

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA HÍDRICA**

**Avaliação da Variação da Garantia Física em
Função das Mudanças no Regime Hidrológico da
Bacia e da Motorização dos Grupos Geradores
das Pequenas Centrais Hidrelétricas**

Pedro Augusto Siqueira Costa

Itajubá, Dezembro de 2023

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA HÍDRICA**

Pedro Augusto Siqueira Costa

**Avaliação da Variação da Garantia Física em
Função das Mudanças do Regime Hidrológico da
Bacia e da Motorização dos Grupos Geradores
das Pequenas Centrais Hidrelétricas**

**Defesa submetida ao Programa de Pós-graduação
em Engenharia Hídrica como parte dos requisitos
para obtenção do Título de Mestre em Ciências
em Engenharia Hídrica.**

Área de Concentração: Geração Hidroelétrica

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Lucio Tiago Filho

**Dezembro de 2023
Itajubá**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA HÍDRICA**

Pedro Augusto Siqueira Costa

**Avaliação da Variação da Garantia Física em
Função das Mudanças do Regime Hidrológico da
Bacia e da Motorização dos Grupos Geradores
das Pequenas Centrais Hidrelétricas**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 13 de dezembro de 2023, conferindo ao autor o título de ***Mestre em Ciências em Engenharia Hídrica.***

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho (Orientador)
Prof. Dr. Ivan Felipe Silva dos Santos
Prof. Dr. Antonio Carlos Barkett Botan

Itajubá
2023

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, o Criador de todas as coisas. É Ele quem nos dá a vida e, com isso, a possibilidade de todas as outras coisas!

À minha amada esposa Claudilene, que tanto me apoiou durante toda essa dissertação e esteve comigo em todos os desafios desta fase. Eu te amo! Agradecimento especial aos nossos três filhos que estão no Céu e ao nosso pequeno José que todo dia traz alegria para casa!

Aos meus pais, Jussara e Laércio (*in memoriam*) e aos meus irmãos Kaio e Carlos Eduardo, que sempre fizeram tudo que estavam ao alcance para me ajudar neste caminho!

Ao Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho, meu orientador, a quem sou muito grato desde a pesquisa na graduação e orientador do meu TFG, ambos na UNIFEL. Agradeço o incentivo e os vários empurrões que me ajudaram a chegar até aqui. Não é somente um professor ou orientador, mas um grande amigo.

Aos professores que se dispuseram a participar desta banca e que com as aulas, com a experiência e com os trabalhos já publicados contribuem para esta dissertação.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Hídrica e à Universidade Federal de Itajubá pelas oportunidades criadas.

RESUMO

No cenário nacional, onde a fonte hidráulica é predominante, a Garantia Física (GF) de uma Central Hidrelétrica se torna um componente fundamental para desenvolver um planejamento energético eficiente e sustentável. A GF diz respeito ao quanto uma fonte é capaz de suprir de demanda assegurada ou outorgada. Um dos principais fatores que influenciam a geração por essa fonte é a disponibilidade hídrica. O presente trabalho avaliou a influência das variações hidrológicas sobre o montante da GF de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) em operação com o emprego dos seguintes critérios: consideração das perdas e dos rendimentos (turbinas, geradores e sistema de adução) fixos ou variáveis; aplicação de vazões médias mensal ou diária; extensão da série como completa ou últimos 15 anos; inclusão ou não da motorização da central. Foram usadas três metodologias, sendo uma delas o método atual, do Ministério de Minas e Energia (MME), a outra o Método dos Rendimentos Variáveis e, por fim, o Método da Potência Elétrica Unitária, desenvolvido nesta dissertação. Foi possível constatar que a disponibilidade hídrica das amostras está menor nos últimos anos, com certa influência de crises hídricas, e esse fator é refletido na GF, que em 100% das PCHs se apresentou menor quando a extensão da série foram os últimos 15 anos. Das PCHs avaliadas, em 7 delas não foi possível obter uma GF calculada acima da GF outorgada na ANEEL e, nas 2 em que foi possível, somente quando aplicada a série completa. Ainda, o Método do MME, que aplica vazões médias mensais, resultou nos maiores resultados em 100% das PCHs em comparação com os outros 2 métodos, que aplicam vazões médias diárias. O Método da Potência Elétrica Unitária, desenvolvida neste trabalho, foi o que apresentou em geral os menores valores de GF. A dispersão dos resultados foi relativamente alta, com casos em que o desvio padrão correspondeu a 13% do valor da média. Conclui-se deste trabalho que o Método da Potência Elétrica Unitária, por englobar mais critérios pertinentes ao processo de geração, parece ser o mais conservador e tem aderência com o que realmente acontece com a central hidrelétrica, sendo o método do MME para um cenário bastante otimista. Logo, este método pode ser importante para análises mais criteriosas em relação à GF. Complementarmente, ficou evidenciado que o uso de vazões médias diárias influencia significativamente no resultado da GF por retratar melhor a disponibilidade hídrica e que se deve ter uma avaliação cautelosa em relação à extensão da série de vazões porque, dependendo da sua extensão, alguns comportamentos e tendência de disponibilidade podem passar despercebidos.

Palavras-chave: Garantia Física; Pequenas Centrais Hidrelétricas; Energias Renováveis.

ABSTRACT

In the national scenario, where the hydraulic source is predominant, the Physical Guarantee (PG) of a Hydroelectric Plant becomes a fundamental component to develop efficient and sustainable energy planning. PG concerns how much a source is capable of supplying assured or granted demand. One of the main factors that influence generation from this source is water availability. The present work evaluated the influence of hydrological variations on the amount of PG of Small Hydroelectric Plants (SHPs) in operation using the following criteria: consideration of fixed or variable losses and efficiencies (turbines, generators and adduction system); application of monthly or daily average flows; series extension as complete or last 15 years; inclusion or not of the central motorization. Three methodologies were used, one of them being the current method, from the Ministry of Mines and Energy (MME), the other the Variable Efficiencies Method and, finally, the Unit Electric Power Method, developed in this dissertation. It was possible to verify that the water availability of the samples has been lower in recent years, with some influence from water crises, and this factor is reflected in the PG, which in 100% of the SHPs was lower when the series was extended over the last 15 years. Of the SHPs evaluated, in 7 of them it was not possible to obtain a PG calculated above the PG granted by ANEEL and, in the 2 in which it was possible, only when the complete series was applied. Furthermore, the MME Method, which applies monthly average flows, resulted in the highest results in 100% of SHPs compared to the other 2 methods, which apply daily average flows. The Unitary Electrical Power Method, developed in this work, generally presented the lowest PG values. The dispersion of results was relatively high, with cases in which the standard deviation corresponded to 13% of the average value. It is concluded from this work that the Unitary Electric Power Method, as it encompasses more criteria pertinent to the generation process, appears to be the most conservative and is in line with what actually happens with the hydroelectric plant, being the MME method for a very optimistic. Therefore, this method may be important for more careful analyzes in relation to PG. In addition, it was evident that the use of average daily flows significantly influences the PG result by better portraying water availability and that a cautious assessment must be made in relation to the length of the series of flows because, depending on its length, some behaviors and trends availability may go unnoticed.

