

Projeção de geração do parque termelétrico do Rio de Janeiro para o horizonte de 5 anos

Preparado para
CEG E CEG RIO

Julho de 2018

RELATÓRIO TÉCNICO 1 - V2



PSR

Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivo	1
1.2	Organização do relatório	1
2	Despacho hidrotérmico.....	2
2.1	Despacho hidrotérmico: conceito.....	2
3	Análise Técnica	5
3.1	Premissas	5
3.1.1	Cenário de geração	6
3.1.2	Projeção de demanda	6
3.1.3	Projeção de custo de combustível.....	7
3.1.4	Despacho fora da ordem de mérito e por restrição elétrica.....	7
3.2	Balço de oferta e demanda do SIN.....	7
3.3	Resultados e seleção de cenário de referência para projeção neste documento	8
3.3.1	Metodologia de escolha de cenário e resultados.....	8
4	Conclusões	13
5	Bibliografia.....	14

Figura

Figura 2-1 – Matriz energética brasileira – Dezembro 2016	2
Figura 2-2 – Diagrama de decisão operativa para sistemas hidrotérmicos	3
Figura 3-1 – Metodologia de projeção de despacho termelétrico	5
Figura 3-2 – Comparação entre projeção de demanda ONS x PSR.....	6
Figura 3-3 – - Balanço de garantia física.....	8
Figura 3-4 – Cenários de vazão	9
Figura 3-5 – Distribuição de densidade de probabilidade.....	10
Figura 3-6 – Histograma dos cenários simulados	10
Figura 3-7 – Distribuição de probabilidade acumulada (curva de permanência)	12

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo

Este documento tem como objetivo atualizar os resultados de despacho do parque gerador do Rio de Janeiro realizado para CEG e CEG RIO em agosto de 2017. A mesma metodologia proposta anteriormente será aplicada na projeção de despacho das usinas termelétricas à gás do estado do Rio de Janeiro, a saber, UTE Santa Cruz, UTE Leonel Brizola (Termorio), UTE Norte Fluminense, UTE Mario Lago (Termomacae), UTE Barbosa Lima Sobrinho (Eletrobolt) e UTE Baixada Fluminense, para a estimativa de consumo de gás natural do setor termelétrico que será utilizada no processo de revisão tarifária das distribuidoras de gás natural. O horizonte do processo de revisão tarifária é 2018-2022.

Definir um despacho termelétrico não é tarefa simples, devido ao despacho termelétrico ser dependente do despacho hídrico que, por sua vez, tem como principal variável aleatória as vazões afluentes às hidrelétricas. Para realizar esta tarefa, o Operador Nacional do Sistema (ONS) utiliza uma cadeia de modelos computacionais, que tem como objetivo decidir entre utilizar a água armazenada nos reservatórios das hidrelétricas hoje ou despachar as termelétricas e armazenar a água para a utilização durante o horizonte de planejamento da operação do Sistema Interligado nacional. Esta tomada de decisão é função da perspectiva futura de vazões. Para tal, geram-se n cenários equiprováveis de vazão, o que resulta em n cenários equiprováveis de despachos de termelétricas para o horizonte de planejamento. Neste documento é apresentada uma metodologia para, de posse destes n cenários equiprováveis, definir aquele que será utilizado como referência para o cálculo do consumo de gás natural das usinas termelétricas à gás do estado do Rio de Janeiro. Neste documento, refere-se a este cenário definido como referência como projeção, simplesmente.

1.2 Organização do relatório

O capítulo 2 discute os conceitos do despacho hidrotérmico realizados no Setor Elétrico Brasileiro. O capítulo 3 apresenta a análise técnica para a determinação do cenário do despacho termelétrico do parque gerador do Rio de Janeiro. O capítulo 4 contém conclusões do estudo realizado.

2 DESPACHO HIDROTÉRMICO

Este capítulo apresenta uma visão geral e conceitual sobre o despacho hidrotérmico.

2.1 Despacho hidrotérmico: conceito

O presente estudo desenvolve uma metodologia para a projeção de geração de energia para o parque termelétrico do Rio de Janeiro que consta na base de dados de simulação oficial do Operador Nacional do Sistema (ONS), no horizonte de 2018 a 2022. O estudo foi realizado utilizando a melhor técnica e informações disponíveis no momento do trabalho. O parque gerador estudado é composto pelas seguintes usinas: UTE Santa Cruz, UTE Leonel Brizola (Termorio), UTE Norte Fluminense, UTE Mario Lago (Termomacae), UTE Barbosa Lima Sobrinho (Electrobolt) e UTE Baixada Fluminense.

A atividade de projeção de geração termelétrica Brasil requer um amplo acompanhamento das condições de suprimento energético, bem como um conhecimento profundo de todas as regras operativas que influenciam a operação do sistema devido às características do sistema. O Brasil possui uma matriz energética diversificada, porém ainda predominantemente hidrelétrica. Verifica-se a representatividade das fontes na **Figura 2-1**, que revela a composição da capacidade instalada de geração no Brasil em 2017. De acordo com o Plano da operação Energética (PEN) 2018 - 2022 a capacidade instalada em dezembro de 2017 era de 155GW e a previsão para final de 2022 é que a capacidade instalada chegue a 174GW.

