

TRABALHO DE CONCLUSÃO  
DE CURSO

# **INFLUÊNCIA DAS VAZÕES DIÁRIAS NO CÁLCULO DE GARANTIA FÍSICA DE PCH'S**

**Elaborado por:**

**LEILA GABRIELA OLEINIK ROSA**

**Trabalho de Conclusão de Curso de  
MBA do Setor Elétrico**

***Prof. Orientador:***

**Fabiano Simões Coelho**

**Cidade  
Curitiba / 2017**

LEILA GABRIELA OLEINIK ROSA

INFLUÊNCIA DAS VAZÕES DIÁRIAS NO CÁLCULO DE GARANTIA FÍSICA  
DE PCH'S

Fabiano Simões Coelho, PhD

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso MBA do Setor  
Elétrico de Pós-Graduação *lato sensu*,  
Nível de Especialização, do Programa FGV  
Management como pré-requisito para a  
obtenção do título de Especialista TURMA  
MBA-SE 1/15

Curitiba - PR  
2017

---

---

O Trabalho de Conclusão de Curso

INFLUÊNCIA DAS VAZÕES DIÁRIAS NO CÁLCULO DE GARANTIA FÍSICA  
DE PCH'S

elaborado por Leila Gabriela Oleinik Rosa e aprovado pela Coordenação Acadêmica foi aceito como pré-requisito para a obtenção do MBA do Setor Elétrico Curso de Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, do Programa FGV Management.

Data da aprovação: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

---

Coordenador Acadêmico  
Prof. Fabiano Simões Coelho, Ph.D.

---

Professor orientador  
Prof. \_\_\_\_\_

---

*Dedicatória (opcional)*

## Agradecimientos (opcional)

---

Declaração (opção 1, caso de empresa privada)  
**DECLARAÇÃO**

A Empresa .....,  
representada neste documento pelo Sr (a).....,  
(cargo)....., autoriza a divulgação de  
informações e dados coletados em sua organização, na elaboração do  
Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado:  
.....  
..... realizado pelo aluno  
....., do  
Curso.....do programa  
FGV Management, com objetivos de publicação e / ou divulgação em  
veículos acadêmicos.

....., de, ..... de 20\_\_ \_\_

(assinatura)

(cargo)

(Nome da Empresa)

---

---

Declaração (opção 2, caso de empresa S.A. com informações públicas)

DECLARAÇÃO

Declaro que os dados utilizados neste Trabalho de Conclusão de Curso referentes à Empresa ....., foram obtidos a partir da divulgação da própria empresa em fontes publicamente disponíveis. Além disso, este trabalho é de cunho estritamente acadêmico, não servindo de base para quaisquer tomadas de decisão econômica por parte de seu usuário.

....., de, ..... de 20\_\_ \_\_

(assinatura)

(Nome do aluno)

---

**TERMO DE COMPROMISSO**

A aluna Leila Gabriela Oleinik Rosa, abaixo-assinado, do Curso MBA do Setor Elétrico do Programa FGV Management, realizado nas dependências da instituição conveniada ISAE, no período de julho de 2015 a julho de 2017, declara que o conteúdo do trabalho de conclusão de curso intitulado: Influência das vazões diárias no cálculo de garantia física, é autêntico, original, e de sua autoria exclusiva.

Curitiba, 01 de junho de 2017

(assinatura)

Leila Gabriela Oleinik Rosa

---



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correlação entre as séries de ENA dos Subsistemas .....	26
Tabela 2 – Dados das Usinas Hidrelétricas selecionada para este estudo .....	35
Tabela 3 – Séries de vazões mensais versus diárias.....	40
Tabela 4 – Energias medias das PCH selecionadas para este estudo .....	48

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 – Evolução da capacidade por fonte de geração .....	19
Gráfico 2 – Energia Natural Afluente dos Subsistemas (MWmédios).....	25
Gráfico 3 – Comparação das séries médias mensais e diárias da UHE Guaporé em m <sup>3</sup> /s .....	37
Gráfico 4 – Comparação das séries médias mensais e diárias da PCH Mateus José .....	38
Gráfico 5 – Comparação das séries médias mensais e diárias da PCH Itaguajé.....	39
Gráfico 6 – Comparação das séries médias mensais e diárias da UHE Monte Claro .....	40
Gráfico 7 – Produção de energia mensal e vazão mínima turbinada da PCH Nova Guaporé .....	43
Gráfico 8 – Produção de energia diária e vazão mínima turbinada da PCH Nova Guaporé .....	43
Gráfico 9 – Produção de energia mensal e vazão mínima turbinada da PCH Mateus José.....	44
Gráfico 10 – Produção de energia diária e vazão mínima turbinada da PCH Mateus José.....	45
Gráfico 11 – Produção de energia mensal e vazão mínima turbinada da PCH Itaguajé.....	46
Gráfico 12 – Produção de energia diária e vazão mínima turbinada da PCH Itaguajé .....	46
Gráfico 13 – Produção de energia mensal e vazão mínima turbinada da PCH Jararaca .....	47
Gráfico 14 – Produção de energia diária e vazão mínima turbinada da PCH Jararaca .....	48

---

**LISTA DE FIGURAS**

Figure 1 – Variação do PIB e Variação do Consumo de Energia.....	16
Figure 2 – Consumo de energia elétrica per capita no ano de 2007 .....	17
Figura 3 – Renewables Medium Term Market Forecast 2016.....	18
Figura 4 – Mapa do Sistema Nacional Interligado.....	21
Figura 5 – Mapa das Bacias Hidrográficas.....	23
Figura 6 – Energia Natural Afluyente das maiores Bacias (MW médios).....	24
Figura 7 – Representação do processo de alocação de energia para cobertura de garantia física .....	32
Figura 8 – Localização e Potência Instalada das UHE's selecionadas para este estudo.....	34

---

---

**SUMÁRIO**

1	Introdução .....	14
2	Referencial teórico .....	16
2.1	Matriz Energética.....	17
2.2	Características do Sistema Interligado Nacional .....	20
2.3	Hidrologia.....	22
2.3.1	Comportamento das Bacias hidrográficas.....	22
2.3.2	Séries de Vazões Históricas.....	26
2.4	Garantia Física de uma PCH .....	28
2.5	Mecanismo de Realocação de Energia .....	32
3	Estudo de caso.....	34
3.1	Dados selecionados .....	34
3.2	Série de vazões médias mensais e diárias .....	36
4	Análise .....	42
4.1	Energia média diária e média mensal.....	42
5	Conclusão.....	50
6	Bibliografia.....	52

---

## RESUMO

O principal objetivo deste trabalho é analisar a influência das séries históricas de vazões médias diárias sobre o cálculo de garantia física das Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH, que de acordo com a Portaria nº 463 de 3 de dezembro de 2009, o cálculo de garantia física deverá utilizar uma série de vazões médias mensais. Para tanto, é necessário entender o conceito de garantia física de uma PCH que é a máxima produção de energia que pode ser mantida quase que continuamente pelas usinas hidrelétricas ao longo dos anos, e também é necessário entender as diferenças entre a série de vazões média mensal e a diária, esta última tende a ser mais real pois não oculta valores extremos. Tendo isso em vista, justifica-se uma avaliação da influência das séries de vazões médias diárias que afetam o resultado do cálculo de garantia física com o objetivo de ter-se um valor o mais próximo possível do real, e com isso contribuir com a segurança do sistema interligado nacional.

---

# 1 Introdução

A Garantia Física de uma usina hidrelétrica, definida no Decreto nº 5.163/04, é a máxima produção de energia que pode ser mantida quase que continuamente ao longo dos anos. Atualmente, a Portaria Nº 463/2009 do Ministério de Minas e Energia é que define a metodologia de cálculo da Garantia Física das usinas hidrelétricas não despachadas centralizadamente. O montante de garantia física de energia, solicitado em dita Portaria, é calculado considerando as características técnicas do empreendimento e uma série de vazões médias mensais, englobando no mínimo os últimos 30 anos.

De acordo com o Ministério de Minas e Energia 68% da produção total de energia no país provem das hidrelétricas. Tendo isso, a determinação da garantia física ganha importância no setor elétrico, pois será responsável pela segurança e irá determinar o planejamento energético do país. Com isso, é importante que os valores de garantia física representem valores mais próximos dos reais.

De acordo com Pinto (2014, A Garantia Física das Usinas Brasileiras) existe uma diferença entre a geração efetivamente realizada e destinada como Garantia Física e a calculada e protocolada nos Despachos, sendo a realizada sistematicamente inferior à prevista. Isso se deve as incertezas e variações inerentes ligadas a obtenção das séries de vazões médias mensais.

A série de vazões médias mensais dos últimos 30 anos, estabelecida na Portaria Nº463/2009, é na realidade uma estimativa da média populacional. Espera-se que dados os 30 anos ou mais, o comportamento médio se repita nos próximos 30 anos, e tal comportamento pode não ser observado. Com isso, a representatividade da geração média pela série de vazões médias mensais é questionada, pois para Moreno (2016) o uso da série de vazões em médias mensais oculta valores extremos, tais como as vazões abaixo da vazão mínima operativa da turbina.

Em contrapartida, a série de vazões médias diárias diminuiriam as incertezas tendo em vista que não ocultariam os valores extremos máximos e mínimos, pois quanto maior o tamanho da amostra, menor o erro cometido.

A metodologia de cálculo das Garantias Físicas das Pequenas Centrais Hidrelétricas deverá ser modificada, visto que foi publicada a Portaria Nº 376 de 05 de agosto de 2015, onde resolve instituir um grupo de trabalho com o objetivo de analisar e propor aprimoramentos à metodologia de cálculo e de revisão da Garantia Física das usinas não despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. Porém

---

de acordo com dita portaria o grupo de trabalho, composto por representantes da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL e do Ministério de Minas e Energia – MME deveria concluir os estudos em 31 de março de 2016, e isso não ocorreu.

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa visa analisar a diferença entre as séries de vazões médias diárias e as séries de vazões médias mensais. Para isso, será feito um estudo de caso em quatro Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH localizadas em bacias hidrográficas com comportamentos hidrológicos distintos entre si. A análise é fundamental pois influencia diretamente no resultado da Garantia Física das PCH's. O estudo se fará comparação das séries de vazões médias mensais com as séries de vazões médias diárias, e em seguida compara a geração de energia utilizando as séries de vazões mensais com a série de vazões diárias, destacando os valores mínimos observados em ambas às séries de vazões e comparados com as vazões mínimas turbinadas de cada PCH, observando assim pontos de geração nula.

Para um melhor entendimento deste estudo, este Trabalho de Conclusão de Curso – TCC fará apanhado teórico sobre a matriz energética brasileira, a grande participação da fonte hídrica no Sistema Interligado Nacional, da diversidade no comportamento hidrológico das bacias hidrográficas do país e também da complementariedade parcial dos volumes de energias afluentes naturais entre os subsistemas. Na sequência, apresenta-se os conceitos e cálculos para a obtenção das séries de vazões médias mensais e diárias das PCH's selecionadas, e as suas diferenças no âmbito de amostra populacional. E por último, antes do estudo de caso, descrevem-se os parâmetros energéticos que englobam cálculo de garantia física das PCH's estabelecidos na Portaria Nº 463/2009.

Vale lembrar que todos os dados utilizados neste estudo foram obtidos no próprio website da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, e com isso são de domínio público.

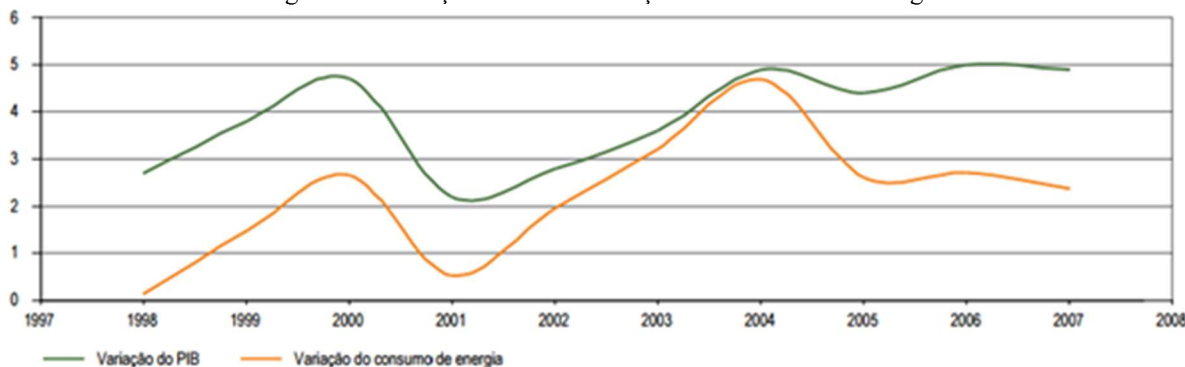
---

## 2 Referencial teórico

A atividade econômica de um país está altamente correlacionada com a demanda energética através da metodologia do índice Produto Interna Bruto, principalmente nos países em desenvolvimento como mostra a Figura 1 abaixo.

Na série produzida pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, a economia mundial apresenta um histórico com alta expansão representada pelo crescimento do PIB de cerca de 1,3% pontos percentuais nos anos de 2003 a 2007, partindo de 3,6% em 2003 para 4,9% em 2007, atingindo 5% em 2006.

Figura 1 – Variação do PIB e Variação do Consumo de Energia



Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil - ANEEL.

No entanto, de acordo com o IPEA (2008, Parte I Energia no Brasil e no mundo), no final de 2007 e 2008 as tendências de crescimento do PIB e de consumo de energia não estão bem definidas e nem muito claras devido ao comportamento dos setores produtivos após a crise que afetou boa parte dos países no mundo.

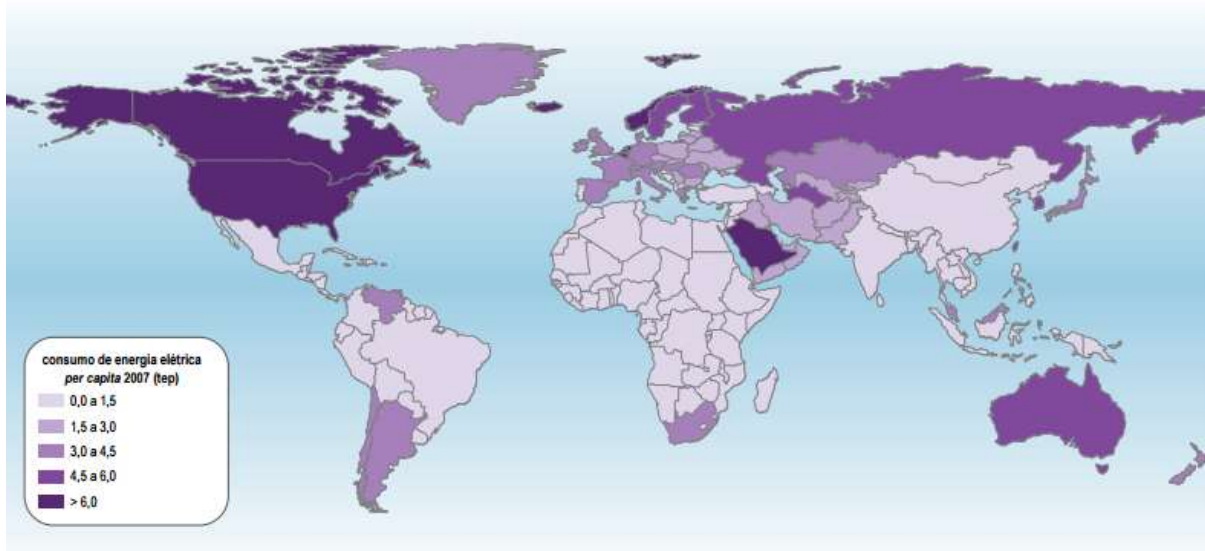
De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2016, Atlas de Energia Elétrica do Brasil, Parte I – Capítulo 2 Consumo):

“A dimensão dos problemas ainda não está suficientemente para permitir projeções mais específicas sobre o nível de atividade econômica e o comportamento do consumo de energia. Os 30 países desenvolvidos que compõem a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) são, historicamente, os maiores consumidores mundiais de energia. Sua participação no total mundial, porém, tem recuado ao longo do tempo. Já nos países em desenvolvimento, a participação relativa, ainda que em alguns casos seja pouco expressiva, como na América Latina, registrou aumento acumulado superior a 100% nas últimas três décadas.”