Keyword: Physical Guarantee; Small Hydroelectric Power Plants; Renewable Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 – Renováveis e não renováveis no Brasil	18
Figura 2-2 – Renovável instalada no Brasil	18
Figura 2-3 – Capacidade instalada das PCHs no Brasil	23
Figura 2-4 – Crescimento das PCHs no Brasil	23
Figura 2-5 – Diagrama de nq_A	28
Figura 2-6 – Curva típica de rendimento de turbinas hidráulicas.....	29
Figura 2-7 – Detalhes de uma turbina Francis.....	30
Figura 2-8 – Detalhes de uma turbina axial.....	31
Figura 2-9 – Comparativo entre os rendimentos de turbinas axiais	32
Figura 2-10 – Detalhes de uma turbina Pelton	33
Figura 3-1 – Exemplo de curva de permanência	41
Figura 3-2 – Exemplo de gráfico de vazões mínimas	43
Figura 3-3 – Curva de duração de potência.....	44
Figura 3-4 – Exemplo de curva de energia.....	44
Figura 3-5 – Determinação da vazão de projeto.....	45
Figura 3-6 – Exemplo de potência elétrica unitária para central com 1 turbina.....	52
Figura 3-7 – Comparativo entre a potência elétrica unitária dos arranjos exemplificados	56
Figura 3-8 – Comparativo entre arranjos com quantidade de turbinas diferentes.....	57
Figura 5-1 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH I.	62
Figura 5-2 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH II.....	63
Figura 5-3 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH III.	64
Figura 5-4 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH IV.	65
Figura 5-5 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH V.	66
Figura 5-6 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH VI.	67
Figura 5-7 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH VII.....	68
Figura 5-8 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH VIII.	69
Figura 5-9 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH IX.	70
Figura 5-10 – Resultado da GF Calculada para a PCH I.....	73
Figura 5-11 – Resultado da GF Calculada para a PCH II.	74
Figura 5-12 – Resultado da GF Calculada para a PCH III.	74
Figura 5-13 – Resultado da GF Calculada para a PCH IV.....	75
Figura 5-14 – Resultado da GF Calculada para a PCH V.	75

Figura 5-15 – Resultado da GF Calculada para a PCH VI.....	76
Figura 5-16 – Resultado da GF Calculada para a PCH VII.....	76
Figura 5-17 – Resultado da GF Calculada para a PCH VIII.	77
Figura 5-18 – Resultado da GF Calculada para a PCH IX.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Panorama dos empreendimentos hidroelétricos.	24
Tabela 3.1 – Definição das variantes para o cálculo da GF das PCHs.....	59
Tabela 4.1 – Características principais das PCHs.	60
Tabela 4.2 – Parâmetros do grupo gerador das PCHs.	61
Tabela 4.3 – Vazões resultantes do estudo hidrológico das PCHs.....	61
Tabela 5.1 – Comparação entre a vazão de projeto outorgada e a calculada pelo Método Exedito.....	71
Tabela 5.2 – Energia elétrica unitária total para a série completa de vazões.	73
Tabela 5.3 – Diferença percentual entre a garantia física calculada para cada um dos métodos e a garantia física outorgada.	78
Tabela 5.4 – Série histórica versus série dos últimos 15 anos para cada metodologia.	78
Tabela 5.5 – Método do MME versus Método dos Rendimentos Variáveis.....	79
Tabela 5.6 – Método do MME versus Método da Potência Elétrica Unitária.....	79
Tabela 5.7 – Método dos Rendimentos Variáveis versus Método da Potência Elétrica Unitária.	80
Tabela 5.8 – Relações de média e desvio para todas as garantias físicas calculadas.	82
Tabela 5.9 – Relações de média e desvio para as garantias físicas calculadas exceto pelo Método do MME.	82
Tabela 5.10 – Relações de média e desvio para as garantias físicas calculadas para a série completa.	83
Tabela 5.11 – Relações de média e desvio para as garantias físicas calculadas para os últimos 15 anos.....	83

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Considerações Iniciais	13
1.2. Objetivos Geral e Específicos	14
1.3. Estrutura da Dissertação	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. Geração de Energia Elétrica no Brasil	17
2.2. Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)	19
2.2.1. O Histórico e Perspectiva das PCHs no Brasil	21
2.2.2. Classificação das PCH's	24
2.2.3. Garantia Física das PCHs	25
2.2.4. Turbinas Hidráulicas.....	27
2.3. Outras Fontes de Geração Hidráulica.....	34
2.3.1. Usina hidrocínética	34
2.3.2. Usina hidroelétrica reversível	34
2.3.3. Usina undimotriz	35
2.3.4. Usina Maremotriz	36
2.3.5. Geração híbrida.....	36
3. METODOLOGIA	38
3.1. Série de Vazões Médias Diárias	38
3.1.1. Caracterização da área	38
3.1.2. Estações fluviométricas e posto base.....	39
3.1.3. Séries históricas do posto base	40
3.1.4. Séries históricas para o local do empreendimento.....	40
3.1.5. Vazão média de longo termo (Q _{mlt})	40
3.1.6. Curva de permanência de vazões.....	40
3.1.7. Vazões máximas	41
3.1.8. Vazões mínimas.....	42
3.2. Vazão de Projeto	43
3.3. Cálculo da Garantia Física	46
3.3.1. Método dos Rendimentos Variáveis	47
3.3.2. Método da Potência Elétrica Unitária.....	50

3.3.3. Garantias física calculadas.....	58
4. ESTUDOS DE CASOS	60
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
5.1. Disponibilidade Hídrica	62
5.2. Vazão de Projeto segundo Método Expedito	71
5.3. Garantia Física das PCHs	72
6. CONCLUSÃO	85
APÊNDICE A – Crises Energéticas Ocorridas no Brasil	88
APÊNDICE B – Potência e Energia Elétrica Unitária.....	93
PCH I.....	93
PCH II.....	98
PCH III	103
PCH IV	108
PCH V	113
PCH VI.....	118
PCH VII.....	123
PCH VIII	128
PCH IX	133
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

A busca pelas necessidades básicas e pela melhoria da qualidade de vida das pessoas está concatenada com o uso da energia em suas diversas formas (MENDES; STHEL, 2018). O consumo de energia aumenta constantemente e tem aplicações variadas, como por exemplo, para trabalho (indústrias e comércios), para transporte, para iluminação pública, para uso residencial (conforto térmico e eletricidade em geral) etc (COLLAÇO, 2019).

O uso de energia não é uniforme, tanto analisando do ponto de vista do acesso à energia quanto sob o ponto de vista do consumo – regiões e países têm consumos bem diferenciados (COLLAÇO, 2019). A forma mais utilizada na atualidade é a energia elétrica. Uma das facilidades proporcionadas por ela é a conversão direta em outros tipos de energia. Há também a facilidade de transporte de energia, chegando aos usuários por meio de uma ampla rede de distribuição (FARIAS; SELLITTO, 2011).

A geração de energia elétrica pode ser comprometida por crises e elas acontecem por diversas razões. Podem-se citar entre essas razões os mercados de energia não regulamentados, o aumento da demanda concomitantemente ao baixo investimento em eletricidade, a crise macroeconômica, os desastres e as secas (HUNT; STILPEN; FREITAS, 2018).

Já ocorreram diversas crises no setor de energia elétrica brasileiro, de durações variáveis e atingindo regiões diferentes do país. Entre essas crises, destacam-se as de 1924 a 1925, 1950 a 1957, 1963 a 1964, 1986 a 1988, 1995 a 1999, 2000 a 2001 e, mais recentemente, 2014 a 2015, que ocorreram por diversas causas (HUNT et. al., 2022). A principal causa está relacionada com as condições climáticas e, uma vez que o Brasil tem em sua matriz elétrica dependência majoritária das hidroelétricas, a geração elétrica fica comprometida quando este recurso está escasso (HUNT; STILPEN; FREITAS, 2018).

Ainda que seja muito positivo o fato de que no Brasil a matriz elétrica tenha uma parcela significativa advinda de energias renováveis, a geração hidroelétrica, que é predominante na matriz, está sujeita às variações climáticas (MENDES; STHEL, 2018). Devido às incertezas referentes às condições climáticas, a geração elétrica a partir do recurso hídrico fica vulnerável e se tem uma maior dificuldade de previsibilidade (MELO et. al., 2019).

O planejamento energético é pautado nas demandas de energia, que leva em consideração aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos, e na disponibilidade de recursos – renováveis e não renováveis –, que vão gerar energia (TIEPOLO et. al., 2012).

Quando se trata em geração hidroelétrica, é de muita valia analisar os impactos da crise hidrológica na geração de energia elétrica, pois esta afeta a disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, o planejamento energético. A variação da disponibilidade hídrica tem bastante impacto na geração de energia das PCHs já que estas usinas operam sem reservatórios de regularização.