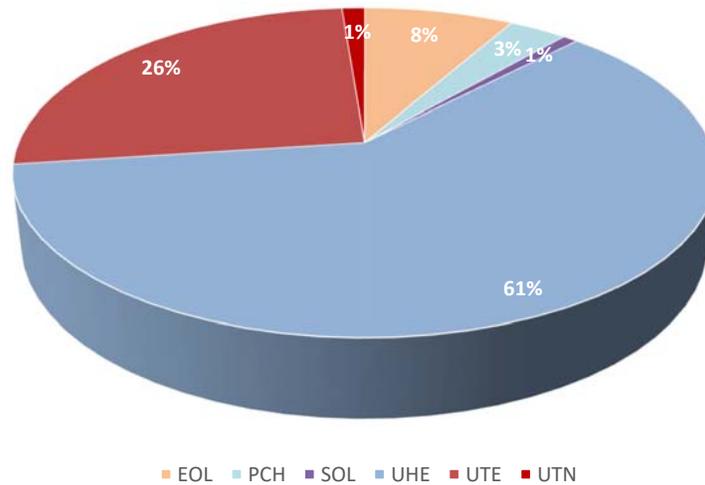


Figura 2-1 – Matriz energética brasileira – Dezembro 2017

Tradicionalmente, o despacho das usinas termelétricas no Brasil é realizado de forma centralizada pelo ONS, que tem como desafio a decisão de utilizar de forma ótima os recursos energéticos disponíveis de forma a atingir a minimização de custos operativos do sistema. Operar um

sistema hidrotérmico é tomar a decisão de utilizar, a cada instante de tempo, a água dos reservatórios ou utilizar os combustíveis das termelétricas. Essa escolha não é simples quando se dispõe de um sistema grande e com incerteza em diversas variáveis, sendo a principal delas as vazões dos rios (as incertezas serão melhor explicadas no decorrer do texto). Em um primeiro momento, pode-se pensar que a geração com base em recursos hidráulicos, por implicar em custos operativos diretos mais baixos¹, deveria ser a primeira na ordem de despacho das usinas. Entretanto, o operador do sistema elétrico tem a opção de usar este recurso hoje ou armazená-lo para uso futuro – e, se o recurso é utilizado agora, há maior probabilidade de no futuro ser necessário despacho térmico ou mesmo de ocorrer déficit de energia elétrica. Em outras palavras, embora as usinas hidrelétricas não tenham um custo operativo direto, há um custo de oportunidade intertemporal do uso da água.

A primeira consequência da existência de usinas hidrelétricas com reservatórios capazes de armazenar a água para uso futuro é que as decisões operativas em um determinado mês influenciam a operação dos próximos meses ou anos. Desta maneira, o problema de despacho hidrotérmico possui como característica o acoplamento temporal. Em alguns sistemas hidrotérmicos, o planejamento da operação hidrotérmico possui horizonte de 1 ano, como é o caso da Argentina. No caso do Sistema Elétrico Brasileiro o planejamento da operação hidrotérmica possui horizonte de 5 anos.

Neste ponto, vale a pena discutir com mais profundidade a decisão sob incerteza da programação do despacho em um sistema hidrotérmico. Para ilustrar as possibilidades e as consequências das decisões operativas observa-se a figura abaixo:

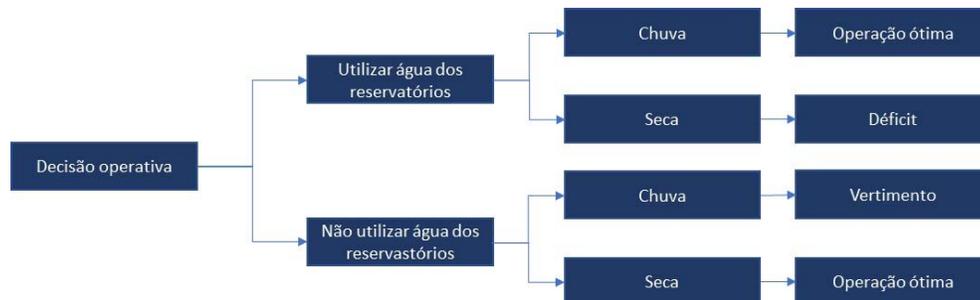


Figura 2-2 – Diagrama de decisão operativa para sistemas hidrotérmicos

Se a energia da hidrelétrica for utilizada hoje, na ocorrência de uma hidrologia seca haverá a necessidade de geração termelétrica mais cara no futuro para que a demanda seja atendida. Ou em um caso mais extremo, pode ocorrer a interrupção do fornecimento de energia elétrica. Se a decisão for manter os reservatórios cheios e utilizar geração termelétrica, na ocorrência de uma hidrologia úmida haverá desperdício de recursos energéticos no futuro. Desta maneira, a decisão sob incerteza considera a minimização de dois tipos de erro: (i) não armazenar água

¹ O custo variável unitário das usinas hidrelétricas é menor que 20 R\$/MWh, enquanto o custo variável das termelétricas varia entre 20 e 1100 R\$/MWh.

nos reservatórios hoje quando na realidade este recurso será necessário no futuro e (ii) armazenar água nos reservatórios hoje quando na realidade haverá vertimentos nas hidrelétricas no futuro.