A Figura 2 mostra os diferentes volumes de consumo de energia primária per capita nas diversas regiões do mundo.

Figura 2 – Consumo de energia elétrica per capita no ano de 2007



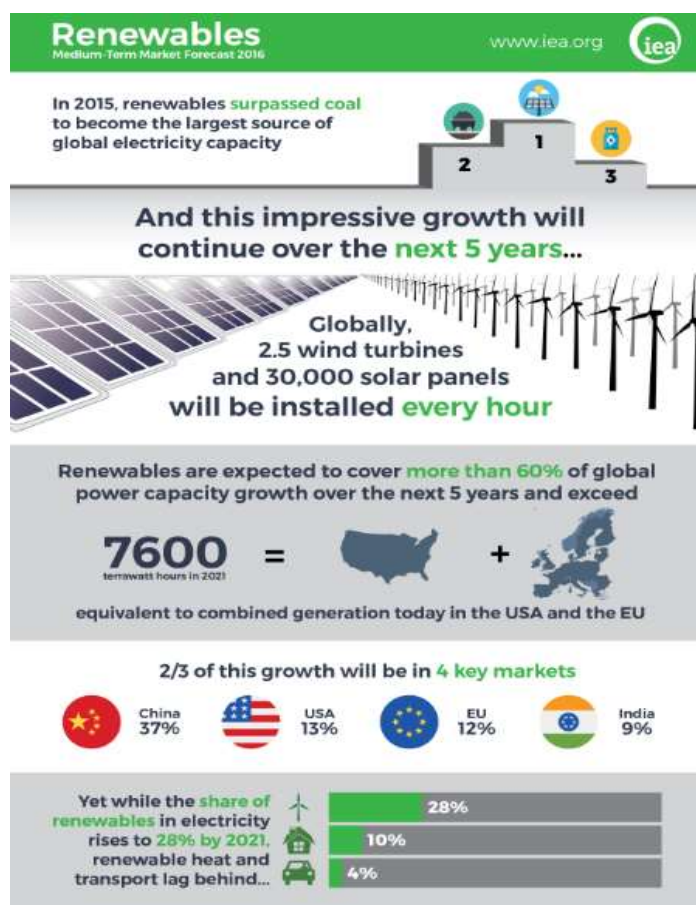
Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil - ANEEL.

De acordo com Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2017, Plano Nacional de Energia 2050 – PNE 2050), o Brasil irá crescer mais que o mundo, entorno de 3,6% a 4,0% ao ano no período de 2013 a 2020, enquanto que o mundo irá crescer cerca de 3,8% a.a. Já para o período de 2021 a 2030 o Brasil irá crescer cerca de 4,1% a 4,5% a.a, e o mundo atingirá cerca de 3,2% de taxa de crescimento do PIB ao ano. Isto resultará em crescimento no consumo de energia elétrica no Brasil e para isso o setor elétrico necessita de planejamento eficiente e eficaz para atender a população considerando os três pilares: a garantia da segurança do suprimento, a modicidade tarifária e a universalização do acesso à energia elétrica.

## 2.1 Matriz Energética

A matriz energética mundial está passando por grandes mudanças. Hoje, a utilização de energia renovável no mundo aumentou, e essa tendência deve continuar como mostra a Figura 3 “Renewables Medium-Term Market Forecast 2016”, publicado pela International Energy Agency – IEA.

Figura 3 – Renewables Medium Term Market Forecast 2016



Fonte: International Energy Agency – IEA, 2016.

No entanto, de acordo com o IEA a participação e expansão na matriz energética dos combustíveis fósseis ainda é grande em muitos países devido principalmente as características da região de cada país, aos recursos naturais disponíveis em cada país, e também ao consumo e PIB de cada região.

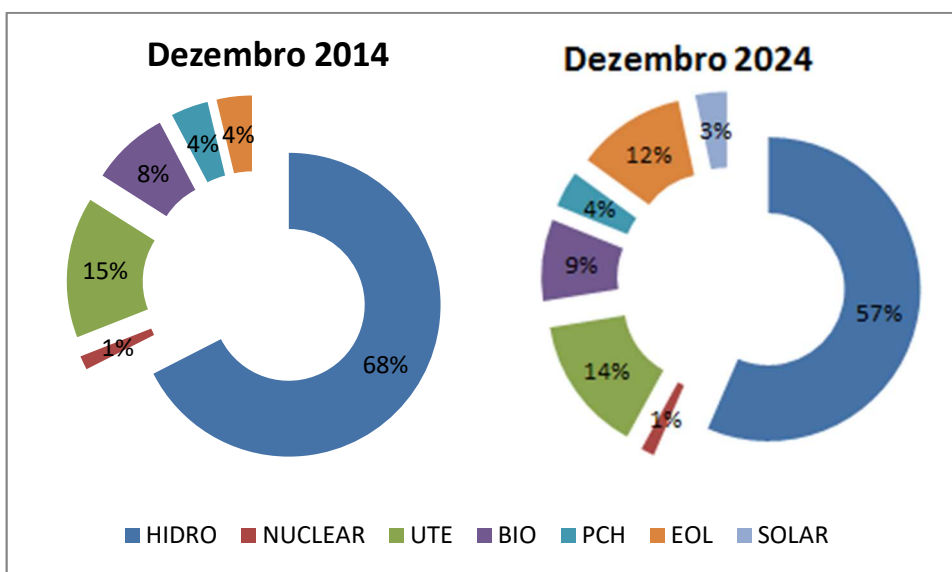
No Brasil, a expansão do setor elétrico como um todo, geração, transmissão, distribuição e comercialização, é diretamente relacionada ao crescimento econômico, e o seu planejamento tornou-se público de fato com a primeira publicação do Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica realizada em 2006, que engloba a expansão até 2015. Para a realização de tal plano, durante o ano de 2005, o Ministério de Minas e Energia – MME priorizou a realização de estudos tendo como objetivo o planejamento do Plano Decenal e também o Plano Nacional de Energia e da Matriz Energética Nacional com horizonte de planejamento até o ano de 2030, e com isso criou a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, que é a responsável por elaborar ditos

planos de expansão. A partir de 2006, todo ano a EPE publica o Plano Decenal atualizado, e o ultimo publicado até o momento corresponde a 2015-2024. Vale lembrar que estes documentos consideram as definições do Novo Modelo Institucional (2004) e orienta as principais ações e decisões a serem tomadas para um crescimento econômico, seguro e sustentável.

O Plano Decenal de Expansão informa expansão do parque gerador que, de acordo com o novo Modelo Institucional do Setor Elétrico, são os agentes de distribuição, tanto privados como públicos, que informam suas demandas que necessitam ser supridas. Essa demanda é ofertada através de leilões de energias que estão estabelecidos na legislação nacional (Lei 10.848, de 15 de março de 2004), onde são denominados de leilões de A-3 e A-5.

A expansão do parque gerador brasileiro sempre se destacou por incentivar fontes renováveis e com isso possui uma matriz energética limpa. As projeções para a matriz energética informada no último PDE 2024, apresentado no Gráfico 1, mostra um crescimento das fontes renováveis.

Gráfico 1 – Evolução da capacidade por fonte de geração



Fonte: Plano Decenal de Expansão 2015-2024 – EPE, 2017.

O crescimento de fontes renováveis na matriz energética brasileira é devido principalmente à implantação de muitos parques eólicos, chegando a 11,6% da capacidade total do sistema em 2024, como mostrado na Gráfico 1. Outra fonte que será destaque daqui para frente, é a solar que contribuirá com 3,3% na matriz. As demais fontes terão aumento de menos

de 1%. E por último, vemos que as hidrelétricas terão sua contribuição reduzida em 10,9% na matriz energética.

Tanto o crescimento das fontes intermitentes como a redução da implantação de novas hidrelétricas vem sendo estudado e bastante comentado no setor elétrico, pois traz grande preocupação e pouca confiabilidade na operação do sistema. A preocupação cresce, pois, a previsão de capacidade de armazenamento dos reservatórios vem diminuindo e não acompanha o crescimento da capacidade instalada das usinas. De acordo com APINE (2017, Reservatórios: queda nos estoques):

“A água armazenada nos reservatórios de todo o país seria suficiente para abastecer o Brasil com energia elétrica por pouco mais de cinco meses, numa ausência total de chuvas e considerando esses reservatórios cheios. A capacidade total de armazenamento no país atualmente é de 280 mil MW médios, ou seja, comporta entre cinco e seis vezes a carga do Sistema Interligado Nacional. Isso, levando-se em consideração também a não utilização de nenhuma outra forma de geração. Há pouco tempo atrás, esses reservatórios eram plurianuais e conseguiam abastecer o país com energia mesmo por um longo período de seca.”

De acordo com a Da Silva (2017, Análise da atual metodologia de cálculo e de revisão da Garantia Física de Centrais Hidrelétricas não despachadas centralizadamente no Sistema Interligado Nacional):

“Com uma matriz elétrica onde predominam-se as hidrelétricas, com participação maior que 60% (ANEEL, 2016), os montantes de GF de tais empreendimentos têm um papel importante nas tomadas de decisões no Setor. Porém, uma vez que se utiliza a vazão no cálculo da GF, há grandes incertezas e variações inerentes a esta medida que dificultam o cálculo de um valor que corresponda à geração do empreendimento.”

Isso nos remete a necessidade da busca por confiabilidade e segurança do Sistema Interligado Nacional – SIN.

## **2.2 Características do Sistema Interligado Nacional**

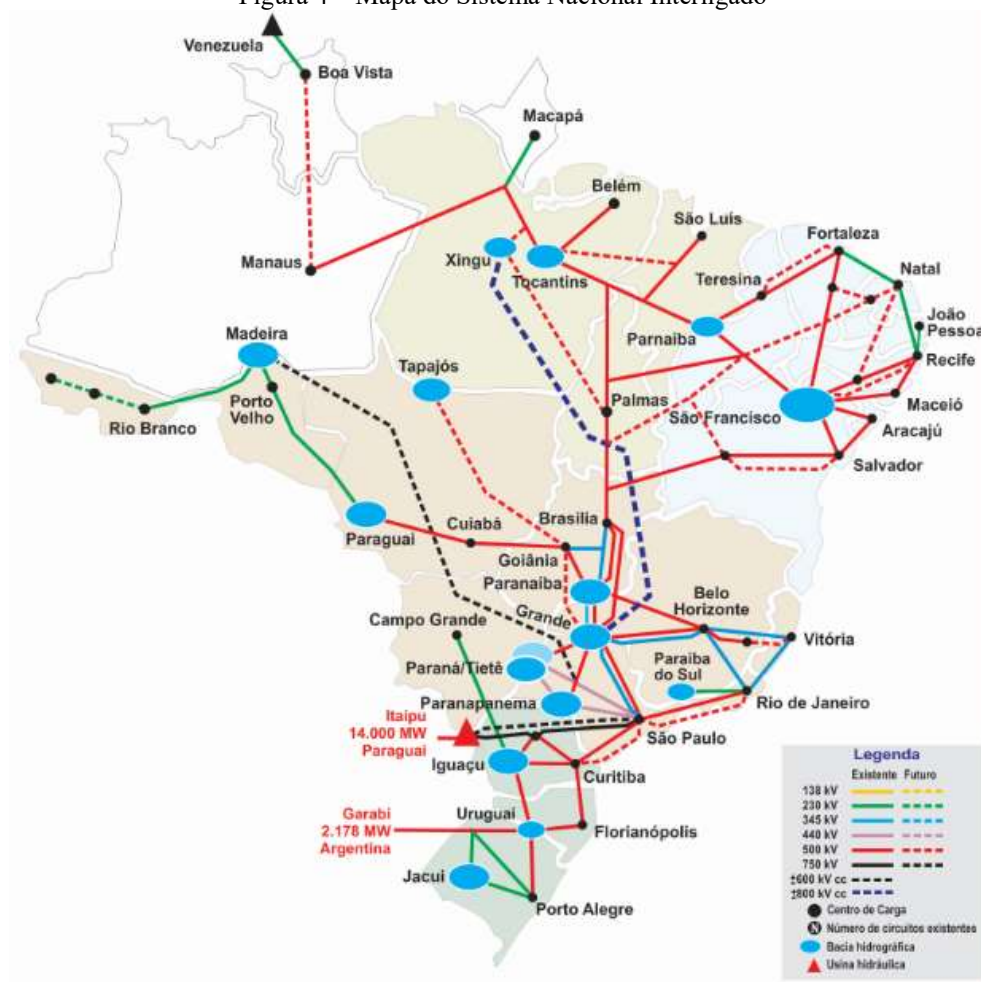
De acordo com o ONS, o Brasil possui um sistema de produção e transmissão de energia elétrica que é interligado e chamado de Sistema Interligado Nacional – SIN. Este é constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte.

Cada subsistema apresenta características distintas como o comportamento hidrológico, produção de energia, consumo e transmissão. O Operador Nacional do Sistema informa em seu site que:

“A capacidade instalada de geração do SIN é composta, principalmente, por usinas hidrelétricas distribuídas em dezesseis bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país. Nos últimos anos, a instalação de usinas eólicas, principalmente nas regiões Nordeste e Sul, apresentou um forte crescimento, aumentando a importância dessa geração para o atendimento do mercado. As usinas térmicas, em geral localizadas nas proximidades dos principais centros de carga, desempenham papel estratégico relevante, pois contribuem para a segurança do SIN. Essas usinas são despachadas em função das condições hidrológicas vigentes, permitindo a gestão dos estoques de água armazenada nos reservatórios das usinas hidrelétricas, para assegurar o atendimento futuro. Os sistemas de transmissão integram as diferentes fontes de produção de energia e possibilitam o suprimento do mercado consumidor.”

A Figura 4 apresenta a divisão e localização dos subsistemas

Figura 4 – Mapa do Sistema Nacional Interligado



FONTE: ONS, 2017

No Brasil, de acordo com o ONS, pratica-se uma divisão com relação ao tipo de usinas hidrelétricas, que são classificadas de acordo com a sua capacidade instalada:

- Micro-usina Hidrelétrica: usinas hidrelétricas com capacidade instalada até 3 MW;
- Pequena Central Hidrelétrica – PCH: geram entre 3MW até 30MW, com área do reservatório não superior a 13Km<sup>2</sup>;
- Usina Hidrelétrica – UHE: com capacidade instalada acima de 30MW e/ou com reservatório maiores que 13Km<sup>2</sup>.

Esta categorização, definida pelo ONS, dos aproveitamentos hidrelétricos identifica o tipo de processos de autorização/concessão dos empreendimentos, tipo de despacho centralizado ou não e metodologia de cálculo da garantia física.