Particularmente, a presente dissertação se dedica na análise desse impacto em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) a partir da avaliação do montante de Garantia Física (GF) pelo Método da Potência Elétrica Unitária desenvolvido nesta dissertação.

Devido ao procedimento atual utilizado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) ter como base de cálculo da garantia física as séries de vazões médias mensais, na prática, a energia média gerada por várias PCHs têm, muitas vezes, se distanciado muito da garantia física contratada (TIAGO FILHO et. al., 2016a). Por essa e outras razões é necessário que se faça revisões para aprimorar a metodologia de cálculo da garantia física das PCHs. Inclusive, o MME (2015) na portaria n° 376 de 5 de agosto de 2015 propôs um grupo de trabalho com a incumbência de aperfeiçoar a metodologia atual.

Este tema de dissertação surgiu a partir de um trabalho que foi realizado para 9 PCHs dessas discussões a respeito dos critérios usados na metodologia adotada pela portaria n° 463 de 3 de dezembro de 2009 (MME, 2009), principalmente no que diz respeito às vazões e aos rendimentos a serem considerados para o seu cálculo. Como comentado por Silva (2017), é importante avaliar a metodologia atual para cálculo da garantia física a fim de diminuir as incertezas referentes ao cálculo e, conseqüentemente, os agentes do setor tenham mais segurança em relação aos empreendimentos hidrelétricos.

1.2. Objetivos Geral e Específicos

O presente trabalho tem como objetivo principal mostrar que o cálculo da Garantia Física tem parâmetros sensíveis na sua avaliação e que, caso fosse calculada pela série de vazões médias diárias, levadas em consideração as variações das perdas de carga, dos rendimentos das turbinas e dos geradores em função da variação vazão e aplicado o modo de

operação dos grupos geradores, o resultado seria diferente e refletiria um valor mais próximo da real energia gerada pelas centrais.

Para que seja possível essa avaliação, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Levantamento das características principais de cada PCH;
- Comparação entre a vazão de projeto da PCH e a vazão de projeto pelo Método Expedido;
- Avaliação do modo de operação dos grupos geradores;
- Desenvolvimento do Método da Potência Elétrica Unitária para o cálculo da garantia física;
- Desenvolvimento do Método da Energia Unitária para comparação de diferentes arranjos para uma mesma central hidrelétrica;
- Cálculo da Garantia Física das PCHs pelo método do MME, que considera vazões médias mensais, aplicando a série de vazões completa e dos últimos 15 anos;
- Cálculo da Garantia Física das PCHs pelo Método dos Rendimentos Variáveis, que considera vazões médias diárias, aplicando a série de vazões completa e dos últimos 15 anos;
- Cálculo da Garantia Física das PCHs pelo Método da Potência Elétrica Unitária, que considera vazões médias diárias, aplicando a série de vazões completa e dos últimos 15 anos;
- Avaliação dos resultados comparando a metodologia aplicada e a extensão da série (completa ou últimos 15 anos).

1.3. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em 06 capítulos que abordam sobre os seguintes assuntos:

No capítulo 1, Introdução, é tratado primeiramente sobre as considerações iniciais que dizem respeito a esta pesquisa, qual a sua relevância e os objetivos geral e específicos que se pretende alcançar. De forma concisa é apresentada também a estrutura da dissertação e a abordagem, em termos gerais, de cada tópico.

No Capítulo 2, Revisão Bibliográfica, é apresentado um panorama sobre a geração de energia em suas diversas fontes e o cenário das PCHs no Brasil, incluindo questões

históricas e regulatórias, bem como as definições pertinentes e a garantia física. Acrescenta-se no final uma parte sobre outras formas de geração de energia que usam a energia hidráulica.

No Capítulo 3, Metodologia, são expostas todas as etapas e os critérios utilizados na coleta das informações das PCHs e hidrologia, como também as metodologias e as considerações tomadas para calcular a garantia física desse tipo de central.

No Capítulo 4, denominado Estudos de casos, são mostradas as PCHs que são objeto desta pesquisa e as suas características principais quanto aos elementos necessários para o cálculo da garantia física.

No Capítulo 5, Resultados e Discussões, são apresentados os resultados obtidos e, em particular, a garantia física de cada PCH em todos os casos estudados (vazões médias mensais e vazões médias diárias, garantia física para a série histórica e garantia física para os últimos 15 anos), agrupados dentro de 3 métodos para determinação do seu valor. Em seguida, são discutidos os resultados obtidos.

No Capítulo 6, Conclusão, é apresentado um resumo de todos os resultados obtidos e o que se pode inferir deles.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Geração de Energia Elétrica no Brasil

A energia, desde as primeiras sociedades até o presente momento, tem uma relevância significativa na vida humana. Existe uma infinidade de atividades humanas na qual se faz uso de energia em suas diversas formas e, combinada com outros bens e serviços, a energia colabora para satisfazer necessidades do ser humano (BORGES NETO; CARVALHO. 2012).

A demanda por energia em todo o mundo tem sido cada vez maior, justificada por fatores como urbanização, crescimento populacional e desenvolvimento econômico e tecnológico, com expectativa de dobrar nas próximas quatro décadas. Uma das grandes preocupações em relação ao tema é a utilização de combustíveis fósseis devido ao seu impacto ambiental e, por causa disso, as fontes renováveis de energia e a geração de energia limpa têm se tornado cada vez mais relevantes (SAMATAR et. al., 2023).

Esse impacto ambiental diz respeito aos gases de efeito estufa emitidos pelos combustíveis fósseis, fato que não ocorre na geração oriunda de fontes de energia renováveis e limpas. Neste contexto, diversos governos e entidades têm se esforçado na promoção de políticas energéticas e investimentos no setor (CORTEZ; ANDRADE; SILVA, 2022).

Ao olhar o uso final da energia, percebe-se que a energia elétrica é a mais usada no mundo e isso se dá pela sua versatilidade, pois pode ser mais facilmente convertida em outras fontes de energia (CEPEL-CRESESB, 2014).

Pode-se dizer que o Brasil possui uma posição privilegiada no que concerne à geração de energia. A Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2022a) traz que, enquanto no mundo apenas 15,0% do consumo de energia, considerada em todas as suas formas de consumo (térmica, elétrica, etc.), provém de fontes renováveis, no Brasil esse consumo é de 48,4%.

Segundo os dados de geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2022), a potência fiscalizada das usinas em operação para geração de energia elétrica por fontes consideradas renováveis – biomassa, hídrica, solar e eólica – corresponde a 83% da potência fiscalizada total. A fonte hídrica, até novembro de 2022, representava 58% desse total e isso significa que entre as fontes renováveis 70% provém dessa fonte.

A partir dos dados do Balanço Energético Nacional de 2021 – BEN (EPE, 2022b), foram criados os gráficos a seguir, mostrados na Figura 2-1 e na Figura 2-2, que dão uma

perspectiva do cenário brasileiro em relação às fontes renováveis. É notável que houve um crescimento da participação das renováveis de 2014 a 2018, mas que depois disso a proporção entre elas foi praticamente constante. Por um outro lado, o crescimento das renováveis não se limitou na geração por meio de centrais hidrelétricas, de modo que em 2012 as outras fontes renováveis representavam 12,3% do total da capacidade instalada de fonte renováveis e em 2021 chegou a 27,4%.