Os despachos termelétricos do sistema brasileiro se dividem em três principais grupos:

- Despacho por mérito de custo

Este despacho é proveniente dos modelos de otimização da operação hidrotérmica utilizados atualmente pelo ONS, que otimizam recursos energéticos considerando incertezas hidrológicas e definem a programação de geração.

- Despacho fora da ordem de mérito por segurança energética

Este despacho tem por finalidade proporcionar maior segurança energética, onde termelétricas são despachadas sem indicação do modelo computacional, para recuperação dos níveis de armazenamento do sistema. Esse despacho tem que ser aprovado e indicado pelo Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE).

- Despacho por restrição elétrica

O despacho por restrição elétrica ocorre quando há alguma restrição operativa de natureza elétrica (por exemplo, restrições de capacidade nas linhas, restrições de tensão em subestações, etc.) que afeta o atendimento da demanda em um submercado ou a estabilidade do sistema. Este pode ser acionado devido à deterioração da rede elétrica local e ser suspenso quando reforços na rede de transmissão forem realizados.

Os despachos fora da ordem de mérito e por restrição elétrica atualmente não são resultantes do resultado de decisões assistidas por um modelo computacional. Já existiu uma metodologia para a projeção do despacho fora da ordem de mérito, que foi abolida das simulações e substituída somente pela indicação de despacho do ONS, mediante aprovação do CMSE. A metodologia anteriormente utilizada para realização do despacho fora da ordem de mérito, chamada de Procedimento Operativo de Curto Prazo (POCP) é utilizada nesse estudo como uma estimativa de despacho fora da ordem de mérito.

No âmbito desse trabalho, somente a projeção de despacho por ordem de mérito e fora da ordem de mérito foram contemplados na projeção de forma probabilística. A premissa de despacho por restrição elétrica foi determinística, considerando informação disponibilizada pelo ONS no documento “*NT 0033/2018- limites de transferência de energia entre regiões e geração térmica por restrições elétricas para o período de maio de 2018 a dezembro de 2022*”. Mesmo considerando a informação definida neste documento, pode haver desvios em relação ao despacho por restrição verificado efetivamente no futuro, já que as condições operativas da rede de transmissão podem variar por motivos não inteiramente antecipáveis pelo operador, que vão desde atrasos na entrada em operação de instalações de transmissão, como variações regionais não antecipadas no crescimento de carga que causam deterioração das condições elétricas no sistema.

3 ANÁLISE TÉCNICA

Para a realização de uma projeção de despacho termelétrico robusta em um sistema hidrotérmico é essencial que se determine de forma adequada a política operativa do sistema. Para isso é necessário simular o sistema considerando diversos cenários hidrológicos (para emular a incerteza nas vazões), projeção de demanda, expansão do parque gerador, evolução dos preços de combustíveis como mostrado esquematicamente na Figura 3-1.



Figura 3-1 – Metodologia de projeção de despacho termelétrico.

A simulação da operação do sistema para a projeção de despacho do parque gerador do Rio de Janeiro foi realizada com o modelo SDDP, desenvolvido pela PSR. Além dos cenários de incerteza descritos no parágrafo acima, o modelo considera todos os procedimentos operativos oficiais do Setor Elétrico Brasileiro² e uma representação mais detalhada da operação física do sistema³. Com estas funcionalidades, o uso do SDDP visa emular, com as melhores informações disponíveis, as decisões a serem tomadas pelo ONS no horizonte temporal de interesse.

3.1 Premissas

A fim de se aproximar de um despacho realista para o horizonte de 5 anos, há a necessidade de simular a evolução das variáveis que determinam e afetam o despacho hidrotérmico ao longo

² O modelo representa, por exemplo, aversão ao risco na política operativa, através da metodologia *Conditional Value at Risk* – CVaR.

³ Quando simulando o sistema com os valores reais de carga, aflúências de água e geração térmica, os reservatórios atingem níveis superiores aos da realidade. Isso indica que existem “Fatores de Fricção” que são reduções de eficiência na produção hidrelétrica quando comparado aos valores simulados – em outras palavras, isso é aparentemente necessário para usar mais água a fim de produzir 1 MWh na “vida real” que o calculado pelos modelos operacionais.

do tempo, tais como cenário de geração, cenário de demanda, evolução dos combustíveis, dentre outros.

A projeção de despacho das usinas termelétricas que consta neste relatório faz uso de diversas premissas, que serão apresentadas nas subseções abaixo.