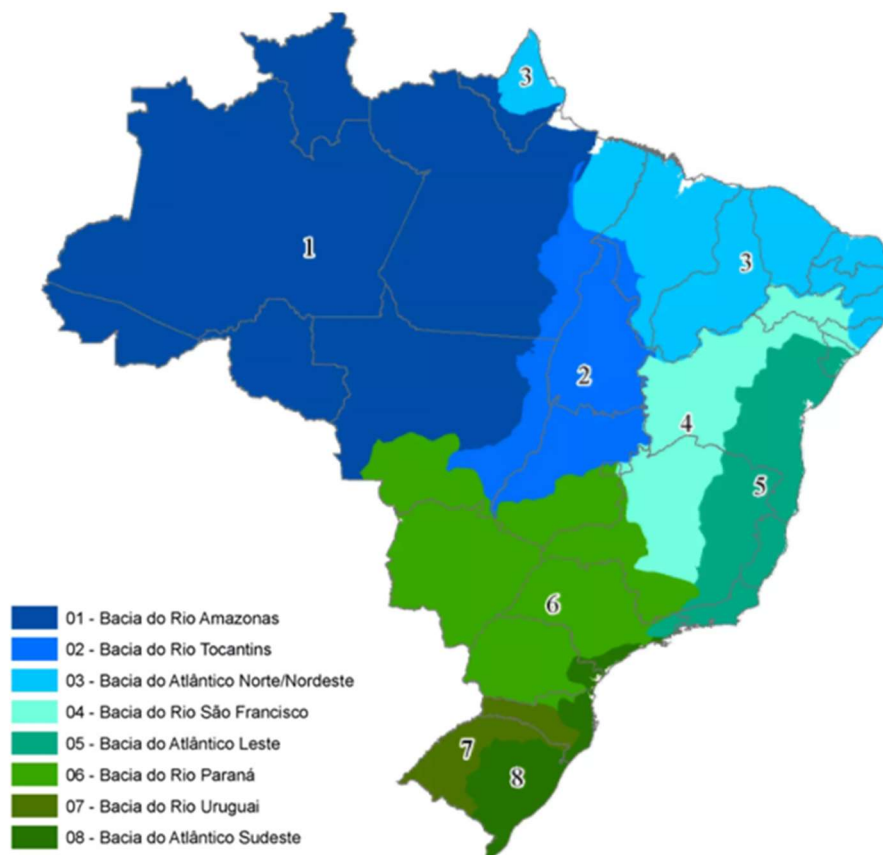
O foco deste estudo engloba apenas a metodologia das Pequenas Centrais Hidrelétricas, que é determinada pela Portaria N° 463.

## 2.3 Hidrologia

### 2.3.1 Comportamento das Bacias hidrográficas

O Brasil possui grande disponibilidade de água-doce. Conforme orienta a Resolução CNRH nº 32, de 15 de outubro de 2003, o país possui 12 bacias hidrográficas distribuídas pelo território nacional, que são: Amazônica, Tocantins Araguaia, Atlântico NE Ocidental, Atlântico NE Oriental, Parnaíba, São Francisco, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Paraná, Paraguai, Uruguai e Atlântico Sul. Já a Agência Nacional de Águas – ANA apresenta apenas 8 bacias. A Figura 5 mostra a localização das bacias e seus nomes:

Figura 5 – Mapa das Bacias Hidrográficas



FONTE: ANA,2017

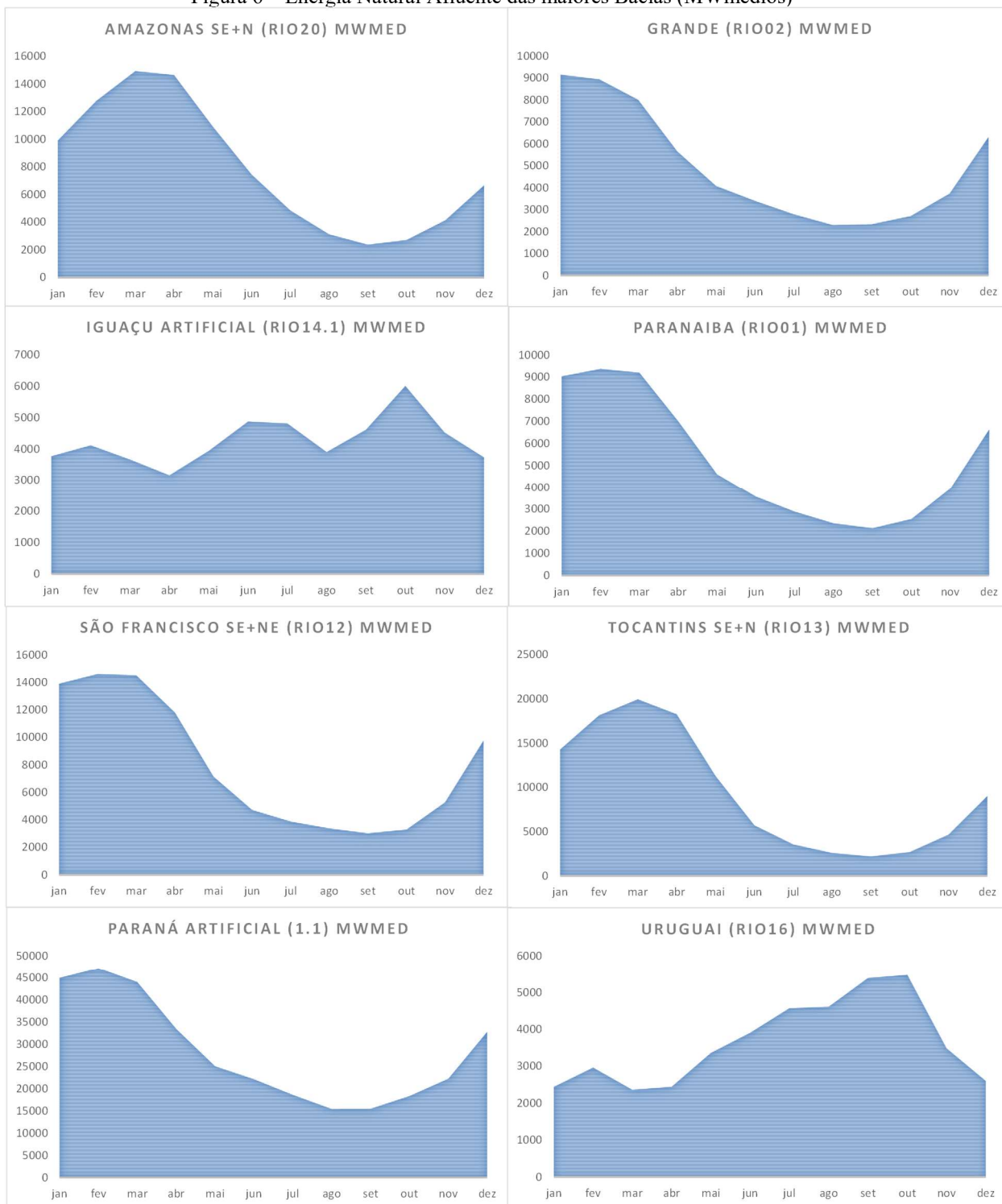
Devido a sua extensão, o Brasil engloba em suas bacias hidrográficas comportamentos distintos entre elas. Para apresentar os comportamentos das bacias hidrográficas do presente estudo, utilizaram-se os valores de Energias Naturais Afluentes – ENA dos subsistemas que estão disponíveis no site do Operador Nacional do Sistema – ONS.

De acordo com ONS (2017, site ONS):

“A obtenção das Energias Naturais Afluentes foi feita considerando a configuração de aproveitamentos atual, e passou-se a considerar os novos parâmetros obtidos da revisão extraordinária da garantia física da UHE Salto Santiago, no subsistema Sul, localizada na bacia do rio Iguçu. Devido a esta alteração, foram obtidas novas médias de longo termo (período 1931 a 2015) das Energias Naturais Afluentes para o subsistema Sul. Os novos valores foram incorporados aos processos relativos ao PMO de maio de 2017. Em razão da dependência que os valores de MLT de Energia Natural Afluente guardam em relação à série histórica de vazões naturais e à configuração de usinas hidrelétricas, sempre que ocorrer uma nova atualização das séries de vazões naturais ou uma alteração de configuração, com a entrada em operação das máquinas de base de algum aproveitamento, as informações apresentadas estarão sendo revistas e atualizadas, bem como devidamente divulgadas.”

A Figura 6 mostra o comportamento das maiores bacias hidrológicas e rios do país. Já o Gráfico 2 apresenta um comparativo das Energias Naturais Afluentes – ENA por subsistemas.

Figura 6 – Energia Natural Afluente das maiores Bacias (MW médios)



FONTE: ONS, 2017

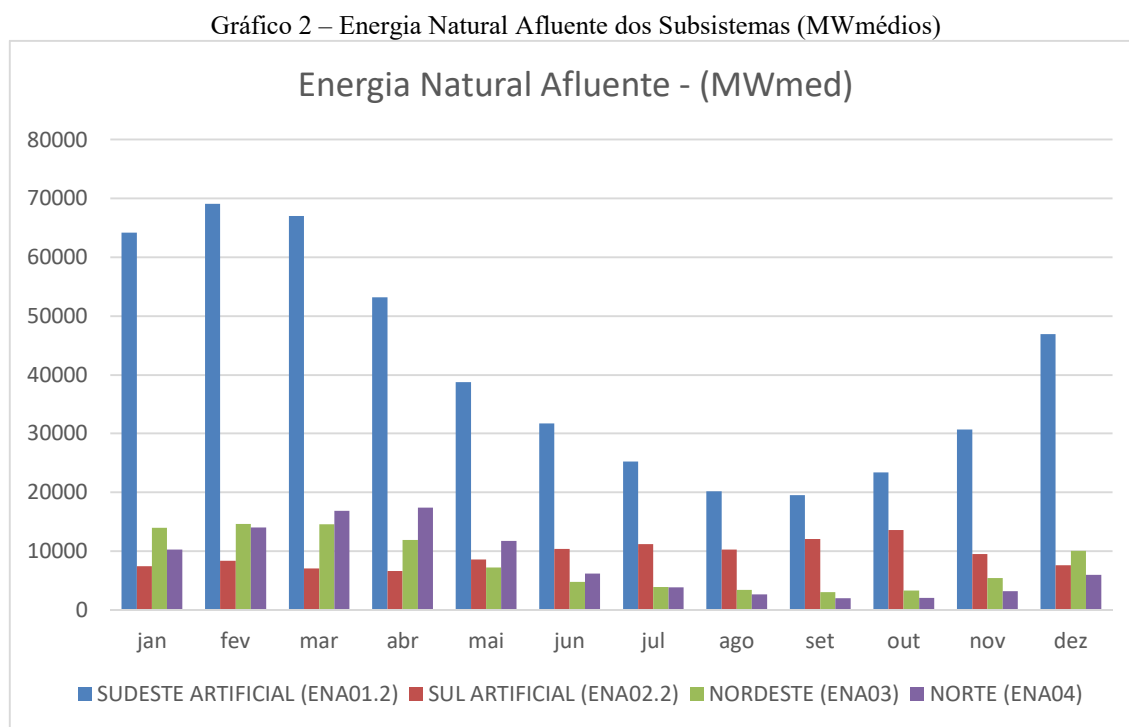


Pode-se observar que as bacias apresentadas possuem comportamentos similares, com exceção das bacias Uruguai e Iguaçu. As bacias de Amazonas, Grande, Paranaíba, São Francisco, Tocantins e Paraná possuem períodos de cheia e seca bem demarcados. Começa o período húmido nos meses de novembro e dezembro, e finalizando em abril e maio. Já as bacias de Uruguai e Iguaçu não possuem períodos demarcados com início e fim no ciclo anual.

Os picos (maior ENA) variam de nove mil MWmédios a vinte mil MWmédios, com exceção da bacia do Paraná que atinge cerca de cinquenta mil MWmédios no mês de fevereiro.

Os valores mínimos de ENA, importantes para determinar a segurança do sistema como um todo, não supera o valor de dois mil MWmédios nas bacias selecionadas para este estudo. A título de curiosidade a bacia de Mucuri apresenta o menor mínimo entre as bacias hidrográficas, e chega a vinte MWmédios no mês de setembro.

O Gráfico 2 apresenta as Energias Naturais Afluentes em MW médios dos quatro subsistemas: Norte, Nordeste, Sudeste/CO e Sul.



FONTE: ONS, 2017

Como dito anteriormente, as bacias hidrográficas possuem comportamentos distintos e pôde-se observar na Figura 5 e no Gráfico 2. Além disso, sabe-se que existe

complementariedade parcial dos volumes de energias afluentes naturais entre os subsistemas durante o período anual.

A Tabela 1 mostra a correlação entre os subsistemas.

Tabela 1 – Correlação entre as séries de ENA dos Subsistemas

Correlação	SUDESTE (ENA01.2)	SUL (ENA02.2)	NORDESTE (ENA03)	NORTE (ENA04)
SUDESTE (ENA01.2)	1,00000	-0,16644	0,86404	0,81577
SUL (ENA02.2)	-0,16644	1,00000	-0,38552	-0,35375
NORDESTE (ENA03)	0,86404	-0,38552	1,00000	0,81369
NORTE (ENA04)	0,81577	-0,35375	0,81369	1,00000

FONTE: ONS, 2017

Nota-se que os subsistemas Norte e Nordeste possuem correlação alta, junto com o subsistema Sudeste. No entanto, como já é de conhecimento, o subsistema sul não possui correlação com nenhum dos subsistemas.

### 2.3.2 Séries de Vazões Históricas

Entende-se por vazão natural a vazão ou o volume de água que passa por uma determinada seção do rio por unidade de tempo, e esta é expressa em m<sup>3</sup>/s. A vazão é influenciada por outras variáveis como profundidade, largura e velocidade do fluxo do rio, e também por características de temperatura, declividade e umidade da região. A nascente de um rio ocorre em locais de maior altitude e com isso, a vazão tende a aumentar para jusante até sua foz, de acordo com o NOS (2017, Séries Históricas de Vazões).

A série histórica de vazões nada mais é que um histórico de medições que são feitas diariamente ao longo de um determinado período. Este histórico apresenta características e o comportamento de cada rio/região como valores médios, mínimos máximos, desvio padrão, assimetria e outros parâmetros estatísticos que nos auxiliam em avaliações do potencial energético do rio.

Como este estudo tem o objetivo de comparar séries de vazões médias mensais com médias diárias, foram utilizadas as séries históricas de vazões médias diárias e mensais das Usinas Hidrelétricas – UHE disponíveis no site do ONS, por serem dados já consistidos e por terem um período longo. Caso contrário séries históricas de vazões médias tanto diárias como mensais, deveriam ser obtidas, por exemplo, da Agencia Nacional de Aguas através de postos fluviométricos. Estes por sua vez possuem dados consistidos e não consistidos.

De acordo com o Operador Nacional do Sistema (ONS, site 2017), as séries de vazões naturais das UHE's são provenientes de trabalhos de consistência hidrológica coordenados pelo ONS, com a participação da ANEEL, ANA, MME, EPE e dos Agentes de Geração.

Segundo Tucci (2009), seria difícil cobrir completamente a hidrografia, o que faz necessário avaliar a importância dos métodos que permitam a obtenção das informações faltantes.

De acordo com Wolf (2013, Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o Estado de São Paulo):

“A regionalização de vazões é uma técnica que permite transferir informação entre bacias hidrográficas semelhantes, a fim de calcular, em sítios que não dispõem de dados, as variáveis fluviométricas de interesse; de tal modo, a mesma caracteriza-se por ser uma ferramenta útil na obtenção de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, instrumento previsto na Lei 9433/97.”