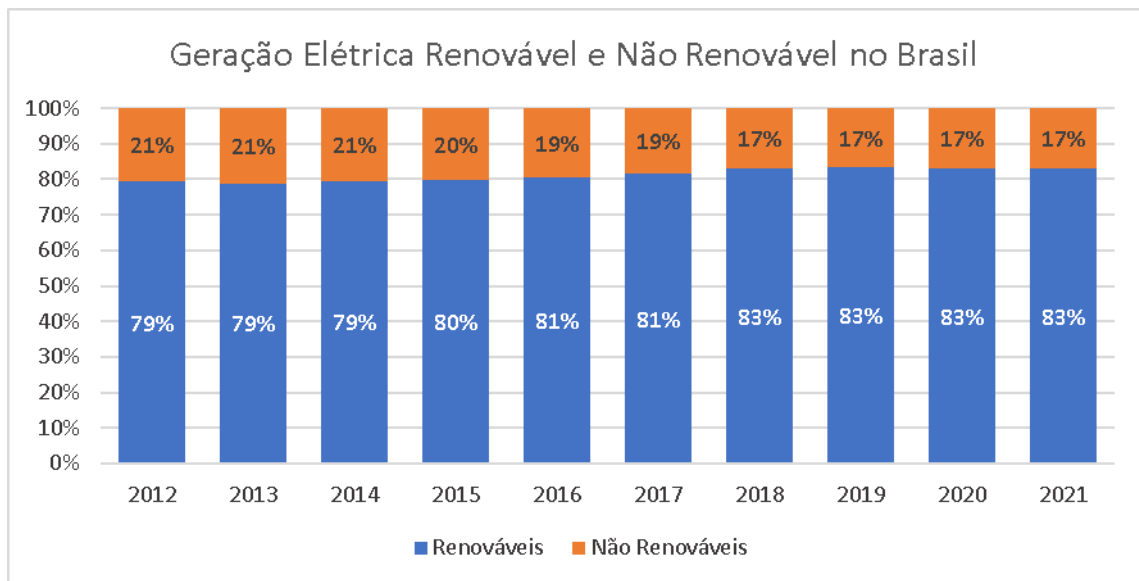


Figura 2-1 – Renováveis e não renováveis no Brasil

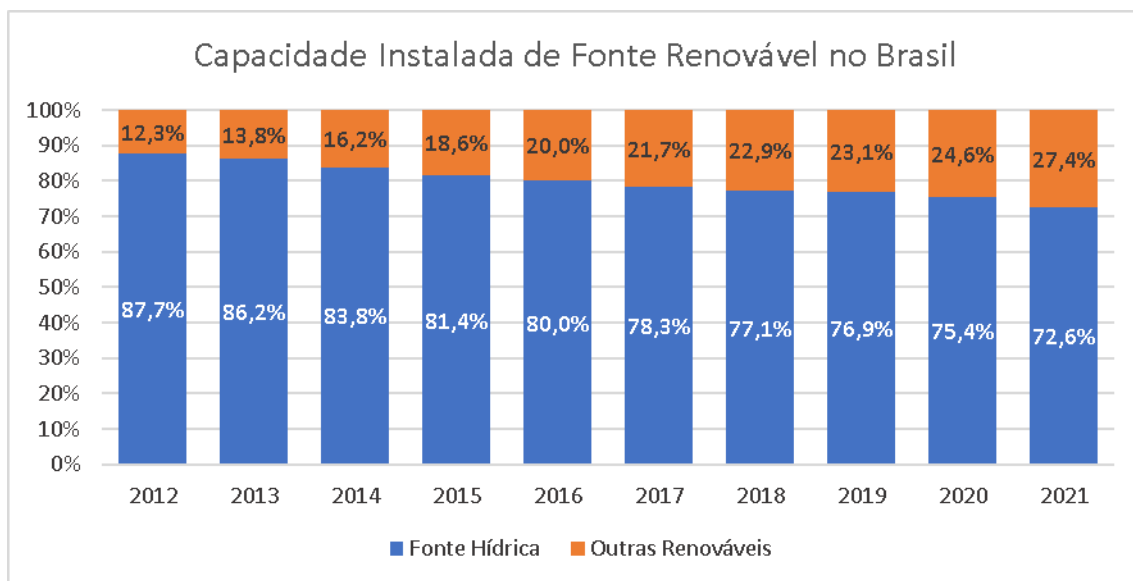


Figura 2-2 – Renovável instalada no Brasil

A participação de outras fontes renováveis de energia na matriz brasileira, diversificando-a, torna a geração de eletricidade menos vulnerável às secas e, conseqüentemente, resulta em uma maior segurança energética (PEREIRA et. al., 2020).

2.2. Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)

As centrais hidrelétricas são instalações dotadas de componentes eletromecânicos que aproveitam do potencial hidráulico disponível em um curso d'água transformando este potencial em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica (BOLL, 2022). Para a extração da energia contida no fluido através dessas centrais é necessário que haja um desnível do curso d'água, seja ele natural ou produzido artificialmente (uso de barreiras para represar água). A água é conduzida por meio de tubulações, passa por entre as pás do rotor fazendo-as girar. A energia mecânica disponível no eixo do rotor é convertida em energia elétrica por um gerador que fica acoplado ao rotor (LIMA, 2023).

A escolha do arranjo ideal para uma central hidrelétrica é resultado de um processo iterativo no qual se testam possibilidades de posição dos componentes e se avalia os custos, a geração e a viabilidade do projeto, inserindo na discussão outros temas como meio ambiente, meio social, segurança, turismo e até mesmo a navegação (OLIVEIRA, 2017).

A definição da quantidade de grupos geradores, o seu tipo e os custos associados à sua implantação dentro de uma central hidrelétrica é um fator muito importante para que as PCHs sejam mais competitivas frente às outras fontes renováveis, tendo em vista que as PCHs têm perdido o seu espaço no mercado de contratação de energia ou de reserva (ABREU, 2015).

As características topográficas têm uma grande influência na escolha da implantação, uma vez que as centrais hidrelétricas têm sido criticadas quando à área inundada. Uma relação tida como ideal para centrais hidrelétricas é uma geração de 10W por cada metro quadrado de área inundada. Dado isso, nota-se por exemplo a dificuldade de implementação de centrais hidrelétricas no Norte do Brasil que, apesar de ter uma disponibilidade hídrica considerável, possui uma topografia muito plana, gerando grandes áreas de alagamento (PERIUS; CARREGARO, 2012).

Em relação à sua implantação, é recomendado para uma grande central hidrelétrica que passe por seis etapas (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009):

- estimativa do potencial hidrelétrico: estimativa preliminar das características relacionadas à bacia);
- inventário hidrelétrico: definição do potencial hidrelétrico, identificando os aproveitamentos que maximizam a geração de energia sob o menor custo possível e que se obtenham poucos efeitos para o meio ambiente;
- estudos de viabilidade: definição da concepção, escolhendo a melhor alternativa técnica-econômica, levando em consideração aspectos de dimensionamento, de obras de infraestrutura e de uso múltiplo da água;
- projeto básico: detalhamento do aproveitamento, de forma a ser possível estabelecer o orçamento e elaborar os documentos necessários para a licitação (obras civis, fornecimento e montagem de equipamentos);
- projeto executivo: decisão quanto às medidas de implantação do reservatório e elaboração dos detalhamentos necessários para se executar a obra e montar os equipamentos de que a central é composta;
- execução da obra: execução das obras civis, instalação e testes dos equipamentos, sendo que, ao finalizar essa etapa, a central hidrelétrica pode operar; esta etapa pode ser realizada junto da etapa anterior.

Para centrais hidrelétricas de pequeno porte, é importante que se consiga simplificar os procedimentos e a implantação ideal consiste em duas etapas: os estudos de implantação e o projeto executivo concomitante à obra (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009).

Os principais componentes de uma central hidrelétrica são: barragem, tomada d'água, canal de adução, câmara de carga, chaminé de equilíbrio, vertedouro, conduto de baixa pressão, conduto de alta pressão (também chamado de conduto forçado), grupos geradores (turbina e gerador) e comportas (ABREU, 2015).

As pequenas centrais hidrelétricas possuem uma construção semelhante às grandes usinas hidrelétricas, sendo composta por barragem, sistema de captação e adução da água, casa de força e o sistema de devolução da água para o rio do qual se tem o aproveitamento (FRIEDRICH, 2010).