3.1.1 Cenário de geração

O cenário de geração utilizado como base para este estudo foi ancorado no conjunto de arquivos do Programa Mensal de Operação (PMO) de julho de 2018. O conjunto de dados do PMO é disponibilizado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) mensalmente. Foram realizados ajustes no cronograma de entrada das usinas deste conjunto de arquivos do PMO, atualizando a informação relativa às usinas já contratadas previamente em todos os leilões realizados até 2018. Este ajuste crítico tem como objetivo deixar as informações de datas de entrada em operação das usinas mais realista. Isto é importante porque mudanças na entrada em operação de usinas impactam a operação do sistema.

3.1.2 Projeção de demanda

As projeções de demanda utilizadas no estudo para o horizonte de 2018 a 2022 levam em consideração a premissa macroeconômica de crescimento PIB mostrada na Tabela 1, onde é mostrada também de forma comparativa a premissa de crescimento de PIB utilizada pelo ONS. A premissa de PIB utilizada para o período de 2018 a 2022 é proveniente do relatório Focus e a premissa de referente ao ano de 2022 é premissa PSR de longo prazo.

Tabela 1 - Comparação entre projeção de PIB do ONS x PSR (*Fonte: Focus)

	2018	2019	2020	2021	2022
ONS	2.6%	2.6%	2.7%	2.8%	2.8%
PSR*	1.6%	2.7%	2.6%	2.6%	2.6%

Comparando então as demandas resultantes deste cenário de crescimento de PIB apresenta-se a demanda em GW médio para o período de 2018 a 2022 na Figura 3-2. Destaca-se que a demanda projetada pela PSR não se difere muito da demanda projetada pelo ONS.

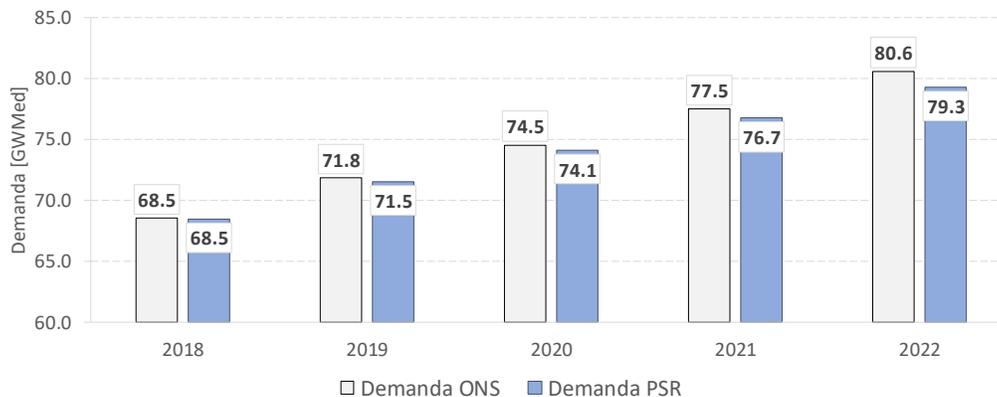


Figura 3-2 – Comparação entre projeção de demanda ONS x PSR

3.1.3 Projeção de custo de combustível

Como mostrado anteriormente, o despacho das usinas é realizado de forma a minimizar o custo operativo do sistema. Este, está intrinsecamente ligado ao custo de oportunidade das hidrelétricas e com o custo de combustível das termelétricas (CVU). Estes custos são atualizados mensalmente, de acordo com uma fórmula de reajuste pré-definida. A projeção de combustíveis e da taxa de câmbio mostradas na Tabela 2 foram utilizadas para estimar o reajuste do CVU ao longo do horizonte do estudo. A projeção de câmbio e combustível são dadas em **moeda constante** (valores reais)

Tabela 2 - Premissas de câmbio e custo de combustíveis (Fontes: World Bank Commodities Price Forecast – Apr/18, CME Group Jun/18 e Relatório Focus 02/07/18)

	2018	2019	2020	2021	2022
Taxa de Câmbio - R\$/US\$	3.6	3.5	3.5	3.4	3.4
Carvão (CIF ARA) - US\$/ton	96.5	90.2	84.7	81.5	78.9
Henry Hub - US\$/MMBtu	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1
Brent - US\$/bbl	71.0	63.6	56.1	55.9	55.9

3.1.4 Despacho fora da ordem de mérito e por restrição elétrica

Por fim, conforme indicado na seção 2, existe a necessidade de estimar um despacho fora da ordem de mérito por segurança energética e por restrições elétricas. O Procedimento Operativo de Curto Prazo (POCP) é utilizado como *proxy* para necessidades adicionais de despacho fora da ordem de mérito em todo horizonte.

Além disso, o despacho por restrição operativa de natureza elétrica é considerado conforme descrito na seção 2, com uma sofisticação: somente é considerado despacho por restrição elétrica, nos montantes indicados no documento *NT 0033/2018 - limites de transferência de energia entre regiões e geração térmica por restrições elétricas para o período de maio de 2018 a dezembro de 2022*, quando as usinas de interesse não estão despachadas pela ordem de mérito ou por segurança energética em valores iguais ou maiores que os montantes indicados no documento.