Um dos métodos mais difundidos para a regionalização de vazões é o método tradicional, o qual é descrito pela ELETROBRÁS (1985) e que consiste nas seguintes etapas: identificação de regiões hidrológicamente homogêneas e no ajuste de equações de regressão entre as diferentes variáveis a serem regionalizadas e as características físicas e climáticas das bacias de drenagem para cada região homogênea (Amorim, 2005).

Com isso, para obter as séries de vazões médias mensais e diárias de um aproveitamento hidrelétrico considerando as vazões já consistidas das UHE's, este estudo considera a metodologia de regionalização das vazões tradicional, que consiste em transferir as vazões por área de drenagem, válido somente devido à proximidade entre os aproveitamentos e respeitando a mesma bacia e se possível o mesmo rio. A Equação 1 abaixo representa a regionalização das vazões.

$$Q_{PCH} = (A_{PCH} / A_{UHE}) \times Q_{UHE} \quad (1)$$

Sendo:

$Q_{PCH}$  = vazão afluente da PCH analisada;

$Q_{UHE}$  = vazão afluente da UHE disponibilizada pelo ONS;

$A_{PCH}$  = área de drenagem da PCH analisada;

$A_{UHE}$  = área de drenagem da UHE disponibilizada pelo ONS.

## 2.4 Garantia Física de uma PCH

De acordo com ANEEL (2005, Cadernos Temáticos Aneel – Energia Assegurada) elaborado em abril de 2005, traz o conceito de Energia Assegurada, e diz:

“A energia assegurada do sistema elétrico brasileiro é a máxima produção de energia que pode ser mantida quase que continuamente pelas usinas hidrelétricas ao longo dos anos, simulando a ocorrência de cada uma das milhares de possibilidades de sequências de vazões criadas estatisticamente, admitindo certo risco de não atendimento à carga, ou seja, em determinado percentual dos anos simulados, permite-se que haja racionamento dentro de um limite considerado aceitável pelo sistema. Na regulamentação atual, esse risco é de 5%.”

Em 18 de novembro de 2004 no §2º do Art. 1º da portaria MME nº 303 recomenda unificar a nomenclatura por meio da substituição do termo “Energia Assegurada” pelo termo “Garantia Física”.

A definição de garantia física no Decreto nº 5163/2004, Art 2º no seu §2º e diz:

“A garantia física de energia e potência de um empreendimento de geração, a ser definida pelo Ministério de Minas e Energia e constante do contrato de concessão ou ato de autorização, corresponderá as quantidades máximas de energia e potência elétricas associadas ao empreendimento, incluindo importação que poderão ser utilizadas para comprovação de atendimento de carga ou comercialização por meio de contratos”

Tendo o conceito de Garantia Física definido acima, que engloba tanto UHE como PCH, é importante destacar que o cálculo de Garantia Física é diferente para estes dois tipos de hidrelétricas. Para as Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH, o cálculo de Garantia Física é baseado na Portaria N° 463 de 3 de dezembro de 2009. Dita portaria, no Art. 1º informa:

“Art. 1º Estabelecer a metodologia para o cálculo e revisão dos montantes de garantia física de energia de Usinas Hidrelétricas não despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. (NR)”

O montante de garantia física de energia, solicitado em dita Portaria, será calculado considerando as características técnicas do empreendimento e uma série de vazões médias mensais, englobando no mínimo os últimos 30 anos. A Equação 2 de garantia física é detalhada a seguir:

$$GF_E = \left[ \sum_{i=1}^n \min((Q_i - (qr + qu)) \times 9,81 \times (H_b - h) \times n_{ig}; P) \times (1 - Perdas_{con}) \times (1 - TEIF) \times (1 - IP) \times \frac{1}{n \times 1000} - C_{int} \right] \quad (2)$$

onde:

$GF_E$  (MW médios): montante de garantia física de energia;

$Q_i$ : Vazão média no mês  $i$ , ( $m^3/s$ );

$q_r$ : Vazão Remanescente do Aproveitamento ( $m^3/s$ );

$q_u$ : Vazão de Usos Consuntivos ( $m^3/s$ );

$H_b$ : Queda Bruta Nominal (m);

$h$ : Perdas Hidráulicas Nominais (m);

$n_{tg}$ : Rendimento do conjunto Turbina-Gerador;

$P$ : Potência instalada total (kW);

$Perdas_{con}$ : Perdas Elétricas até o Ponto de Conexão (%);

$TEIF$ : Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada (%);

$IP$ : Indisponibilidade Programada (%);

$Cint$ : Consumo Interno (MW médio);

$n$ : Quantidade de meses do histórico de vazões, deve ser  $n \geq 360$ ;

$i = 1, 2, \dots, n$ . meses do histórico.

As indisponibilidades TEIF e IP serão calculadas em conformidade com as Equação 3 e 4.

$$TEIF = \frac{\sum_{i=1}^n (HIFi \times Pot \ i)}{\sum_{i=1}^n (HP' \times Pot \ i)} \quad (3)$$

$$IP = \frac{\sum_{i=1}^n (HIPi \times Pot \ i)}{\sum_{i=1}^n (HP' \times Pot \ i)} \quad (4)$$

onde:

$n$  = número de máquinas do empreendimento;

$HIFi$  = horas indisponíveis forçadas da unidade  $i$ ;

$HIPi$  = horas indisponíveis programadas da unidade  $i$ ;

$HP$  = total de horas de análise;

$HP'$  = total de horas de análise descontado  $HIPi$ ; e

$Pot \ i$  = potência da unidade  $i$ .

Tendo em vista, que é necessária uma série de vazões médias mensais englobando no mínimo os últimos 30 anos, Silva (2016) informa que para o cálculo de GF utiliza-se o conceito de *esperança matemática*, e que se espera que o comportamento médio dos últimos 30 anos se repita para os próximos 30 anos ou além desse período. No entanto, o comportamento dos últimos 30 anos pode ser diferente dos próximos 30 anos.

Segundo Moreno (2016) o conceito de Esperança Matemática é bem explorado e útil para se ter uma estimativa da média populacional, porém este valor será uma **estimativa**, pois não se tem de fato o conhecimento de todos os elementos da população, e sim uma pequena porção que representa uma amostra da população. Sabe-se que a amostra não irá representar

uma população de maneira fiel, porém podemos diminuir o erro através da escolha de uma amostra de tamanho adequado. Quanto maior o tamanho da amostra, menor o erro cometido e vice-versa.

O período mínimo de 30 anos de vazões médias mensais engloba um total de 360 valores. Já se considerarmos 30 anos de vazões diárias, isso englobaria aproximadamente 15 mil dados, e com isso tem-se um tamanho de amostra maior.

Silva (2016) enfatiza:

“Assim como o conceito de Esperança Matemática, o uso da série de vazões em médias mensais também é questionado por ocultar valores extremos, tais como as vazões abaixo da vazão mínima operativa da turbina, também denominada engolimento mínimo da turbina. Esses extremos estão presentes na geração média, capturada em base horária, onde em caso de vazões inferiores ao engolimento mínimo, não há geração.”

Mesmo tendo uma metodologia de cálculo de Garantia Física clara e sem grandes dificuldades, de acordo com Pinto (2014, A Garantia Física das Usinas Brasileiras) existe uma diferença entre a geração efetivamente realizada e destinada como Garantia Física e a calculada e protocolada nos Despachos, sendo a realizada sistematicamente inferior à prevista.

De acordo com PSR (2012,), a produção real das PCH's em 2010 foi de 2.800 MW médios e com isso ficou 40% inferior à prevista. No ano de 2012 essa diferença diminuiu para 13%, no entanto ainda é preocupante, e diz:

“É evidente que ninguém espera que uma previsão acerte “na mosca”. O que chama a atenção da PSR é que qualquer previsão que se preze apresenta desvios tanto positivos como negativos. No entanto, no caso das pequenas usinas, os desvios são sempre positivos (o previsto é sempre maior do que o realizado), o que indica um viés otimista na previsão.”

Estes desvios, de acordo com PSR (2012 Energy Report – Edição 72) continuam e continuaram a existir, pois os proprietários das PCH's não possuem motivos para aperfeiçoar os parâmetros que englobam o cálculo do montante de Garantia Física, e assim atingir valores mais próximos da realidade. Essa “desmotivação” por parte dos proprietários está relacionada a não penalização sobre as diferenças encontradas entre o realizado e o previsto.

Tendo isso em vista, é de extrema importância para o sistema que todos os parâmetros que contribuem no cálculo de Garantia Física sejam bem dimensionados, e que cálculos

---

simplificados não sejam mais utilizados no setor nas fases precedentes a obtenção dos Despachos da ANEEL.

Um marco importante que poderá mudar este cenário foi a publicação da Portaria N° 376 de 05 de agosto de 2015, onde resolve instituir um grupo de trabalho com o objetivo de analisar e propor aprimoramentos à metodologia de cálculo e de revisão da Garantia Física das usinas não despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. Porém de acordo com dita portaria o grupo de trabalho, composto por representantes da EPE, CEPEL e MME, deveria concluir os estudos em 31 de março de 2016, e isso não ocorreu. De acordo com a Portaria N° 107, de 31 de março de 2016, estes estudos foram prorrogados para 31 de agosto de 2016, e com isso estamos no aguardo.

Não se sabe ao certo, quais seriam as alterações ou aprimoramentos no cálculo de garantia física. Mas existem expectativas com relação à adoção de séries de vazões médias diárias há muito tempo, pois a grande maioria das Pequenas Centrais Hidrelétricas opera a fio d'água e sem regularização a montante, o que torna o resultado de garantia física basicamente com relação às afluições naturais censuradas pelo engolimento máximo e mínimo das turbinas.

Apenas de forma complementar a estas avaliações sobre série de vazões médias diárias e mensais, o Manual da Eletrobrás (2005, “Instruções para Estudos de Viabilidade de Aproveitamentos Hidrelétricos”) informa:

“Deverá ser estabelecida, para o posto fluviométrico representativo do Aproveitamento, uma série de vazões naturais que deverá ser composta de valores médios mensais a ser derivada da série histórica de posto do mesmo curso d'água. Mesmo que o período de observação no local do barramento ou a série histórica de origem seja insuficiente para a definição desta série, esse período deverá ser estendido através de modelos determinísticos ou estocásticos para, no mínimo, 25 anos, compreendendo, se possível o período crítico característico de acordo com o adotado pelo GCPS. A série de vazões naturais que tiver sido gerada deverá subsidiar os estudos energéticos, sendo necessária a sua apresentação no relatório final dos estudos e em disquete (planilha eletrônica).”

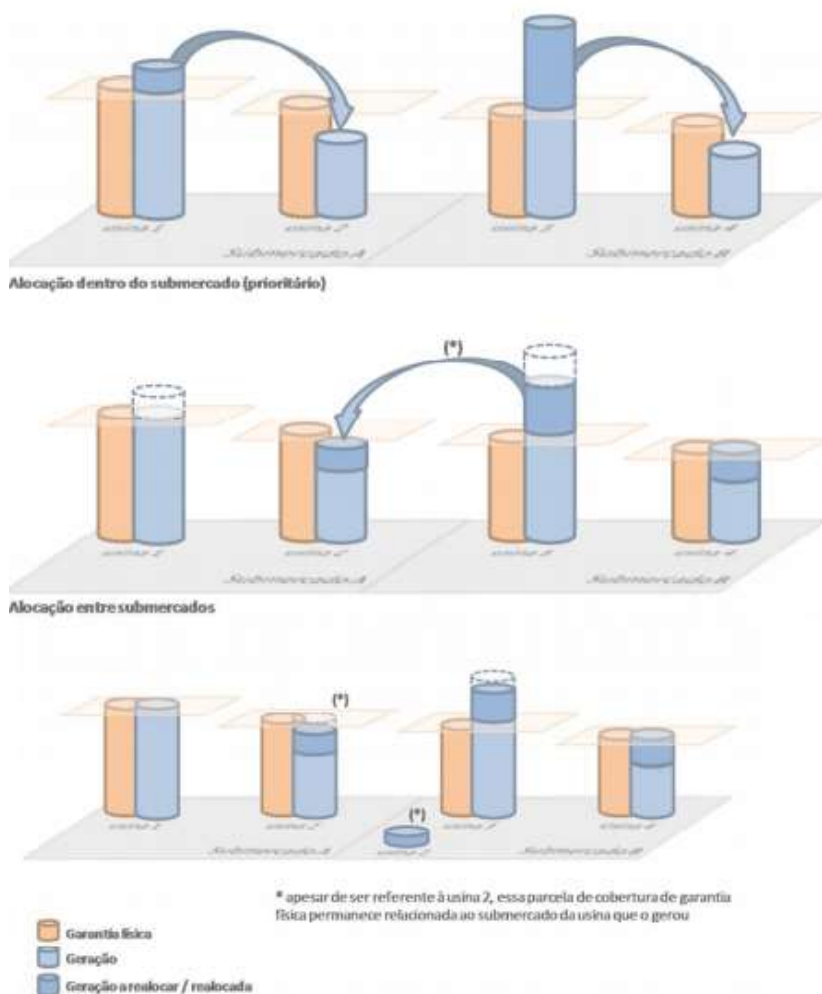
No entanto, com a publicação da Portaria N° 463 de 3 de dezembro de 2009, alterou o período de 25 anos estabelecidos no Manual da Eletrobrás para 30 anos, como já mencionado anteriormente, porém permaneceu a periodicidade mensal.

---

## 2.5 Mecanismo de Realocação de Energia

O Mecanismo de Realocação de Energia – MRE busca permitir que todas as usinas participantes atinjam seus níveis de garantia física sob o ponto de vista contábil, independentemente de seus níveis reais de produção de energia, desde que a geração total do MRE não esteja abaixo do total da garantia física associada ao SIN. Assim, primeiramente, existe a alocação de sobras e déficit de garantia física entre os participantes dentro do mesmo submercado, de acordo com CCEE (2017, Mecanismo de Realocação de Energia). Após alocação de cada submercado, haverá alocação entre os submercados como é apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Representação do processo de alocação de energia para cobertura de garantia física



Fonte: CCEE (2014)



Por mais que não seja o foco deste estudo é importante informar que o Mecanismo de Realocação de Energia – MRE foi criado com principal objetivo do compartilhamento dos riscos hidrológicos associados à otimização eletro energética do Sistema Interligado Nacional – SIN, no que diz respeito ao despacho centralizado das unidades de geração de energia elétrica realizado pelo ONS.

Quando o nível de garantia física não é atingido dentro do MRE, surge o Generation Scaling Factor – GSF. O GSF atinge diretamente os geradores de usinas hidrelétricas, e nada mais é do que o risco de não atendimento de sua Garantia física. É a razão entre a produção de energia dos geradores do MRE e a soma das garantias físicas dos mesmos.

De acordo com Cunha (2015, Por que o GSF virou pesadelo?):

“Dessa forma, quando a totalidade da energia produzida pelo conjunto é superior à soma das Garantias Físicas das mesmas o GSF é maior que 100% e consequentemente a energia alocada a cada usina é superior à sua respectiva Garantia Física na proporção do GSF. Em contrário senso o GSF é inferior a 100% e a energia alocada é inferior à respectiva Garantia Física na mesma proporção.”

Desta forma, ao não atingir a garantia física contratada, os geradores hídricos são obrigados a adquirir energia no mercado de curto prazo, energia spot, com preços bem mais elevados que o preço de geração.