As Pequenas Centrais Hidrelétricas, juntamente com as Centrais Geradoras Hidrelétricas, são consideradas usinas de pequeno porte. Essas usinas são caracterizadas por, tipicamente, operarem a fio d'água, ou seja, aproveitamento da vazão natural dos rios com

uma acumulação de água no reservatório substancialmente inferior às usinas de acumulação (VASCONCELLOS, 2018).

2.2.1. O Histórico e Perspectiva das PCHs no Brasil

Até o final do século XIX, o aproveitamento da energia hidráulica tinha a finalidade de produzir energia mecânica. O uso da energia hidráulica como fonte para geração de energia elétrica iniciou-se no Brasil com a construção de uma hidrelétrica no município de Diamantina – MG –, aproveitando as águas do Ribeirão do Inferno que é afluente do rio Jequitinhonha. A instalação tinha 0,5 MW de potência e era provida de uma linha de transmissão de 2 km de extensão (ANEEL, 2008).

Em 1889 foi construída a Usina de Marmelos que hoje é conhecida por Marmelos Zero. Essa hidrelétrica foi construída pela Companhia Mineira de Eletricidade em Juíz de Fora – MG – e entrou em operação em 5 de setembro de 1889 (HAZAN *et al.*, 2011).

Houve um crescimento da construção de PCHs não muito significativo até meados da década de 1940. Apesar disso, em 1941 havia centenas de PCHs, construídas exclusivamente com capital nacional já que o capital estrangeiro era proibido por regulamentação neste setor (PERIUS; CARREGARO, 2012).

Em 1939 foi criado o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE) a fim de melhorar a legislação e cuidar das dificuldades relacionadas à oferta de energia. Em 1943 surgiu no Rio Grande do Sul a Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) para incentivar a indústria de energia elétrica que, entre seus objetivos, incluía o aproveitamento do potencial hidráulico. Com objetivo semelhante, foi criada em 1945 a primeira empresa de eletricidade do Governo Federal, a chamada Companhia Hidrelétrica do São Francisco, responsável pela construção da Usina Paulo Afonso no Rio São Francisco (CLAUBERG; HENKES; BECEGATTO, 2021).

Em 1961 foi criada a Eletrobrás, que favoreceu a instalação de centrais hidrelétricas no Brasil (PEREIRA, 2015). Apesar disso, entre 1950 e 1990 muitas PCHs tornaram-se inativas e a construção de novos empreendimentos quase não existia (PERIUS; CARREGARO, 2012).

Um dos pontos que fizeram a PCH perder força após 1950 foi a centralização do sistema de geração brasileiro, na qual houve uma priorização da construção das centrais hidrelétricas de grande porte para atender ao aumento expressivo da demanda por eletricidade.

Nos anos 80 foi criado o Programa Nacional de PCH (PNPCH), na qual a PCH foi considerada como um vetor para o desenvolvimento social (ANDRADE, 2006).

O Brasil primeiramente priorizou as grandes usinas hidrelétricas, enquanto as PCHs ganharam uma relevância maior quando foram classificadas como uma forma de energia renovável, principalmente pela crise de 2001 conhecida como “Apagão”. Inclusive as PCHs foram incluídas no Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFRA, programa com interesse em diversificar a matriz brasileira (FONTES; XAVIER; GUIMARÃES, 2008).

Atualmente, pode-se dizer que no Brasil há um sistema hidrotérmico de grande porte, no qual a fonte hidráulica se sobressai. No entanto, deve-se ter em conta que é um setor que sempre passa por transformações para garantir o fornecimento de energia contínua e eficazmente e as energias renováveis têm tido cada vez mais relevância, cenário em que cabe as PCHs (ANDRADE, 2006).

Para uma avaliação do cenário atual das PCHs, serão usados dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que é a responsável pelo acompanhamento nacional em relação à oferta e demanda de energia e anualmente disponibiliza um relatório denominado Balanço Energético Nacional (BEN) com estas informações. (FRIEDRICH, 2010)

Baseado no Balanço Energético Nacional de 2021 (EPE, 2022b), tem-se a Figura 2-3 que apresenta a capacidade instalada das PCH's no Brasil. Nota-se que elas tiveram um salto de 4101 MW em 2012 para 5513 MW em 2021, crescendo 34,43% nesse intervalo de tempo.

Tendo por fonte esses mesmos dados do BEN (2022), a Figura 2-4 expõe o crescimento em termos percentuais das PCH's no intervalo de 2012 a 2021, onde observa-se uma taxa de crescimento média de 3,34% ao ano. Destaca-se no gráfico que o ano de 2013 é o que teve um incremento na capacidade instalada mais expressivo, de 12,66% em relação à 2012, enquanto nos demais anos o crescimento foi menor, variando entre 1,13% e 3,68%.

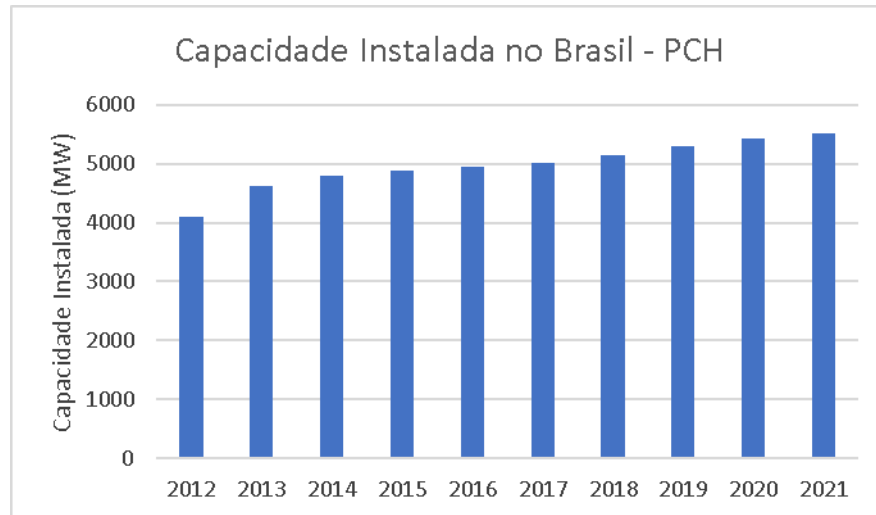


Figura 2-3 – Capacidade instalada das PCHs no Brasil

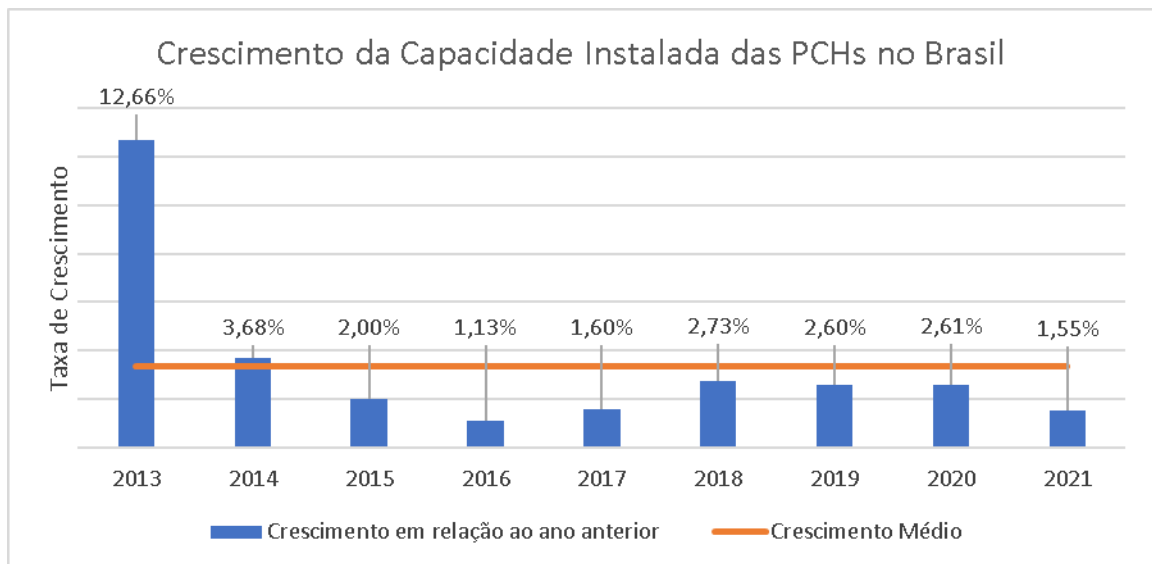


Figura 2-4 – Crescimento das PCHs no Brasil

Os dados disponíveis no, SIGA, que é o Sistema de Informações de Geração da ANEEL (ANEEL, 2022), mostram que hoje há 424 PCH em operação, com potência fiscalizada de 5.610,18 MW. Esse total representa 2,98% da potência total fiscalizada pela ANEEL, que equipara com a potência fiscalizada da fonte solar (3,73%).