3.2 Balanço de oferta e demanda do SIN

Como resultado do cenário de oferta e demanda, apresenta-se na **Figura 3-3** apresenta o balanço anual de garantia física utilizado. O balanço de oferta e demanda da **Figura 3-3** considera os valores de garantia física na barra do gerador, ou seja, sem descontar perdas por consumo interno, na linha de uso exclusivo e na Rede Básica.

PROJEÇÃO DE GERAÇÃO DO PARQUE TERMELÉTRICO DO RIO DE JANEIRO PARA O HORIZONTE DE 5 ANOS

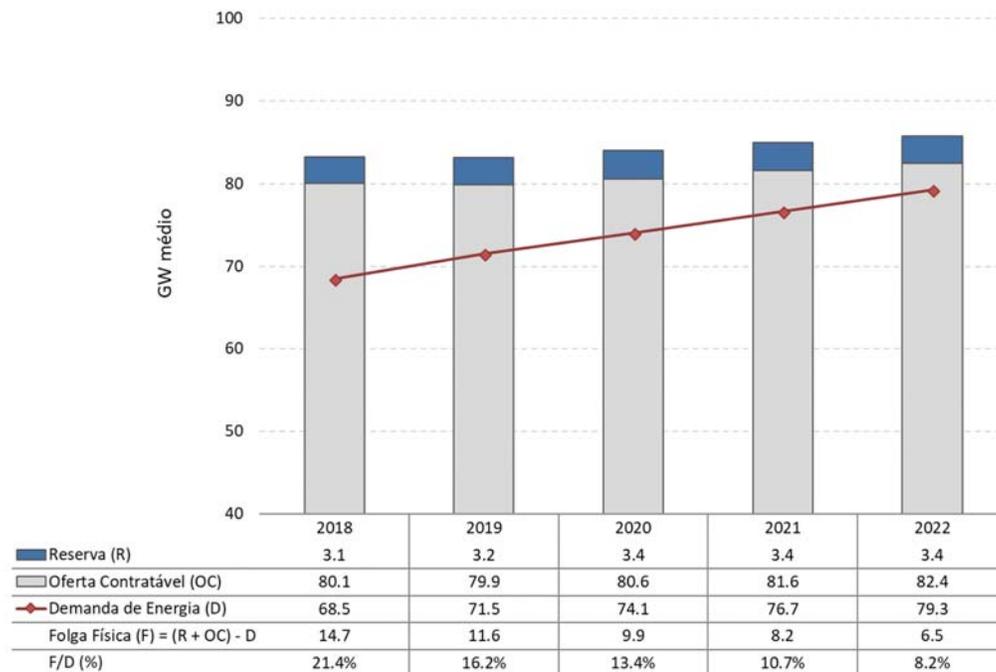


Figura 3-3 -- Balanço de garantia física

Para o ano de 2018, observa-se uma folga física de aproximadamente 15 GW médios de garantia física, o que representa uma sobreoferta de 21%. Para 2022 a sobreoferta do sistema cai para 8.2%.

3.3 Resultados e seleção de cenário de referência para projeção neste documento

3.3.1 Metodologia de escolha de cenário e resultados

Conforme mostrado nos capítulos anteriores, o Operador Nacional do Sistema, através de modelos computacionais, simula n cenários de vazão afim de capturar a incerteza hidrológica. Neste estudo, foram considerados 1200 cenários de vazões futuras para cada usina hidrelétrica, como ilustrado na Figura 3-4. Os valores são apresentados em termos de Energia Natural Afluente (ENA) e normalizados pela Média de Longo Termo (MLT), possibilitando o leitor a comparar a vazão projetada com a vazão média observada no histórico de 1931 a 2017.