Concomitantemente, a ANEEL que inicialmente entendia que o risco hidrológico tinha como ser previsto pelos geradores, reabriu Audiência Pública a fim de colher subsídios para encontro de alternativa do GSF, determinando ainda a postergação da contabilização e liquidação de financeira.

Todo este processo resultou na Resolução Normativa N° 684, de 11 de dezembro de 2015, que estabelece os critérios para anuência e as demais condições para repactuação do risco hidrológico de geração hidrelétrica por agentes participantes do Mecanismo de Realocação de Energia.

---

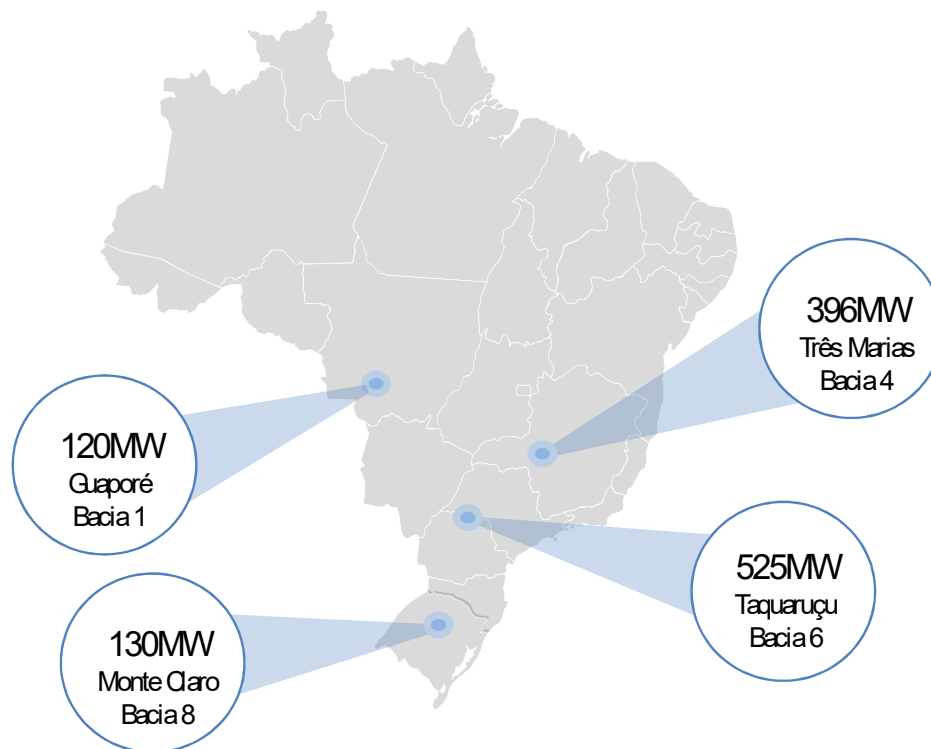
### 3 Estudo de caso

Este capítulo tem como objetivo apresentar as diferenças no comportamento das séries de vazões mensais e diárias. Para tanto, foram utilizadas as séries de vazões médias mensais e diárias das Usinas Hidrelétricas disponíveis pelo ONS, e transferidas por área de drenagem para as Pequenas Centrais Hidrelétricas, válido somente devido à proximidade dos aproveitamentos e respeitando a mesma bacia e se possível o mesmo rio.

#### 3.1 Dados selecionados

Foram selecionadas de maneira aleatória Usinas Hidrelétricas procurando abranger bacias com comportamentos distintos assim como suas capacidades instaladas e localização. Todos os dados utilizados neste estudo são do poder público, e foram obtidos do banco de dados da ANEEL e no site do ONS. A Figura 8 apresenta a localização das UHE's assim como sua potência instalada e a qual bacia hidrográfica pertence.

Figura 8 – Localização e Potência Instalada das UHE's selecionadas para este estudo



FONTE: ANEEL

A Tabela 2 apresenta os dados básicos das PCH's escolhidas e quais seriam as UHE's de base para obtenção das séries hidrológicas.

Tabela 2 – Dados das Usinas Hidrelétricas selecionada para este estudo

Dados e Parâmetros	PCH Nova Guaporé	PCH Mateus José	PCH Itaguajé	PCH Jararaca
UHE correspondente	Guaporé	Três Marias	Taquaruçu	Monte Claro
Bacia hidrográfica	1	4	6	8
Rio	Guaporé	Abaeté/Ribeirão Areado	Pirapó	Prata
Estado	Mato Grosso	Minas Gerais	Paraná	Rio Grande do Sul
Potência Instalada - MW	13,0	11,0	7,0	28,0
Queda bruta - m	35,6	12,5	8,0	43,7
Perdas de carga - m	0,7	0,3	0,2	0,9
Queda Líquida m	34,9	12,3	7,8	42,8
Área de Dreagem PCH - km <sup>2</sup>	1.349	5.737	4.780	3.652
Área de Dreagem UHE - km <sup>2</sup>	1.282	50.600	88.000	12.132
Fator de Regionalização	1,05	0,11	0,05	0,30
Vazão mín turbinada - m <sup>3</sup> /s	10,53	15,22	10,09	18,47
Vazão máx turbinada - m <sup>3</sup> /s	42,11	101,47	100,89	73,88
Número de máquinas	2	2	2	2
Corte de vazão mínima	50%	30%	20%	50%
Produtividade	0,0088	0,0088	0,0088	0,0088

FONTE: ANEEL

Para dar continuidade aos estudos, faz-se necessário ter conhecimento das perdas de carga. Como este dado não estava disponível nem na ANEEL nem no ONS adotou-se o conceito simplista do Manual do Inventário que recomenda utilizar perdas de carga igual a 2% da queda bruta. Foi constatada também a inexistência dos parâmetros de rendimento do conjunto turbina/gerador, com isso, adotou-se o fator de 0,0088 determinado também no Manual do Inventário Hidrelétrico (2007), onde se sugere adotar como rendimento da turbina igual a 93% e do gerador igual a 97%.

Os valores de vazões máximas turbinadas foram obtidas da Equação 5 de Potência, apresentada abaixo, obtida no Manual de Inventário:

$$Q_{máxturb} = \frac{10^6 \times P}{k \times H} \tag{5}$$

Sendo:  $k = \rho \times n_t \times n_g$      $n_t = 0,93$      $n_g = 0,97$

$P$  = potência instalada de uma unidade geradora em MW;

$H$  = queda líquida em metros;

$k$  = coeficiente.

Já as vazões mínimas dependem do número de máquinas e do tipo de máquinas. Nas Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas, elaborado pela Eletrobrás (1995), a turbina Francis possui funcionamento adequado de até 50% da carga nominal. As turbinas do tipo Kaplan desempenham adequadamente sob 30% da carga nominal. Tendo isso a vazão mínima turbinada é calculada pela Equação 6 apresentada abaixo:

$$Q_{mínturb} = \frac{Q_{máxturb}}{N} \times C \quad (6)$$

Sendo:

$Q_{mínturb}$  = Vazão mínima turbinada, em m<sup>3</sup>/s;

$Q_{máxturb}$  = Vazão máxima turbinada, em m<sup>3</sup>/s;

$N$  = número de unidades geradoras;

$C$  = Coeficiente de carga parcial, em %.

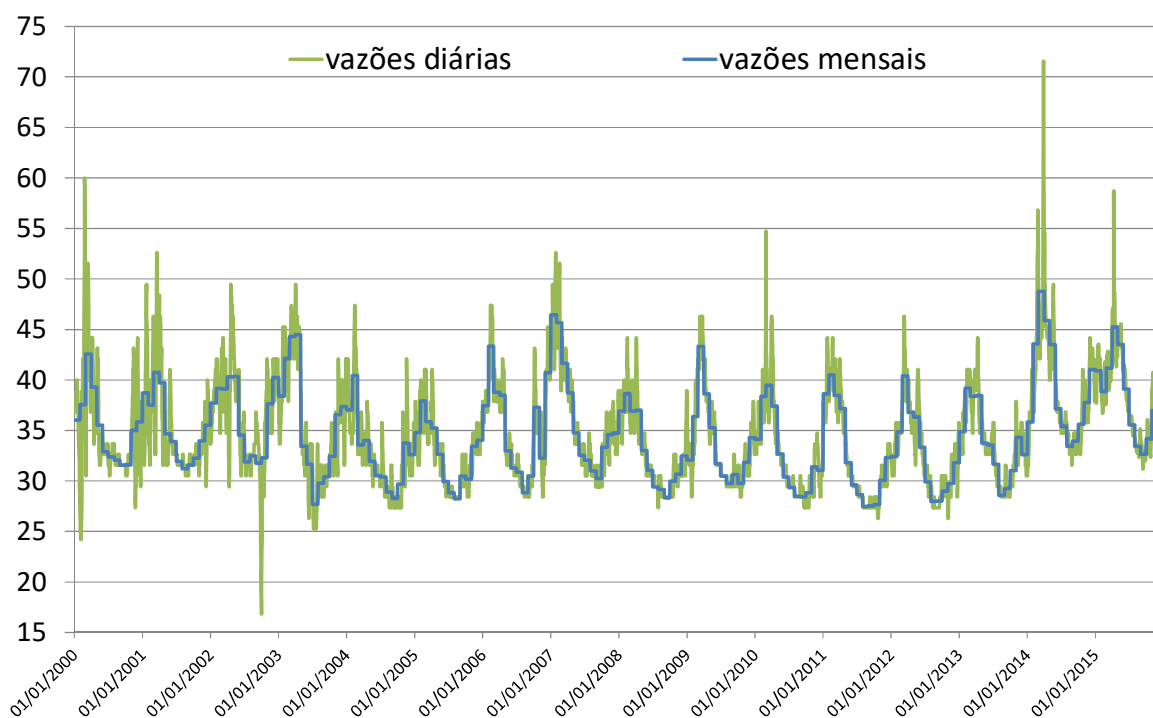
Infelizmente é importante lembrar que, estes critérios simplistas são adotados no setor elétrico independente do status do aproveitamento, porém estes são recomendados apenas em estágios de Estudos de Inventário ou pesquisas, caso contrário entraria no vício já comentado no capítulo de Garantia Física das PCH's. Até porque, entende-se que Estudos de Viabilidade e Estudos de Projeto Básico deverão conter parâmetros calculados incluindo memória de cálculo com justificativas técnicas, medição em campo e viabilidade ambiental e financeira.

### 3.2 Série de vazões médias mensais e diárias

Tendo as Pequenas Centrais Hidrelétricas selecionadas, foram comparadas as séries de vazões médias mensais e diárias no período em comum. Para realizar a comparação entre diária e mensal a média mensal foi repetida para cada dia do mês. Como as séries diárias possuem mais de trinta mil valores, o gráfico ficaria muito extenso e com pouca visualização. Tendo isso, para cada gráfico foi adotado o período menor englobando os últimos 17 anos. Importante destacar que os últimos 17 anos englobam os anos de 2000 a 2002 – crise energética/apagão, 2004 – novo modelo do setor e o período de 2012 a 2015 – crise energética/seca hidrológica.

Na sequência, serão apresentadas as comparações entre vazões médias diárias e mensais para as quatro Pequenas Centrais Hidrelétricas selecionadas. O Gráfico 3 apresenta a avaliação das séries de vazões naturais afluentes da PCH Nova Guaporé localizada no estado de Mato Grosso, e pertencente à bacia hidrográfica 1.

Gráfico 3 – Comparação das séries médias mensais e diárias da UHE Guaporé em m³/s



FONTE: ONS, 2017

No destaque da comparação do comportamento das séries de vazões da PCH Nova Guaporé, nota-se que entre os anos de 2000 e 2003 os valores diários apresentam mínimos bem abaixo com relação aos valores mínimos mensais. As vazões médias mensais ocultam os picos e mínimos da série de vazões diárias, e assim, ao aplicar o corte de vazão mínima turbinada, pode alterar os valores de produção de energia.

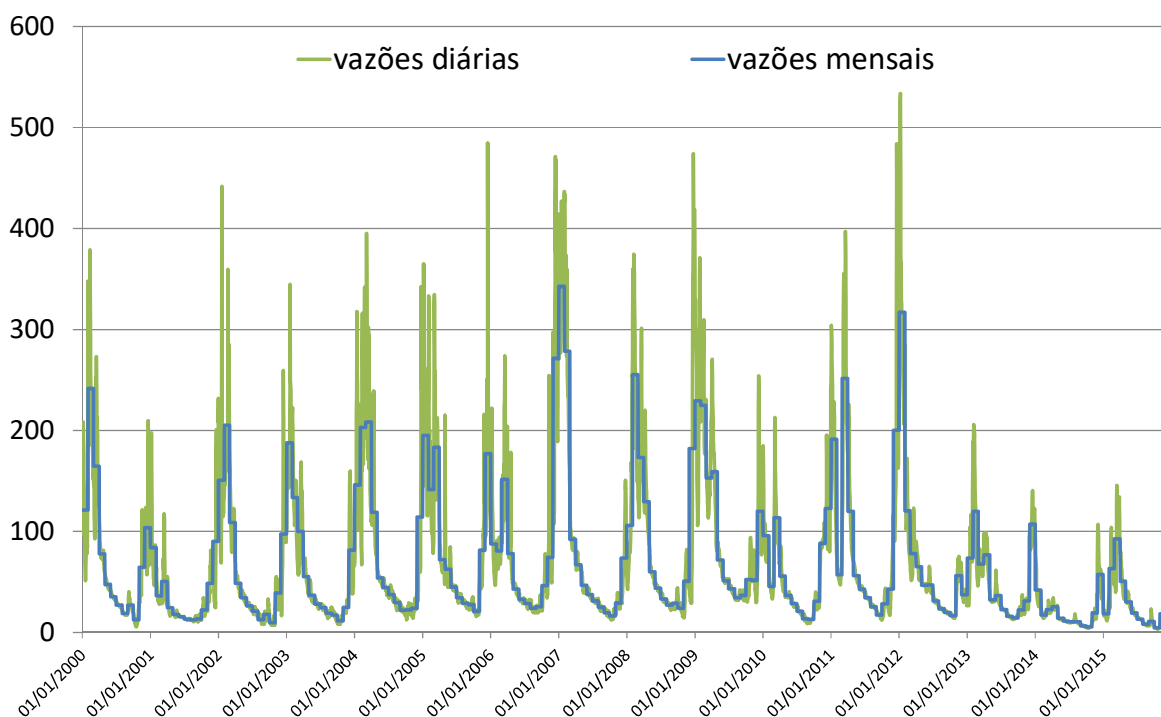
Caso em um determinado mês ocorram vazões diárias menores que a vazão mínima de turbinamento da usina, isso resultaria na paralização das máquinas e não se geraria energia. No entanto, na simulação mensal isso não ocorre, pois na média a mesma vazão mensal é maior que a mínima de turbinamento, e com isso gera-se energia.

Isso ocorre de maneira vice-versa também, pois caso a média mensal resulte menor que a mínima de turbinamento, na simulação energética mensal resultaria em um mês inteiro sem

geração. Porém na operação diária, existirão vazões acima da vazão mínima turbinada, e com isso haverá geração de energia em alguns dias do mês.

O Gráfico 4 apresenta a avaliação das séries de vazões da PCH Mateus José que pertence à bacia hidrográfica quatro (próximo da UHE Três Marias).

