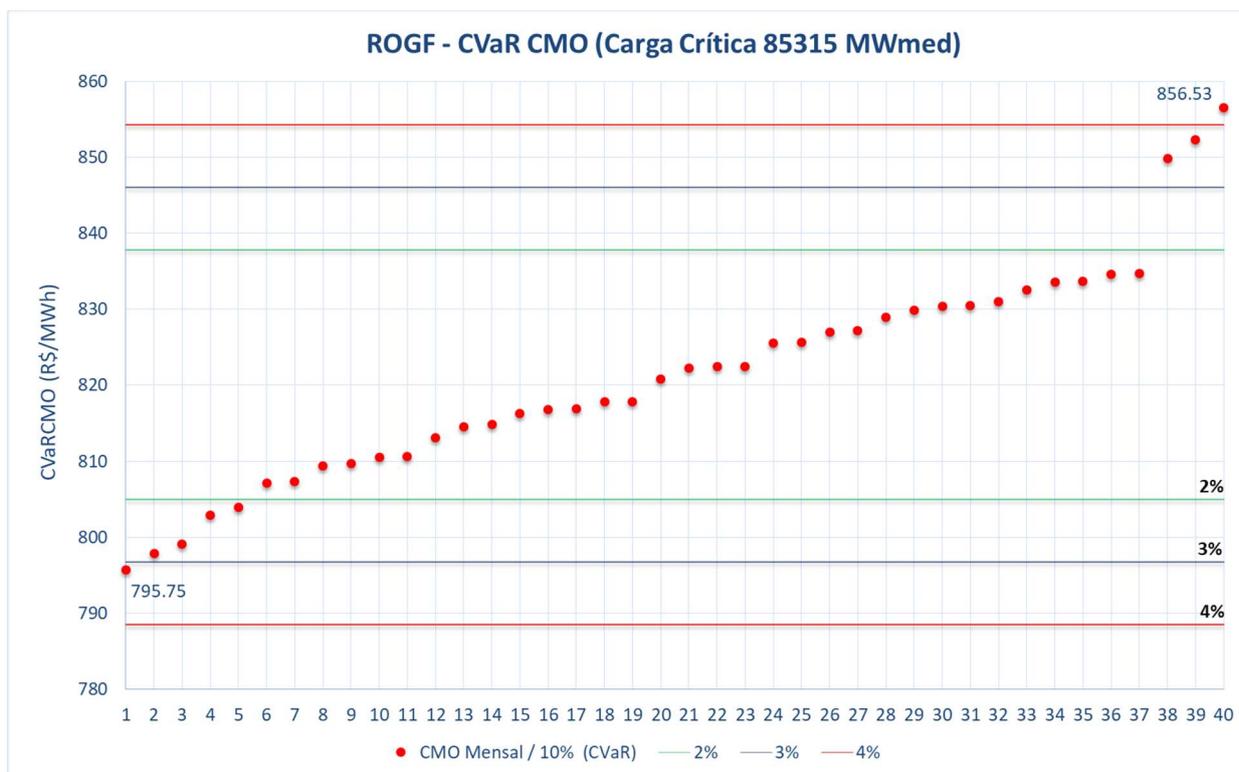


Figura 11 – Distribuição do $CVaR_{10\%}(CMO)$ para a amostra com $CVaR_{10\%}(CMO) \sim 800$ R\$/MWh (ROGF)

De forma análoga ao Caso Base LEN A-6 2019 convergido para o $CVaR_{10\%}(CMO) \sim 1000$ R\$/MWh, apesar de o caso ter sido inicialmente ajustado para um valor um pouco superior a 800,00 R\$/MWh, a maioria dos casos da amostra de casos equivalentes resultou em um valor superior a esse. As estatísticas básicas para a amostra são apresentadas na Tabela 5:

	CMO Médio (R\$/MWh)	$CVaR_{10\%}(CMO)$ (R\$/MWh)
Média	207,50	821,36
Mínimo	202,65	795,75
Máximo	212,10	856,53
Amplitude	9,45	60,78
Desvio Padrão	2,10	14,13

Tabela 5 – Estatísticas básicas para a amostra com $CVaR_{10\%}(CMO) \sim 800$ R\$/MWh (ROGF)

Nesse caso, o CMO médio estaria considerado como convergido para uma carga crítica que resultasse em um custo marginal entre 203,29 R\$/MWh e 211,71 R\$/MWh.