PROJEÇÃO DE GERAÇÃO DO PARQUE TERMELÉTRICO DO RIO DE JANEIRO PARA O HORIZONTE DE 5 ANOS

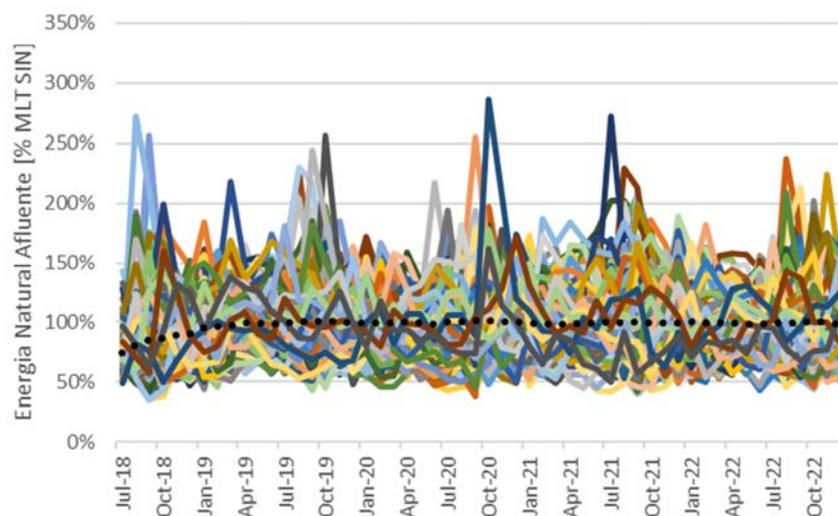


Figura 3-4 – Cenários de vazão

Optou-se pela utilização de uma estatística baseada nos valores acumulados ao longo dos 5 anos de estudo por duas razões: (i) a variável importante para a revisão tarifária é o consumo de gás natural projetado ao longo do ciclo tarifário, e não o valor em um determinado mês ou ano; e (ii) existem uma grande correlação temporal entre o despacho verificado em um ano e o despacho do ano subsequente. Por exemplo, se houver um ano com uma seca severa, há maior probabilidade de no ano seguinte ocorrer uma seca mais moderada. Em outras palavras, esta correlação temporal impossibilita utilizar estatísticas anuais, como por exemplo um percentil, para compor uma série anual de despacho ao longo do ciclo tarifário.

Na Figura 3-5, indica-se a distribuição de densidade de probabilidade do somatório de despacho do parque gerador do Rio de Janeiro ao longo do período de julho de 2018 a dezembro de 2022, 5 anos de interesse. Esta distribuição foi estimada com base na amostra de 1200 cenários.

Para a determinação do cenário de referência para a projeção neste documento, optou-se pela seleção com base no cenário de despacho mais provável ao longo dos 5 anos de horizonte estudado. Esta seleção corresponde à *moda* da distribuição de probabilidades do despacho das usinas de interesse. A figura indica que o cenário com maior probabilidade de ocorrência é aquele com despacho total ao longo dos 5 anos de aproximadamente 1140 MW médios para o parque gerador a gás natural do Rio de Janeiro.

PROJEÇÃO DE GERAÇÃO DO PARQUE TERMELÉTRICO DO RIO DE JANEIRO PARA O HORIZONTE DE 5 ANOS

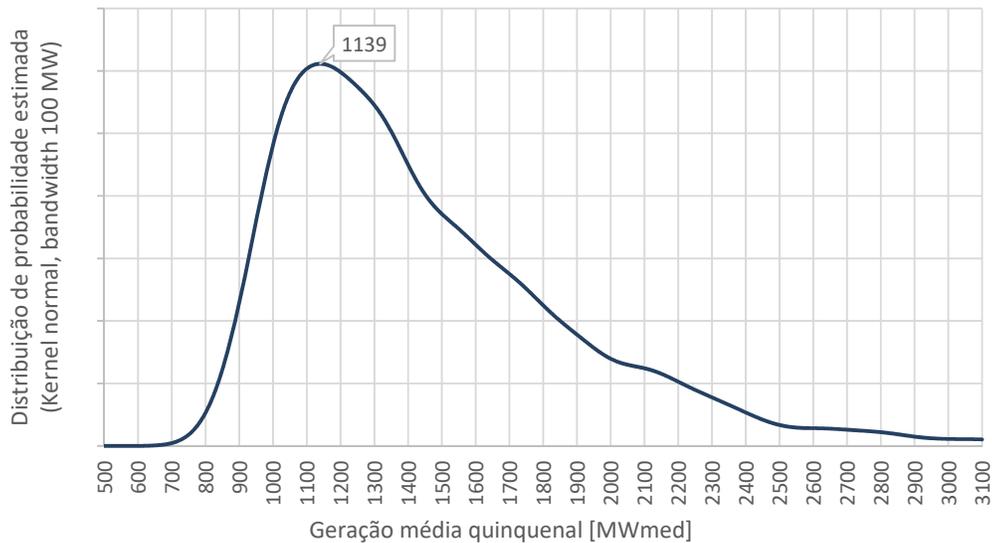


Figura 3-5 – Distribuição de densidade de probabilidade

A mesma conclusão é atingida quando se verifica o histograma dos cenários simulados, na Figura 3-6. A figura mostra que o maior número de observações está no intervalo de despacho termelétrico entre 1100 MWmédios e 1200 MWmédios, indicado na figura por “(1100,1200)”. Um outro cluster que também possui um número elevado de observações é o “(1000,1100)” que mostra que dentro dos 1200 cenários simulados, há uma grande concentração de cenários de despacho que variam de 1000 MWmédios a 1200 MWmédios. Observa-se que cenários de despacho termelétricos maiores existem dentro da simulação, porém com poucas ocorrências. Por exemplo, há apenas 20 ocorrências de despachos totais no período de 5 anos entre 2200 MWmédios e 2300 MWmédios.