Gráfico 4 – Comparação das séries médias mensais e diárias da PCH Mateus José

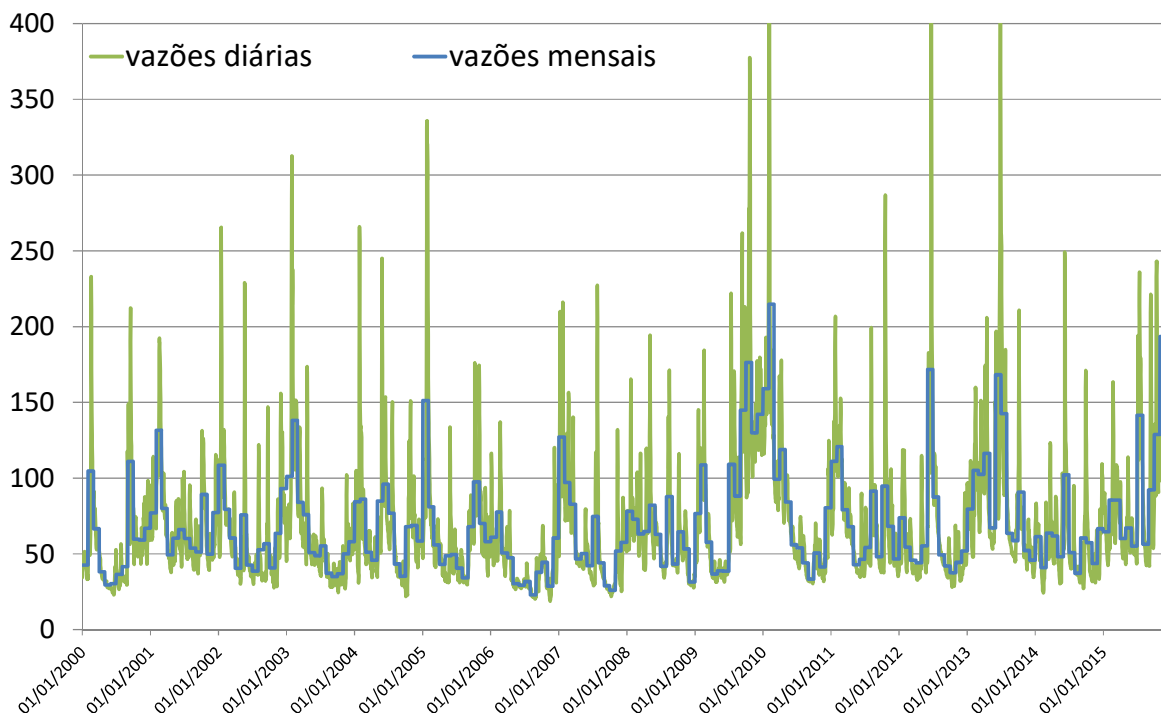


FONTE: ONS, 2017

Por mais que o gráfico acima mostre que os valores mínimos diários estão próximos dos mínimos mensais, deve-se lembrar de que os valores de vazões na PCH Mateus José são altos, e que a diferença entre valores mensais e diários podem chegar a 250m<sup>3</sup>/s como máximo.

O Gráfico 5 apresenta a avaliação das séries de vazões naturais afluentes da PCH Itaguajé, localizada na bacia hidrográfica seis, na divisa dos estados do Paraná e São Paulo.

Gráfico 5 – Comparação das séries médias mensais e diárias da PCH Itaguajé

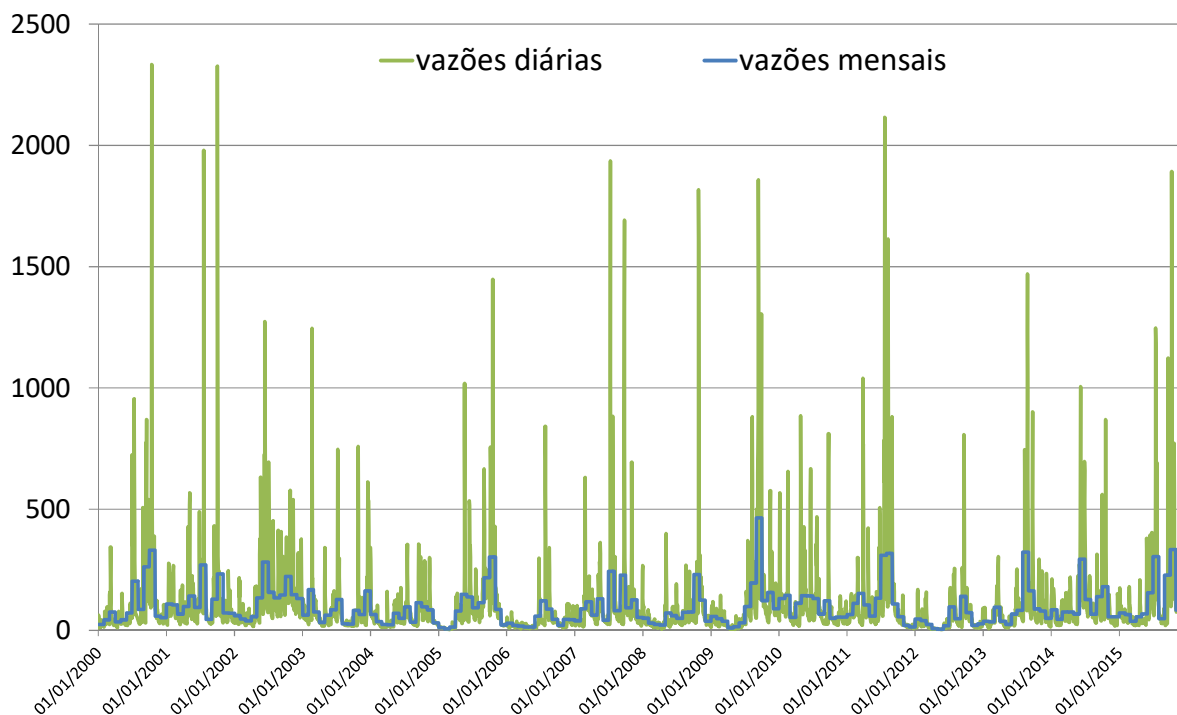


FONTE: ONS, 2017

Para a PCH Itaguajé, ocorre o mesmo de Mateus José, pois apresenta valores de vazões muito altos. Nota-se que no começo de 2005 o valor de média mensal é cerca de 35 m³/s, no entanto os valores diários chegaram próximos de 21 m³/s.

O Gráfico 6 apresenta a avaliação das séries de vazões da PCH Jararaca, localizada na região Sul, pertencente ao subsistema Sul, a qual não tem nenhuma relação com os demais subsistemas.

Gráfico 6 – Comparação das séries médias mensais e diárias da UHE Monte Claro



FONTE: ONS, 2017

No caso da PCH Jararaca, as diferenças são maiores, como já era de se esperar devido ao comportamento da região Sul, apresentado no capítulo Comportamento das Bacias hidrográficas. O desvio padrão é grande entre vazões médias diárias e mensais. No destaque, o período de 2011 apresenta valores médios mensais de cerca de 140 m<sup>3</sup>/s, enquanto que os valores mínimos diários são entorno de 29 m<sup>3</sup>/s.

Tendo em vista o exposto neste capítulo, abaixo segue o que é um comparativo de vantagens e desvantagens das séries históricas de vazões diárias *versus* mensais.

Tabela 3 – Séries de vazões mensais versus diárias

Periodicidade das séries de vazões	Vantagens	Desvantagens
Vazões diárias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior número de dados.</li> <li>• Amostra maior.</li> <li>• Não oculta os picos e nem os mínimos.</li> <li>• Valores mais reais.</li> <li>• Menor risco de obter valores superestimados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificuldade na obtenção de dados consistidos em algumas regiões do país.</li> <li>• A portaria da Aneel NÃO sugere utilizar série de vazões diárias no cálculo de garantia física.</li> </ul>
Vazões mensais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidade na obtenção de dados consistidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor número de dados.</li> <li>• Amostra menor com relação a amostra com dados diários.</li> </ul>



---

	<ul style="list-style-type: none"><li>• A portaria da Aneel sugere utilizar série de vazões médias mensais no cálculo de garantia física.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Oculta os picos e os mínimos.</li><li>• Valores menos reais.</li><li>• Maior risco de obter valores superestimados.</li></ul>
--	---	---

---

---

## 4 Análise

Neste item serão apresentados os resultados de energia média mensal e diária das PCH's selecionadas e mencionadas no item 3.1, e comparadas entre si, incluindo a vazão mínima de turbinamento.

### 4.1 Energia média diária e média mensal

A simulação da energia média foi realizada em planilhas Excel contendo as equações apresentadas neste estudo. Tendo isso, foram simuladas as energias médias das PCH's da Tabela 2, considerando vazões médias mensais e diárias, e limitando a geração pela vazão mínima de turbinamento.

De maneira similar as séries de vazões apresentadas no item 3.2, serão apresentadas as séries de produção de energia média diária e mensais das PCH's selecionadas para este estudo. No entanto, será incorporada a esta avaliação as vazões mínimas de turbinamento. Assim, com estes parâmetros será possível avaliar o efeito do corte de vazões nas vazões mensais e diárias em cada região.

Os valores de produção de energia média foram calculados de acordo com a equação (1), excluindo apenas as perdas elétricas, consumo interno e indisponibilidades, pois o objetivo deste estudo é mostrar as diferenças na produção de energia utilizando as series de vazões diárias e mensais.

Para obter melhor visualização do corte de vazão, foi adotado o período de 2008 e 2009. O Gráfico 7 e Gráfico 8 apresentam a avaliação da produção de energia mensal e diária da PCH Nova Guaporé.

---

Gráfico 7 – Produção de energia mensal e vazão mínima turbinada da PCH Nova Guaporé

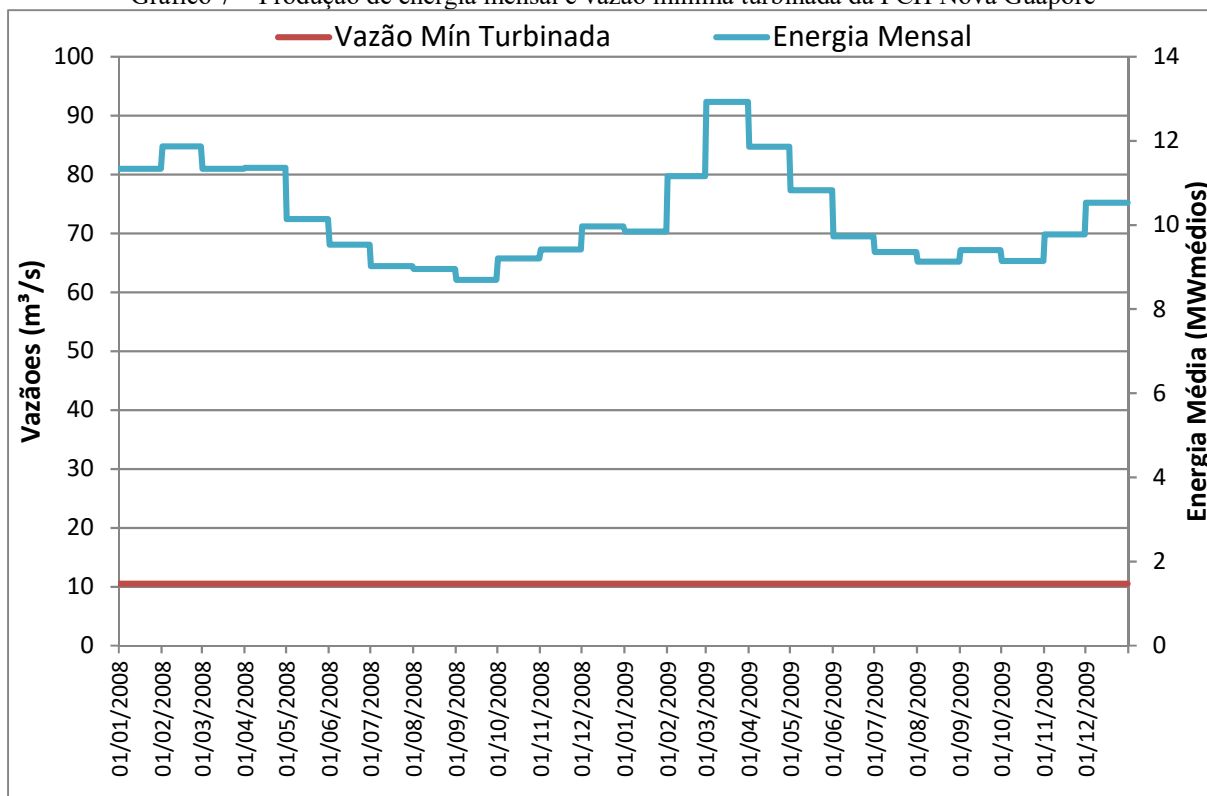
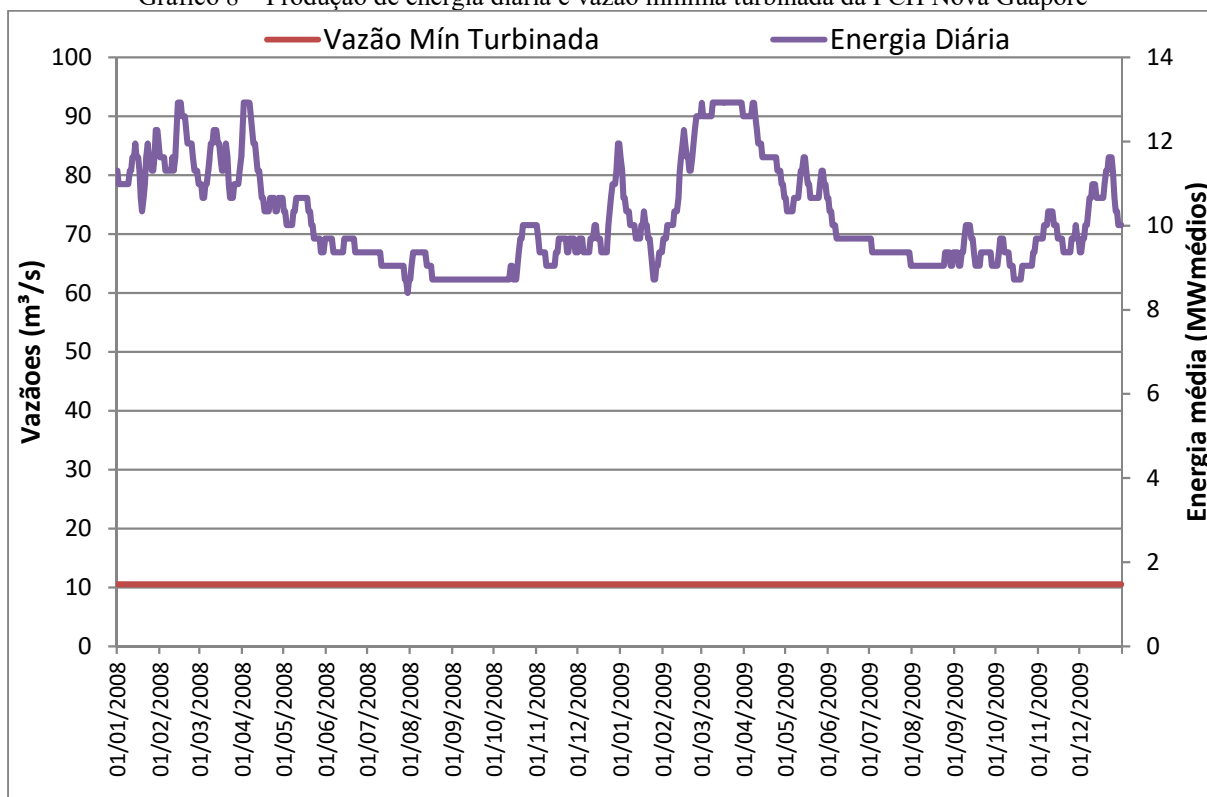


Gráfico 8 – Produção de energia diária e vazão mínima turbinada da PCH Nova Guaporé



Nota-se que em nenhum período a geração de energia, tanto diária quanto mensal, atinge o valor zero. Isso demonstra que a vazão mínima turbinada está abaixo do valor de vazão mínima observada. Isso comprova mais uma vez que as vazões nas regiões centro-oeste são menos voláteis e com isso a geração de energia chega ao mais próximo possível de ser flat. A geração flat reduz os riscos associados ao não atendimento de garantia física devido à hidrologia.