A Tabela 2.1 – Panorama dos empreendimentos hidroelétricos. apresenta um panorama da fonte hídrica no Brasil dispo do empreendimentos que estão em fase de construção ou com construção ainda não iniciada, mas cuja potência já foi outorgada na ANEEL. Todos os dados estão disponíveis no SIGA (ANEEL, 2022). As PCHs se destacam com 83,09% da potência total no âmbito da fonte hídrica.

Tabela 2.1 – Panorama dos empreendimentos hidroelétricos.

EMPREENHIMENTOS - FONTE HÍDRICA							
Fase:	Em Construção		Construção Não Iniciada		Total		%
Tipo de Fonte	Potência (MW)	Quantidade	Potência (MW)	Quantidade	Potência (MW)	Quantidade	
UHE	50,00	1	262,00	3	312,00	4	16,45%
PCH	461,10	33	1.114,69	77	1.575,78	110	83,09%
CGH	6,70	3	2,00	1	8,70	4	0,46%

Caso todas as PCHs, as que estão em construção e aquelas nas quais a construção ainda não foi iniciada até o dia da consulta desses dados, sejam finalizadas e entrem em operação com a potência que foram outorgadas, haverá um incremento de 1.575,78 MW na capacidade instalada, crescendo, portanto, 28,09%.

2.2.2. Classificação das PCH's

As centrais hidrelétricas são comumente classificadas conforme a sua capacidade instalada e a área do reservatório. A seguir são apresentadas algumas definições que as pequenas centrais hidrelétricas já tiveram, bem como a atual definição segundo o órgão competente.

A Resolução N° 394 da ANEEL (1998) dispunha que as centrais hidrelétricas eram aquelas cuja potência fosse superior a 1MW e igual ou inferior a 30MW, desde que a área do reservatório não ultrapassasse 3,0 km² na cota d'água associada à vazão de cheia referente a um tempo de recorrência de 100 anos. Caso este limite do reservatório fosse ultrapassado, ainda poderia ser enquadrado como PCH desde que a Diretoria da ANEEL aprovasse. Para isso ocorrer, deveria ser enviado um parecer técnico contando com aspectos econômicos e sociais.

Segundo a ANEEL (2003), conforme a Resolução N° 682, os critérios de potência e da área do reservatório permaneceram semelhantes à resolução N° 394, porém a cota considerada para área do reservatório foi alterada para o nível d'água máximo normal de montante (nível máximo para operação normal da usina, que delimita a parte superior do volume útil). Também, nos casos em que se ultrapassa os 3,0 km² de área do reservatório, teria que atender uma inequação que relaciona potência elétrica, área do reservatório e queda

bruta – desde que a área não fosse superior a 13,0 km² – ou teria que comprovar que o dimensionamento teve por base outras finalidades fora geração de energia elétrica.

Em relação à Resolução Normativa N° 673 da ANEEL (2015), manteve-se os critérios aplicados na resolução anterior, acrescentando que a área do reservatório poderia alcançar até 13 km² sem considerar a calha do leito regular do rio e, sendo ultrapassado esse valor, poderia ainda ser considerado como PCH se mantido uma regularização no mínimo semanal ou caso o dimensionamento tenha sido baseado em outros critérios que não o de geração de energia elétrica.

A definição vigente é a estabelecida na resolução normativa N° 875 da ANEEL (2020) que estabelece que a PCH é o aproveitamento hidrelétrica cuja potência instalada é superior a 5MW e igual ou inferior a 30MW, com área do reservatório de até 13 km², sem ser considerada a calha do leito regular do rio. No entanto, a área pode ser superior a 13 km² desde que o reservatório seja de regularização pelo menos semanal ou que o dimensionamento foi baseado em critério diferente de geração de energia elétrica. A aferição da regularização considera o volume útil e a vazão máxima turbinada.

2.2.3. Garantia Física das PCHs

No contexto de energia de um empreendimento de geração, conforme o Decreto 5.163 de 30 de julho de 2004 (BRASIL, 2004), entende-se por garantia física a quantidade máxima de energia elétrica em um empreendimento, seja esta quantidade aplicada para comprovação de atendimento de carga ou para se fazer a comercialização através de contratos.

Segundo a Portaria N° 101 de 22 de março de 2016 (MME, 2016), cada empreendimento, seja ele despachado centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) ou não despachada, possui um cálculo específico para o cálculo da garantia física levando em consideração critérios diferenciados conforme o tipo de unidade geradora. A GF para as centrais hidrelétricas cuja operação é não despachada centralizadamente segue os critérios estabelecidos na Portaria N° 463 de dezembro de 2009 (MME, 2009).

A GF para as centrais hidrelétricas não despachadas centralizadamente muitas vezes não tem aderência com o valor efetivo de GF, ficando abaixo do esperado, muito por causa de se usar valores de referência bastante otimistas para a geração (TORTELLI et. al., 2016). É comum que a GF real esteja de 10 a 20% menor em relação à GF esperada devido à superestimação que há no atual método de cálculo (SILVA, 2016).

Alguns fatores podem influenciar negativamente o resultado da GF: série histórica de vazões inadequada para o empreendimento; perdas hidráulicas e elétricas subestimadas na fase do projeto; rendimento do grupo gerador aquém do rendimento definido em projeto e; metodologia de cálculo da GF (TORTELLI et. al., 2016).

Alguns trabalhos já propuseram avaliar a metodologia aplicada para o cálculo da Garantia Física de PCHs e complementações possíveis de serem feitas dentro dessa metodologia. O trabalho de Silva (2017) avaliou a elasticidade dos parâmetros que compõem o cálculo da garantia física. Em seu trabalho foram abordadas as influências do rendimento e da perda de carga. Foi proposto uma metodologia denominada de “menu regulatório” que faz uma adaptação da metodologia de ajuste de tarifas de distribuição de água, gás e energia elétrica de órgãos britânicos.

Vasconcellos (2018) fez um estudo com 24 usinas que não supriram, por algum motivo, a Garantia Física. Foram aplicadas várias metodologias de cálculo, considerando vazões médias diárias e mensais, vazão de corte das turbinas e perdas e rendimentos variados. Complementarmente, foi avaliado o uso de outros aproveitamentos (vazão remanescente e geração híbrida com eólica e solar) a fim de melhorar o suprimento de energia das usinas já existentes.

Quanto às vazões aplicadas no cálculo da garantia física, conforme analisado por Tiago Filho et. al. (2016a), o uso de vazões médias diárias para o cálculo é o que mais se aproxima da base horária na qual é obtida a geração do empreendimento. A GF quando se aplica as vazões médias mensais é influenciada pelas vazões extremas, principalmente, pelas vazões mínimas. Por exemplo, um mês com vazão média menor que o engolimento mínimo da turbina pode ser considerado sem geração enquanto, na verdade, poderia ser apenas em alguns dias sem geração.

É muito razoável se considerar vazões médias diárias ao invés de vazões médias mensais a fim de não ocultar essas vazões que são extremas, seja mínima ou seja máxima e, também, aumentar o tamanho da amostra. Desta forma, se poderia minimizar certas incertezas no cálculo da garantia física da central (ROSA, 2017).