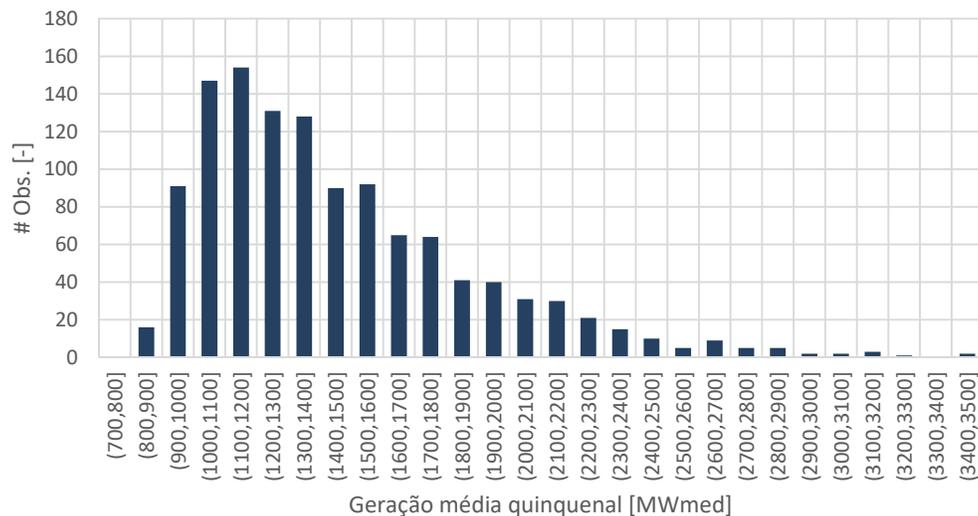


Figura 3-6 – Histograma dos cenários simulados

Calculando os percentis⁴ da amostra, mostrados na Tabela 3, e consultando os dados da Figura 3-5 e Figura 3-6, pode-se verificar que o percentil 25% do despacho aproxima-se da *moda* da distribuição de probabilidades.

Tabela 3 – Geração das usinas de interesse no período de 5 anos, expressos em MWmédios

Métrica	Geração das usinas de interesse no período de 5 anos [MWmed]
Percentil 25%	1135
Percentil 50%	1342
Percentil 75%	1677

Ressaltamos que, se o cenário hidrológico ao longo do intervalo futuro de 5 anos que interessa a esta análise for mais adverso que aquele correspondente ao percentil 25%, o despacho termelétrico pode ser mais elevado que aquele aqui selecionado. Selecionar um percentil mais elevado da amostra – por exemplo, o percentil 50% e o percentil 75% - reduziria a probabilidade de que fosse verificada, nos próximos 5 anos, geração total superior àquela tomada como referência. No entanto, as análises estatísticas mostram que o valor de despacho correspondente ao percentil 25% da amostra aproxima-se mais da *moda* (o valor mais provável) do despacho térmico. A definição de qual percentil utilizar, varia de acordo com o critério de escolha a ser utilizado. Enumeramos dois possíveis critérios abaixo:

- i) Critério 1: Definição do cenário de despacho considerando o valor de despacho acumulados ao longo dos 5 anos considerando o critério de escolha como sendo o cenário com maior probabilidade de ocorrência.
 - a. Escolha pelo valor do despacho acumulado no horizonte por esse critério é tomada considerando a curva de densidade de probabilidade. Esta nos mostra, dentro dos 1200 cenários simulados, qual o cenário com maior probabilidade de ocorrência. De acordo com os resultados mostrados ao longo do relatório, verificou-se que o percentil 25% é, dentre aqueles listados na Tabela 3, o que mais se aproxima do valor com maior probabilidade de ocorrência de acordo com a densidade de probabilidade.
- ii) Critério 2: Definição do cenário de despacho considerando o critério escolha como o cenário que resulta em probabilidades iguais de que ocorra um cenário de despacho inferior ao escolhido e de que ocorra um cenário de despacho superior ao escolhido.

⁴ Percentis são medidas que dividem a amostra ordenada (por ordem crescente dos dados) em 100 partes, cada uma com uma percentagem de dados aproximadamente igual.

- a. Para o critério descrito acima, o cenário de escolha é o referente ao percentil 50% (ou seja, a *mediana*), pois escolher o percentil 50% é considerar que há 50% de probabilidade da realização do despacho ser maior do que o valor do cenário escolhido, e que há 50% de probabilidade do despacho a ser realizado ser menor do que o valor estipulado na mediana. Ou seja, a escolha do cenário pelo percentil 50% se dá pelo critério de se considerar a mesma probabilidade de ter um cenário acima ou abaixo do estipulado.

A escolha pelo percentil 75% não corresponde a nenhuma medida de tendência central tal como as mostradas para os percentis 25% e 50%, dessa forma não se recomenda a sua utilização. Adicionalmente, como dito anteriormente, a escolha pelo percentil mais elevado da amostra – por exemplo, o percentil 75% - reduziria a probabilidade de que fosse verificada, nos próximos 5 anos, geração total superior àquela tomada como referência, ou seja, haveria apenas uma probabilidade de 25% do despacho realizado ao longo dos 5 anos ser superior àquele cenário de despacho tomado como referência (cenário percentil 75%). Destaca-se que escolha pelo percentil 75% é demasiadamente conservadora, considera um despacho mais agressivo ao longo dos anos e não deve ser utilizada pela métrica corresponder a nenhuma medida de tendência central.