O Gráfico 9 e Gráfico 10 apresentam a avaliação da geração de energia mensal e diária da PCH Mateus José.

Gráfico 9 – Produção de energia mensal e vazão mínima turbinada da PCH Mateus José

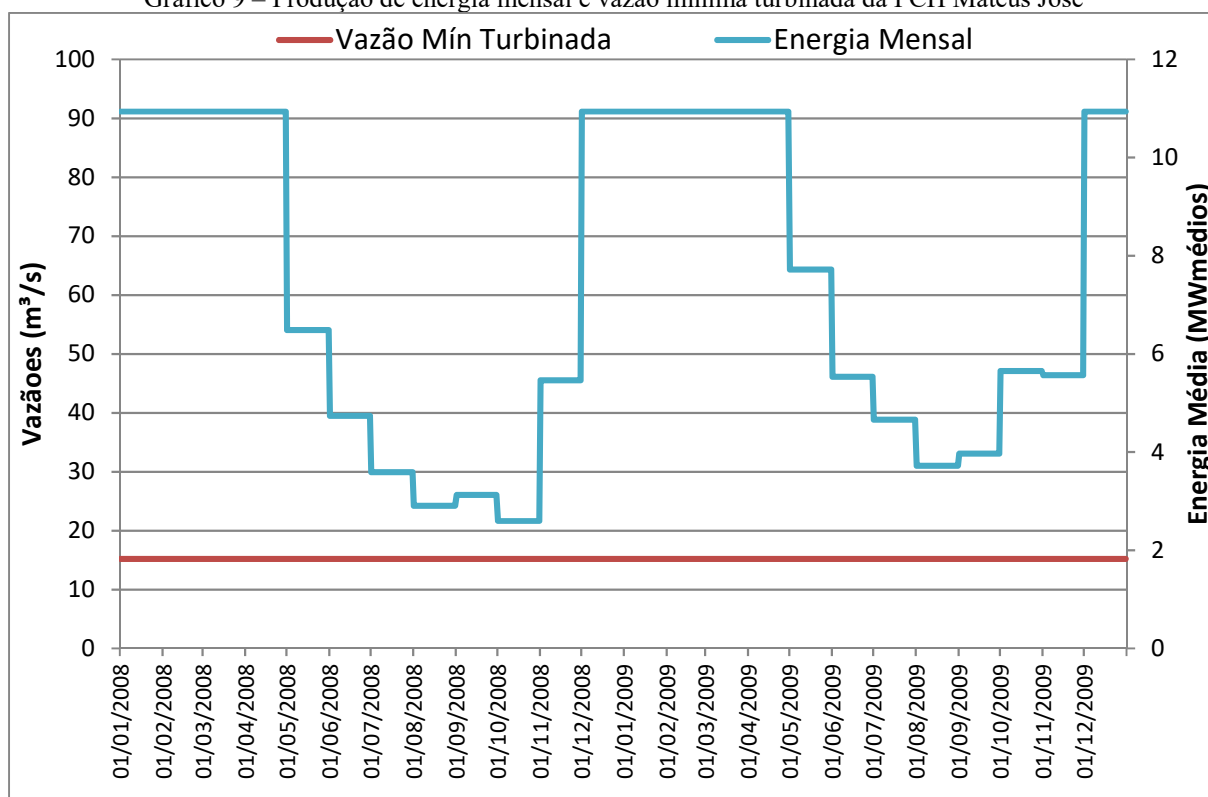
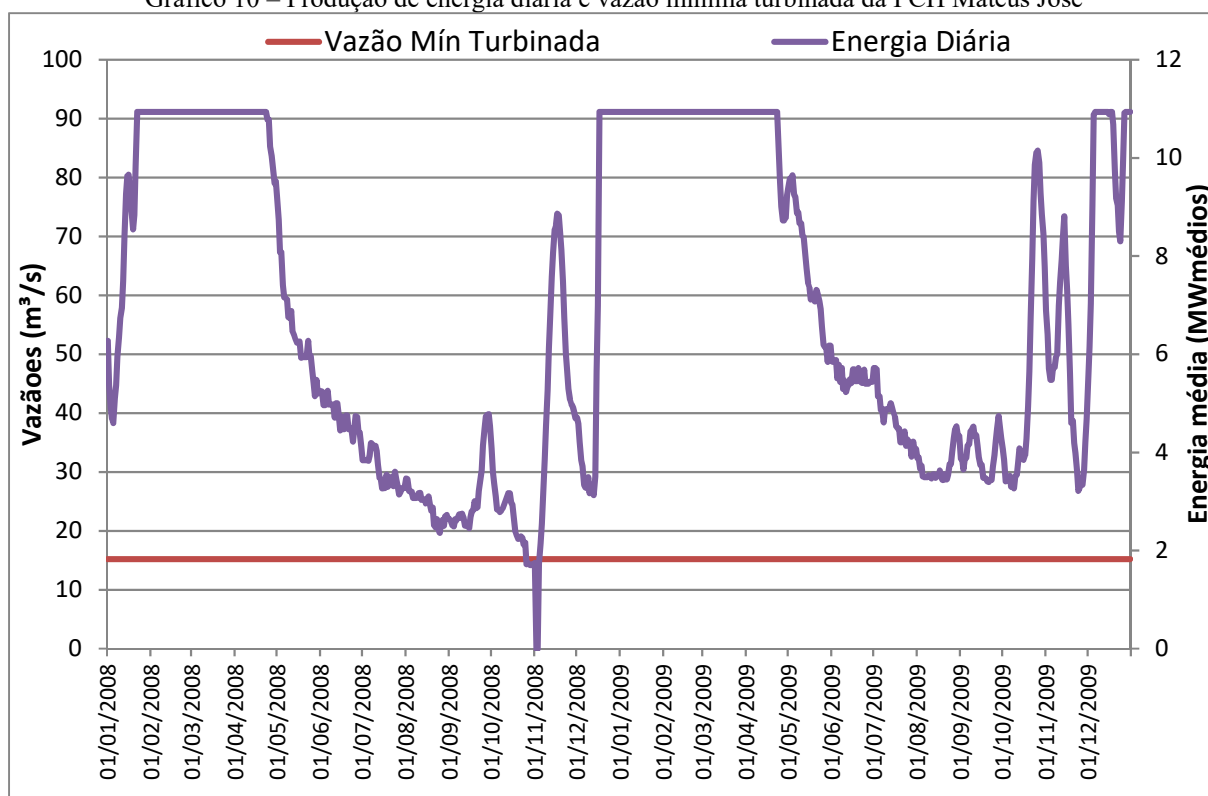


Gráfico 10 – Produção de energia diária e vazão mínima turbinada da PCH Mateus José



O caso da PCH Mateus José apresenta geração de energia diária com apenas um corte de vazão no período de um ano. No entanto a geração diária apresenta volatilidade mais acentuada que a geração mensal.

Outro ponto para destaque é que o período onde a geração de energia começa a diminuir está altamente correlacionado ao início do período de seca. Tendo isso, a programação de paradas para manutenção de máquinas e equipamentos é de fácil gestão, com isso tem-se menos perdas por indisponibilidade programada.

O Gráfico 11 e Gráfico 12 apresentam a avaliação da produção de energia mensal e diária da PCH Itaguajé.

Gráfico 11 – Produção de energia mensal e vazão mínima turbinada da PCH Itaguajé

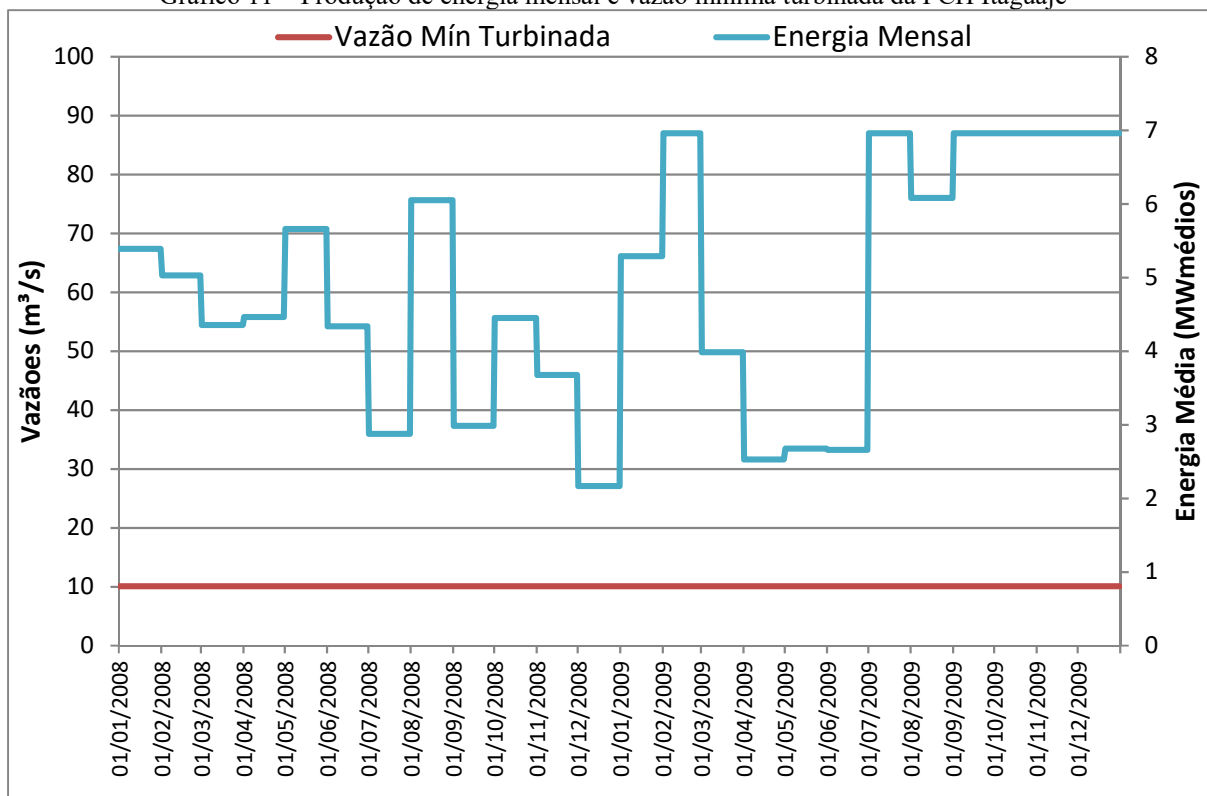
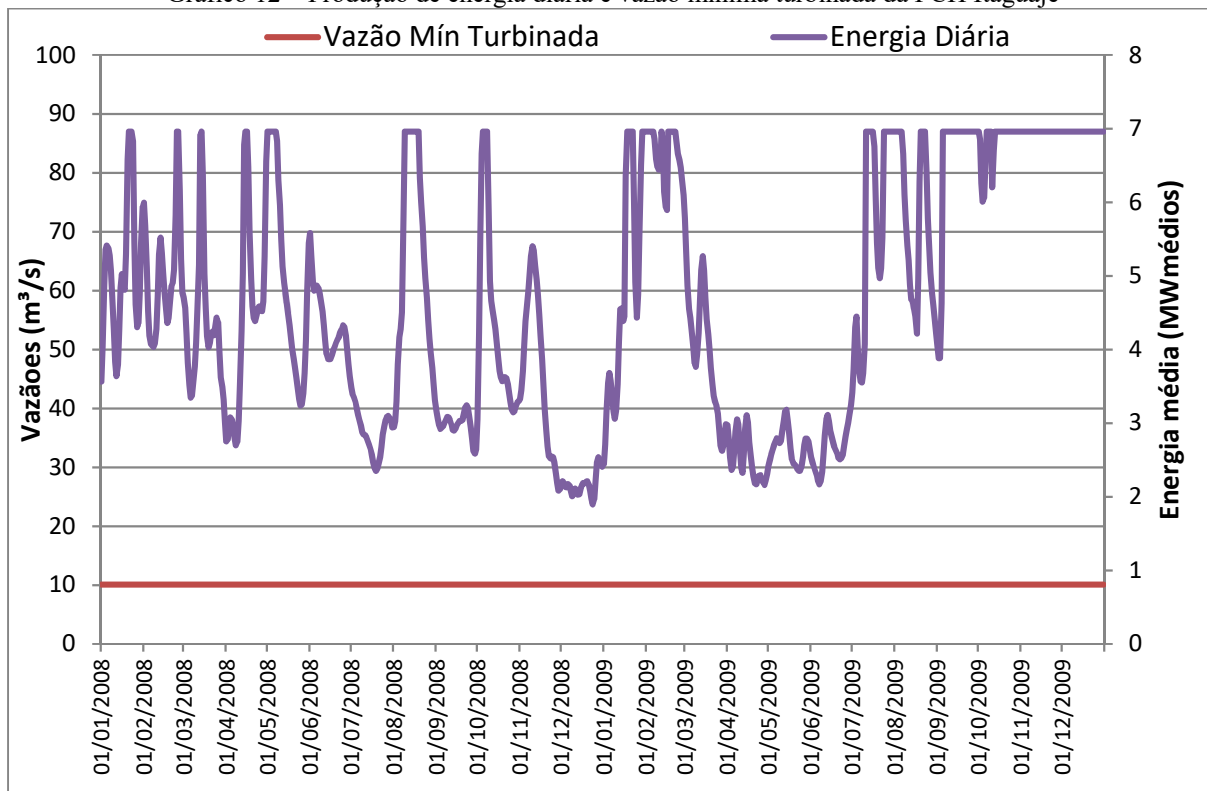


Gráfico 12 – Produção de energia diária e vazão mínima turbinada da PCH Itaguajé



Nota-se que a produção de energia diária, no caso da PCH Itaguajé, vai de 7MWmédios a 2MWmédios em um período de apenas 1 mês. Já na produção mensal isso diminui e vai de 7MWmédios a 3MWmédios. Mesmo a produção mensal apresenta volatilidade no período selecionado, porém em nenhum momento atinge-se zero de geração mensal e nem diária.

Os Gráfico 13 e Gráfico 14 apresentam a avaliação da produção de energia da PCH Jararaca.