No trabalho de Silva (2006), além de também evidenciar o impacto que ao adotar vazões médias diárias ao invés de mensais no método de cálculo da GF de centrais hidrelétricas não despachadas centralizadamente, realça que o tipo de turbina instalada no empreendimento também influencia no resultado da GF. Comparando dois dos principais tipos de turbinas empregadas em uma central hidrelétrica, tipo Francis e tipo Kaplan, nota-se que a relação entre a vazão mínima e a vazão nominal da turbomáquina é menor nas turbinas

Kaplan. Isto significa, tomando uma mesma vazão nominal para esses dois tipos de turbinas, a turbina Kaplan consegue engolir vazões menores, ampliando assim a disponibilidade de geração.

A atual metodologia de cálculo da garantia física para os empreendimentos não despachados centralizadamente considera vazões mensais e rendimentos na adução, na turbina e no gerador como sendo fixos. A aplicação da metodologia segundo esses critérios é passível de melhorias e acaba por deixar de considerar características inerentes ao processo de geração de energia por meio de central hidrelétrica.

Por esse motivo foi proposto neste projeto avaliar a garantia física considerando também vazões médias diárias e que os rendimentos são variáveis de acordo com a vazão que a central hidrelétrica está operando. Ademais, acrescentou-se uma análise em relação à motorização da central hidrelétrica.

2.2.4. Turbinas Hidráulicas

As turbinas hidráulicas fazem parte do grupo de máquinas cujo meio operante é um fluído, podendo ser chamada de máquina de fluxo. O funcionamento de uma máquina de fluxo acontece por meio da variação da quantidade de movimento. Basicamente, pode-se dizer que ela é composta por dois sistemas, um sistema chamado de diretor (ou distribuidor), no qual estão as paletas e os suportes, e um segundo sistema que é o rotor, formado pelas pás e os suportes (BRAN; SOUZA, 1980).

Existem várias classificações para as máquinas de fluxo como, por exemplo, a classificação em relação à direção da conversão de energia (máquinas geradoras ou motrizes) e a classificação em relação à trajetória do fluido (fluxo axial, fluxo radial, fluxo misto, fluxo tangencial, fluxo transversal e fluxo inclinado), como relata Conte (2020).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – (2016) traz ainda uma outra classificação, separando as turbinas hidráulicas em dois grupos: um denominado Turbinas Hidráulicas de Ação, que se refere às turbinas no qual o escoamento pelo rotor acontece sem haver variação de pressão, e outro denominado Turbinas Hidráulicas de Reação, que se refere às turbinas no qual o escoamento pelo rotor acontece havendo variação de pressão.

Existem vários tipos de turbinas hidráulicas e isso faz com que, para um mesmo potencial, mais de um tipo possa ser aplicado, isto é, há regiões de superposição no campo de aplicação. Para estes casos, outros critérios como custo do gerador elétrico, custo das obras civis, facilidade de manutenção, flexibilidade de operação e possibilidade de cavitação devem

ser levados em consideração. No entanto, em alguns casos existe predominância de alguns tipos de turbinas (HENN, 2012).

Um parâmetro importante para auxiliar na escolha da turbina adequada para um aproveitamento chama-se rotação específica. Este parâmetro relaciona a queda líquida e a vazão do empreendimento para uma rotação, baseado no fato de que os rotores de turbina que possuem igual geometria, também possuem igual coeficiente adimensional. A Figura 2-5 apresenta o campo de aplicação de turbinas hidráulicas com base na vazão específica referente à vazão (n_{qA}) no Sistema Internacional de Unidades – SIU (SOUZA, SANTOS e BORTONI, 2009).

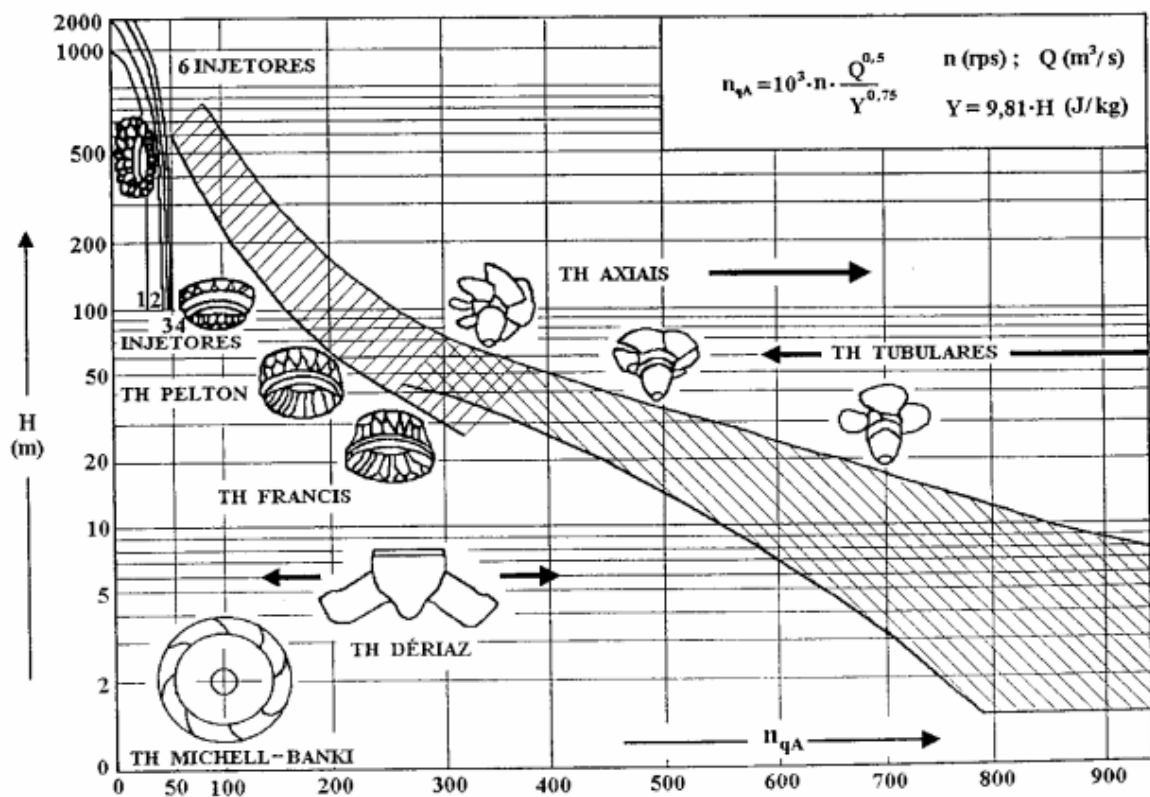


Figura 2-5 – Diagrama de n_{qA}

Fonte: Souza, Santos e Bortoni (2009)

Outros fatores podem auxiliar na escolha da melhor turbina a se aplicar, como o fenômeno da cavitação, o custo de implantação e a capacidade de estabelecer com rapidez o atendimento de carga (MUNHOZ; MARQUES, 2015). A cavitação é um fenômeno no qual se formam cavidades de vapor em um líquido e que, atingindo regiões de alta pressão, se colapsam. Tal colapso provoca vários efeitos indesejáveis. Entre eles: perda de rendimento da

turbina; vibração excessiva da estrutura; erosão nas pás do rotor da turbina (QUEIROZ, 2012).

Cada tipo de turbina apresenta uma curva de rendimento característica em função da vazão relativa (razão entre a vazão e a vazão nominal), apresentado na Figura 2-6 de onde se percebe que as turbinas do tipo Pelton e do tipo Kaplan são menos sensíveis à variação da vazão, enquanto as turbinas Francis e Hélice tem perda substancial de rendimento à medida que se diminui o fluxo de água que passa através dela (LARA, 2018).