Por fim, apresenta-se **Figura 3-7** a distribuição de probabilidade acumulada do somatório de despacho das usinas termelétricas do Rio de Janeiro ao longo dos 5 anos de horizonte estudados. Apresenta-se o despacho em forma fator de despacho em relação à potência disponível das usinas estudadas. Nesta figura, são destacados os fatores de despacho correspondentes aos dados apresentados (com os despachos correspondentes em MW médios) na Tabela 3.

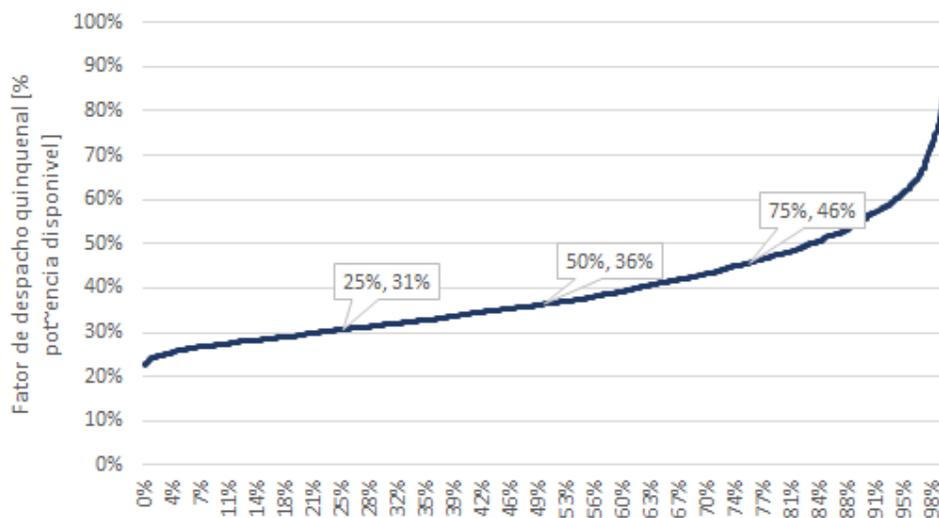


Figura 3-7 – Distribuição de probabilidade acumulada (curva de permanência)

4 CONCLUSÕES

Na seção anterior, mostrou-se que percentil 25% do despacho das usinas termelétricas de interesse no período de 5 anos entre 2018 e 2022 aproxima-se da *moda* da distribuição de probabilidades. Por este motivo, define-se como referência de projeção de despacho das usinas termelétricas de interesse o valor de 1135 MW médios, correspondente ao percentil 25% da amostra, já que este se aproxima do valor com maior probabilidade de ocorrência (ou seja, a *moda*) da variável de interesse. Este valor corresponde à consideração de um fator de despacho de 31% da potência disponível para o quinquênio 2018-2022.

Ressalta-se que a determinação de um cenário de despacho para um conjunto de termelétricas não é simples devido à incerteza sobre as vazões afluentes a usinas hidrelétricas do Sistema Interligado Nacional, e devido ao despacho termelétrico estar relacionado (mais propriamente falando, negativamente correlacionado) com estas vazões. Se o cenário hidrológico no futuro for mais adverso que aquele correspondente ao percentil 25%, o despacho termelétrico será mais elevado que aquele aqui selecionado. Selecionar um percentil mais elevado da amostra – por exemplo, o percentil 50% e o percentil 75% - reduziria a probabilidade de que fosse verificada, nos próximos 5 anos, geração total superior àquela tomada como referência. No entanto, as análises estatísticas mostram que o valor de despacho correspondente ao percentil 25% da amostra aproxima-se mais da *moda* (o valor mais provável) do despacho térmico.

5 BIBLIOGRAFIA

1. SHAPIRO, A., DENTCHEVA, D., RUSZCZYNSKI, A., Lectures on Stochastic Programming. Philadelphia, PA, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009.
2. ACERBI, C., TASCHE, D. Expected Shortfall: a natural coherent alternative to Value at Risk", arXiv, May 2001.
3. ROCKAFELLAR, R. T., URYASEV, S., "Optimization of Conditional Value-at-Risk", Journal of Risk, v. 2, pp. 21{41, 2000.
4. DINIZ, A.L., TCHEOU, M.P., MACIEIRA, M.E.P. Uma Abordagem Direta para Consideração do CVaR no Problema de Planejamento da Operação Hidrotérmica. XII SEPOPE – Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, Rio de Janeiro-RJ, maio de 2012.
5. COSTA, J.P., SHAPIRO, A., TEKAYA, W. Multistage energy planning - risk neutral and risk averse approaches. XII SEPOPE – Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, Rio de Janeiro-RJ, maio de 2012.
6. CPAMP, Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico (2013), Relatório Técnico – Desenvolvimento, implementação e testes de validação da metodologia para internalização do mecanismo de aversão ao risco CVaR no programa computacional DECOMP para estudos energéticos e formação de preço, Brasília
7. Site ONS: ons.org.br
8. Site PSR: psr-inc.com