Gráfico 13 – Produção de energia mensal e vazão mínima turbinada da PCH Jararaca

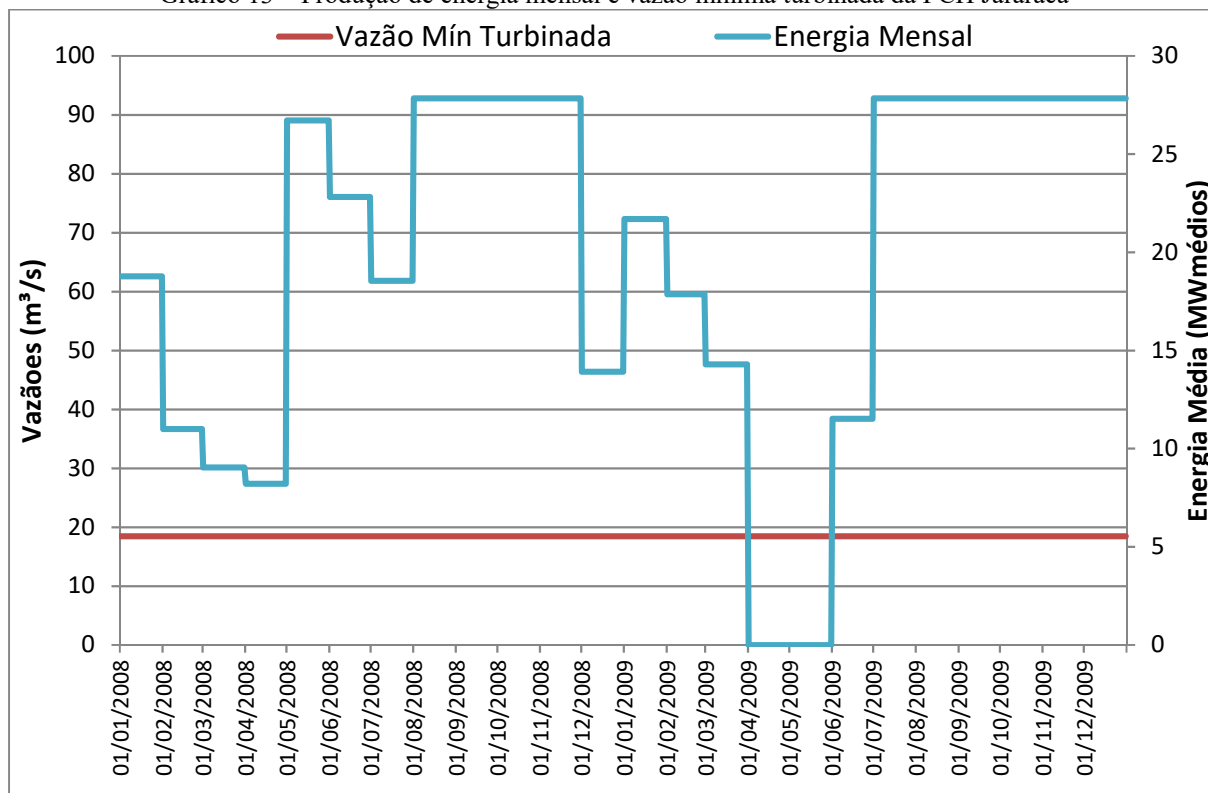
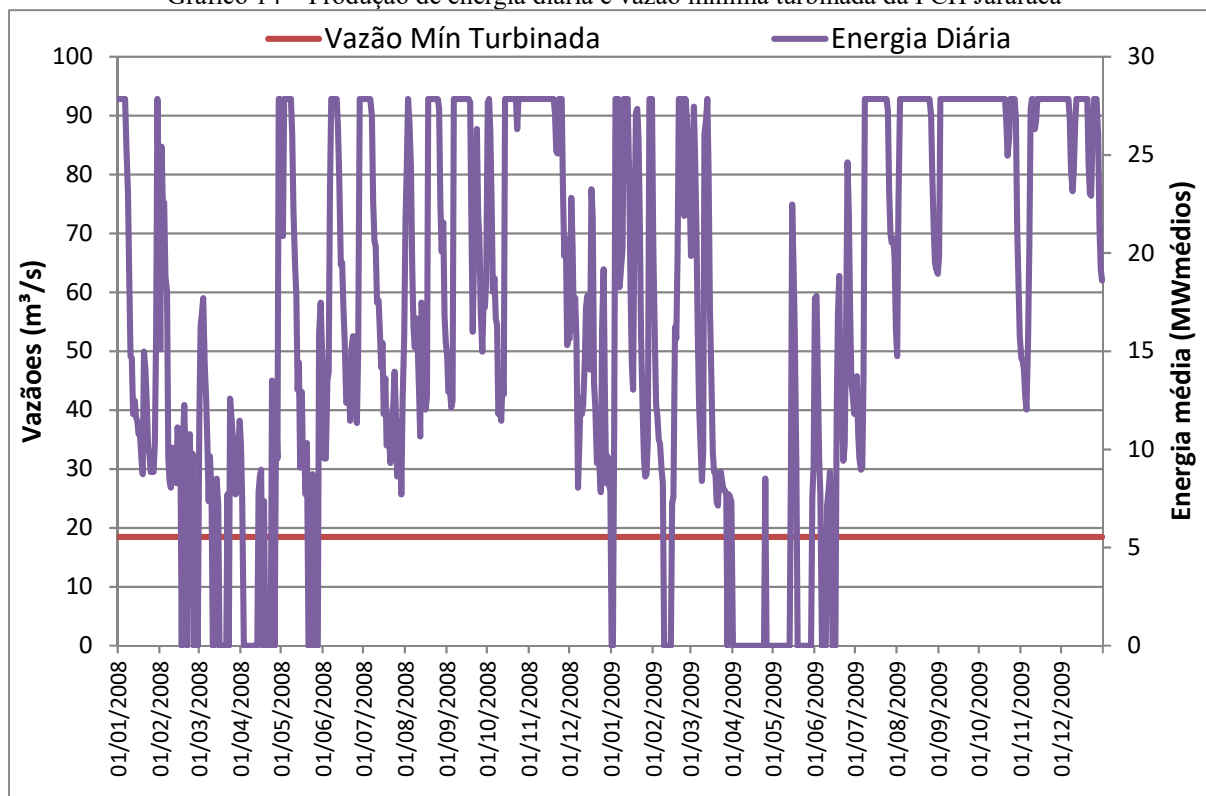


Gráfico 14 – Produção de energia diária e vazão mínima turbinada da PCH Jararaca



Nota-se que no período de março de 2008 a junho de 2008 a produção de energia é igual a zero repetidas vezes, pois a vazão diária é inferior a vazão mínima turbinada. No entanto no gráfico mensal isso não é percebido, pois a vazão média mensal foi superior à mínima turbinada. Apenas em maio de 2009 que se apresenta geração igual à zero na simulação mensal.

A apresenta os valores de energia média adotando série de vazões médias mensais e diárias considerando o período com dados disponíveis.

Tabela 4 – Energias médias das PCH selecionadas para este estudo

Resultados	PCH Nova Guaporé	PCH Mateus José	PCH Itaguaí	PCH Jararaca
Energia Média diária MW médios	11,61	6,00	3,86	16,25
Energia Média mensal MW médios	10,64	6,25	4,02	19,18
Diferença %	-9,06%	4,01%	3,82%	15,27%
Período utilizado	Jan/72 a Dez/15	Jan/31 a Dez/15	Jan/31 a Dez/15	Jan/40 a Dez/15

A PCH Nova Guaporé foi a única que apresentou energia média diária superior a energia média mensal, isso ocorre pois a PCH encontra-se a jusante da UHE e com isso possui maior



área de drenagem. Além disso, da mesma maneira que a série de vazões médias mensais ocultam os valores mínimos, esta também sobre-estima as vazões altas.

Nota-se que as PCH's Mateus José, Itaguajé e Jararaca apresentaram valores de energia média menores quando se considerou séries de vazões diárias. No entanto, o destaque é para a PCH Jararaca localizada na básica 8, região Sul do país, que apresentou uma redução de cerca de 15 % no valor de energia média ao adotar séries de vazões médias diárias. As demais PCH's apresentaram energias com série mensal em média 3,9% superior.

Como foi apresentado no capítulo Comportamento das Bacias hidrográficas, as bacias da região Sul, apresentam comportamentos com maior volatilidade que as demais bacias, e não possuem nenhuma correlação com os demais sistemas.

Isto mostra que apenas um dos parâmetros, que compõem o cálculo de garantia física de uma PCH, série de vazões, pode alterar 15% a menos na produção de energia. Este resultado também nos ajuda a entender parte dos altos índices de GSF, ou seja, o dimensionamento incorreto da garantia física das Pequenas Centrais Hidrelétricas.

Tendo isso em vista, é de extrema importância avaliar qualquer aproveitamento independente de sua capacidade instalada, com séries de vazões médias diárias, pois o resultado irá representar valores mais próximos da realidade.

---

## 5 Conclusão

Este estudo apresentou as diferenças encontradas nos resultados das simulações de energia média de Pequenas Centrais Hidrelétricas alterando apenas a periodicidade das séries de vazões de mensais para diárias em quatro regiões do Brasil.

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa visa evidenciar como as séries de vazões médias diárias podem influenciar no resultado da Garantia Física de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH, de maneira mais realista do que a série de vazões médias mensais – que ocultam os valores extremos máximos e mínimos – estabelecidas na Portaria N°463 de 3 de dezembro de 2009, tomando como exemplo quatro PCH's localizadas em bacias hidrográficas com comportamentos hidrológicos distintos entre si.

A PCH Nova Guaporé foi a única que apresentou energia média diária superior a energia média mensal, isso ocorre, pois a PCH encontra-se a montante da UHE e com isso possui maior área de drenagem. Além disso, da mesma maneira que a série de vazões médias mensais ocultam os valores mínimos, esta também sobre-estima as vazões altas.

As PCH's Mateus José, Itaguajé e Jararaca apresentaram valores de energia média menores quando se considerou séries de vazões diárias e não mensais. No entanto, o destaque é para a PCH Jararaca localizada na básica 8, região Sul do país, que apresentou uma redução de cerca de 15 % no valor de energia média ao adotar séries de vazões médias diárias ao invés de séries de vazões médias mensais. As demais PCH's apresentaram energias médias em média 3,9% superior ao considerar série de vazões médias mensais.

Tendo isso em vista, conclui-se que existe o impacto das séries de vazões diárias no resultado de garantia física das PCH's, e com isso é de extrema importância avaliar qualquer aproveitamento, independentemente de sua capacidade instalada ou localização, com séries de vazões médias diárias, pois o resultado poderá afetar a tomada de decisão.

Considerando os resultados apresentados, e levando em conta que foi publicada a Portaria N° 376 de 05 de agosto de 2015, onde resolve instituir um grupo de trabalho com o objetivo de analisar e propor aprimoramentos à metodologia de cálculo e de revisão da Garantia Física das usinas não despachadas centralizadamente, este trabalho fica como sugestão e incluir

as análises das séries de vazões médias diárias no processo de aprimoramento do cálculo de garantia física das Pequenas Centrais Hidrelétricas.

Recomenda-se desenvolver mais trabalhos referentes ao dimensionado dos parâmetros energético, além das séries de vazões, evitando ao máximo simplificações e estimativas destes na fase de apresentação a ANEEL do Projeto Básico, e assim mitigar o problema da diferença entre a geração efetivamente realizada e destinada como Garantia Física e a calculada e protocolada nos Despachos.

---

## 6 Bibliografia

\_\_\_\_ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, Banco de Informações de Geração e Atlas de Energia Elétrica do Brasil, disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> . <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par1\\_cap2.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf)> Acesso em 20 mai. 2017.

AMORIM, E.L.C., OLIVEIRA, A.P.N., MENDIONDO, E.M. **Estudo de Métodos para Regionalização de vazão**. Ed. ABRH, 2005.

\_\_\_\_APINE – Associação Brasileira dos Produtores Independentes de Energia Elétrica, Reservatórios: queda nos estoques, disponível em <<http://www.apine.com.br/site/archives/artigos/reservatorios.pdf>> Acesso em 01 jul. 2017.

BRASIL. **Portaria nº 303**, de 18 de novembro de 2004. Definir critérios gerais de garantia de suprimento, os montantes da garantia física dos empreendimentos de geração de energia elétrica. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 de nov. 2004.

BRASIL. **Portaria nº 463**, de 3 de dezembro de 2009. Definir critérios gerais de garantia de suprimento, os montantes da garantia física dos empreendimentos de geração de energia elétrica. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 4 de dez. 2009.

BRASIL. **Portaria nº 376**, de 5 de agosto de 2015. Definir critérios gerais de garantia de suprimento, os montantes da garantia física dos empreendimentos de geração de energia elétrica. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 de ago. 2015.

BRASIL. **Portaria nº 178**, de 3 de maio de 2017. Aprovar a metodologia, os critérios, as premissas e as configurações que constam no Relatório "Revisão Ordinária de Garantia Física de Energia das Usinas Hidrelétricas – UHEs Despachadas Centralizadamente no Sistema Interligado Nacional - SIN". Diário Oficial da União, Brasília, DF, 4 de mai. 2017.

BRASIL. **Resolução CNRH nº 32**, de 15 de outubro de 2003, Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 de dez. 2012.

BRASIL. **Resolução Normativa nº 684**, de 11 de dezembro de 2015. Estabelece os critérios para anuência e as demais condições para repactuação do risco hidrológico de geração hidrelétrica por agentes participantes do Mecanismo de Realocação de Energia. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 de dez. 2015.

BRASIL. **Lei nº 10.848**, de 15 de março de 2004, Dispõe sobre a comercialização de energia. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 de mar. 2004.

\_\_\_\_CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, Mecanismo de Realocação de Energia, disponível em <[https://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE\\_076159\\_sem\\_realce\\_2017.1.0\\_\(jan-17\).pdf](https://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_076159_sem_realce_2017.1.0_(jan-17).pdf)> . Acesso em 01 jul. 2017.

CUNHA, P.C.F. **Por que o GSF virou pesadelo?** Caderno Opinião – FGV Energia. Julho 2015.

ELETOBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro. v. 1, 1985a.

---

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas**. Rio de Janeiro, Ed 2007.

\_\_\_\_ ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A., Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas, disponível em <<http://www.eletronbras.com/elb/admin/data/Pages/LUMIS4AB3DA57PTBRIE.htm>>. Acesso em 29 mai. 2017.

\_\_\_\_ EPE – Empresa de Pesquisa Energética, Plano Nacional de Energia 2050 e Revisão Ordinária de Garantia Física das Usinas Hidrelétricas, disponível em <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>>. Acesso em 14 mai. 2017.

\_\_\_\_ IEA – Internacional Energy Agency, Renewables Medium-Term Market Forecast 2016, disponível em <<https://www.iea.org/newsroom/news/2016/october/medium-term-renewable-energy-market-report-2016.html>>. Acesso em 12 mai. 2017.

MORENO, Sinvaldo. **Proposta metodologia para Avaliação de Desempenho Usinas não Despachadas Centralizadamente no MRE**. Curitiba, 2016.

\_\_\_\_ MME – Ministério de Minas e Energia, Plano Decenal de Expansão 2015-2024, disponível em <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>>. Acesso em 23 fev. 2017.

\_\_\_\_ ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, Estudos de hidrologia, disponível em <<http://www.ons.org.br/operacao/hidrologia.aspx>>. Acesso em 20 mai. 2017.

PINTO, Leontina. **A Garantia Física das Usinas Brasileiras: A expectativa e a realidade**. Ed. ABRAPCH, 2014.

PSR, **Energy Report Edição 72**, dezembro de 2012 <<http://www.psr-inc.com/publicacoes/energy-report/edicoes/?current=p6890>>

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre, Ed. ABRH/UFRGS, 2009. 944p.

TUCCI, C.E.M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre, Ed. ABRH/UFRGS, 2002. 256 p.

WOLFF, W., DUARTE, S.N., MINGOTI, R. **Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o Estado de São Paulo**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.4 –Out/Dez 2014, 21-33.

---