Já para o $CVaR_{10\%}(CMO) \sim 800$ R\$/MWh para uma tolerância de ± 2 desvios padrão, o caso estaria convergido entre 793,10 R\$/MWh e 849,63 R\$/MWh. Nota-se que a média da amostra foi de 821,36 R\$/MWh.

3. CONCLUSÃO

A Nota Técnica em tela se propôs a determinar as tolerâncias a serem utilizadas na convergência da carga crítica, inerente ao cálculo de garantias físicas de energia, atendendo o critério geral de garantia de suprimento de energia estabelecido na Resolução CNPE nº 29/2019, especificamente no que se refere à igualdade entre CMO e CME e à igualdade entre $CVaR_{10\%}(CMO)$ e seu limite.

Inicialmente foi criada uma amostra de 100 casos estatisticamente equivalentes, na qual foi testada a hipótese de que as amostras de CMO médio e $CVaR_{10\%}(CMO)$ se aproximavam de uma distribuição normal. A hipótese não foi rejeitada, sendo assim a proposta foi aplicada para outros casos de garantia física considerando diferentes cargas críticas e configurações.

Considerando então que as distribuições podem ser tratadas como normais, foram então obtidos os parâmetros estatísticos para cada amostra.

A Tabela 6 apresenta o intervalo de confiança de 2 desvios padrão para cada amostra estudada nesta Nota Técnica, de modo a subsidiar a definição das tolerâncias.

	CMO Médio (R\$/MWh)	$CVaR_{10\%}(CMO)$ (R\$/MWh)
$CVaR_{10\%}(CMO) \sim 700$ R\$/MWh (LEN A-6 2019)	± 3,7	± 29,5
$CVaR_{10\%}(CMO) \sim 800$ R\$/MWh (LEN A-6 2019)	± 3,1	± 31,5
$CVaR_{10\%}(CMO) \sim 1000$ R\$/MWh (LEN A-6 2019)	± 5,1	± 31,1
$CVaR_{10\%}(CMO) \sim 800$ R\$/MWh (ROGF)	± 4,2	± 28,3

Tabela 6 – Intervalo de confiança de 2 desvios padrão para cada amostra

Observa-se que os valores obtidos para o $CVaR_{10\%}(CMO)$ apresentaram estabilidade em torno de 30,00 R\$/MWh, sendo, portanto, este valor sugerido como tolerância do $CVaR_{10\%}(CMO)$ em relação ao limite de $CVaR_{10\%}(CMO)$.

Quanto ao CMO médio, considerando que a tolerância atual de 2,00 R\$/MWh é mais rigorosa que os valores obtidos neste estudo e que o processo de convergência de igualdade entre CMO e CME está mais maduro e vem apresentando bons resultados, sugere-se que seja mantida a tolerância para o CMO médio de 2,00 R\$/MWh em relação ao CME.

As tolerâncias sugeridas nesta Nota Técnica estão resumidas na Tabela 7.

	Tolerância
CMO médio	2,00 R\$/MWh
$CVaR_{10\%}(CMO)$	30,00 R\$/MWh

Tabela 7 – Tolerâncias propostas – CMO médio e $CVaR_{10\%}(CMO)$

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Relatório do Grupo Temático Critérios de Garantia de Suprimento do GT Modernização – Proposta de Parâmetros. Outubro de 2019. Disponível em <http://www.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=72e74665-07af-1e61-2abe-67462b3abc10&groupId=36208>.
- [2] Wonnacott, T.H.; Wonnacott, R.J. Introductory Statistics, 5th Edition. Wiley.