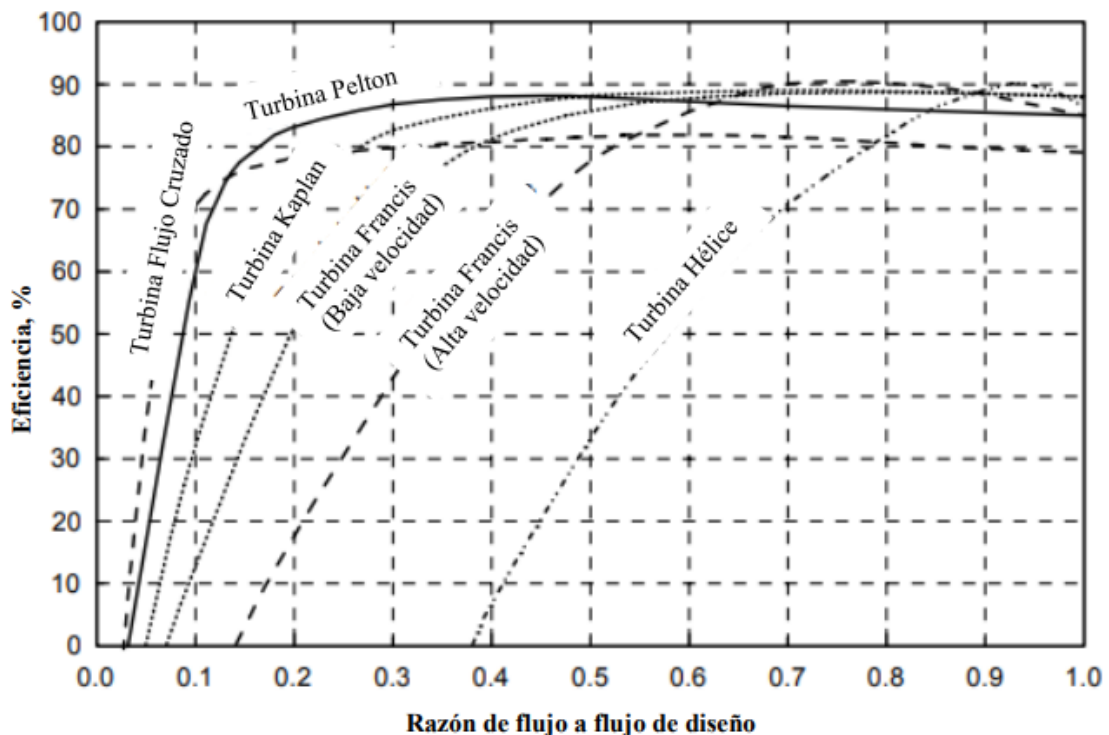


Figura 2-6 – Curva típica de rendimento de turbinas hidráulicas

Fonte: Lara (2018)

Entre as turbinas mais empregadas em centrais hidrelétricas, tem-se as turbinas do tipo Pelton, que são de ação, e as turbinas do tipo Francis, Kaplan e Bulbo, que são turbinas de reação (ALFAICA, 2020), sendo que as de reação representam cerca de 60% da quantidade de turbinas empregadas em hidrelétricas (KUMAR; SINGAL; GOHIL, 2024). A seguir uma síntese a respeito de cada um desses tipos de turbinas.

A) Turbina Francis

As turbinas do tipo Francis são as turbinas mais usadas, isso porque possui como uma das suas vantagens uma ampla faixa de operação. Neste tipo de turbina a água entra radialmente e, após passar pelo rotor, o escoamento segue axialmente. Quando a água atravessa pelas pás do rotor, promove a rotação da turbina a uma velocidade constante e então

há uma potência de eixo disponível no seu eixo. Este eixo fica acoplado a um gerador elétrico que converte esta potência de eixo em potência elétrica (KUMAR; SINGAL; GOHIL, 2024).

Através de um sistema servomotor, cujo acionamento acontece por meio de óleo hidráulico, é possível alterar o ângulo de ataque das pás diretoras móveis (distribuidor da turbina) e assim a turbina pode operar fora da sua carga plena (ALFAICA, 2020).

Esta máquina hidráulica pode ser aplicada entre 10m e 600m e com vazões variadas, podendo atingir até 1000 m³/s de engolimento. Quanto à sua montagem, pode ser fabricada para operar com eixo horizontal ou com eixo vertical, sendo esta última mais aplicada em centrais hidrelétricas de grande porte (CONTE, 2020).

Estas máquinas têm atingido as maiores potência por unidade, de magnitude em torno de 850MW (SOUZA, SANTOS e BORTONI, 2009). Seu rendimento ultrapassa 90%. Devido às suas características, esta turbina cobre um faixa considerável de aplicação (MAGRI JÚNIOR, 2016). A Figura 2-7 apresenta uma vista e corte de turbina Francis de eixo horizontal, onde pode ser visto seus principais componentes.

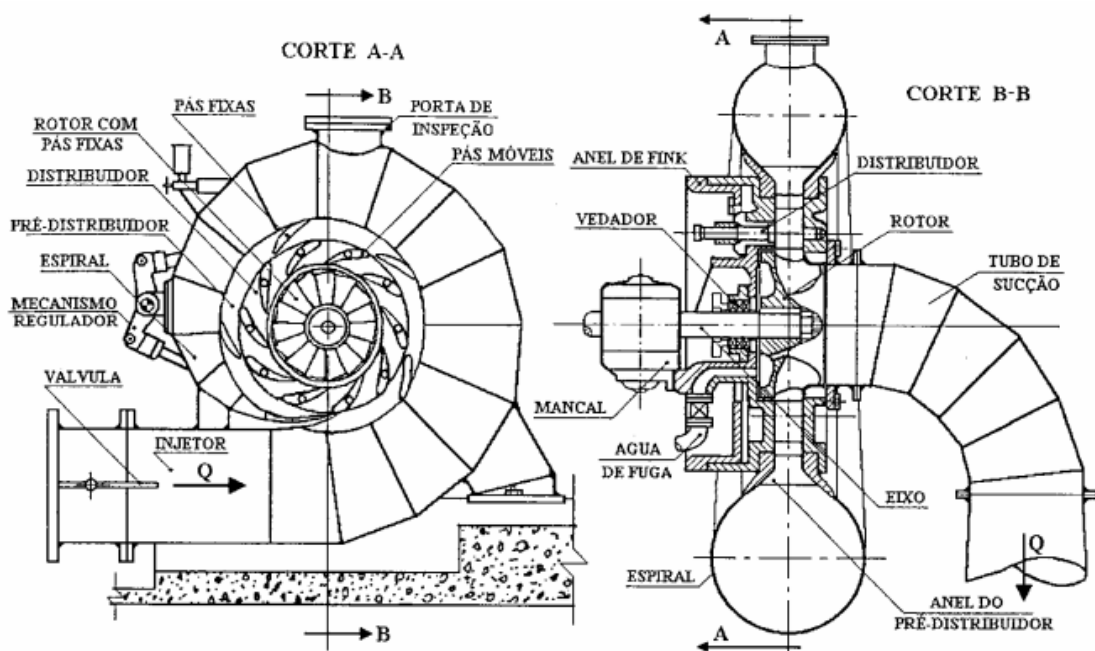


Figura 2-7 – Detalhes de uma turbina Francis

Fonte: Souza, Santos e Bortoni (2009)

B) Turbinas Hélice e Kaplan

As turbinas hélice e Kaplan são bastante semelhantes às turbinas Francis no que diz respeito à forma da carcaça e em seus componentes, diferenciando-se principalmente pelo rotor. O seu rotor é formado por um cubo no qual são fixadas as pás, cuja forma é dita de assa

de sustentação, comumente variando entre 2 e 8 pás. A diferença entre as turbinas hélice e Kaplan se dá na fixação das pás: nas do tipo hélice as pás são fixadas rigidamente ao cubo, enquanto nas do tipo Kaplan as pás são fixadas por meio de uma rótula que permite rotacioná-las em relação ao cubo (SOUZA, SANTOS e BORTONI, 2009). A Figura 2-8 expõe uma configuração típica de turbina do tipo axial, no caso, Kaplan.

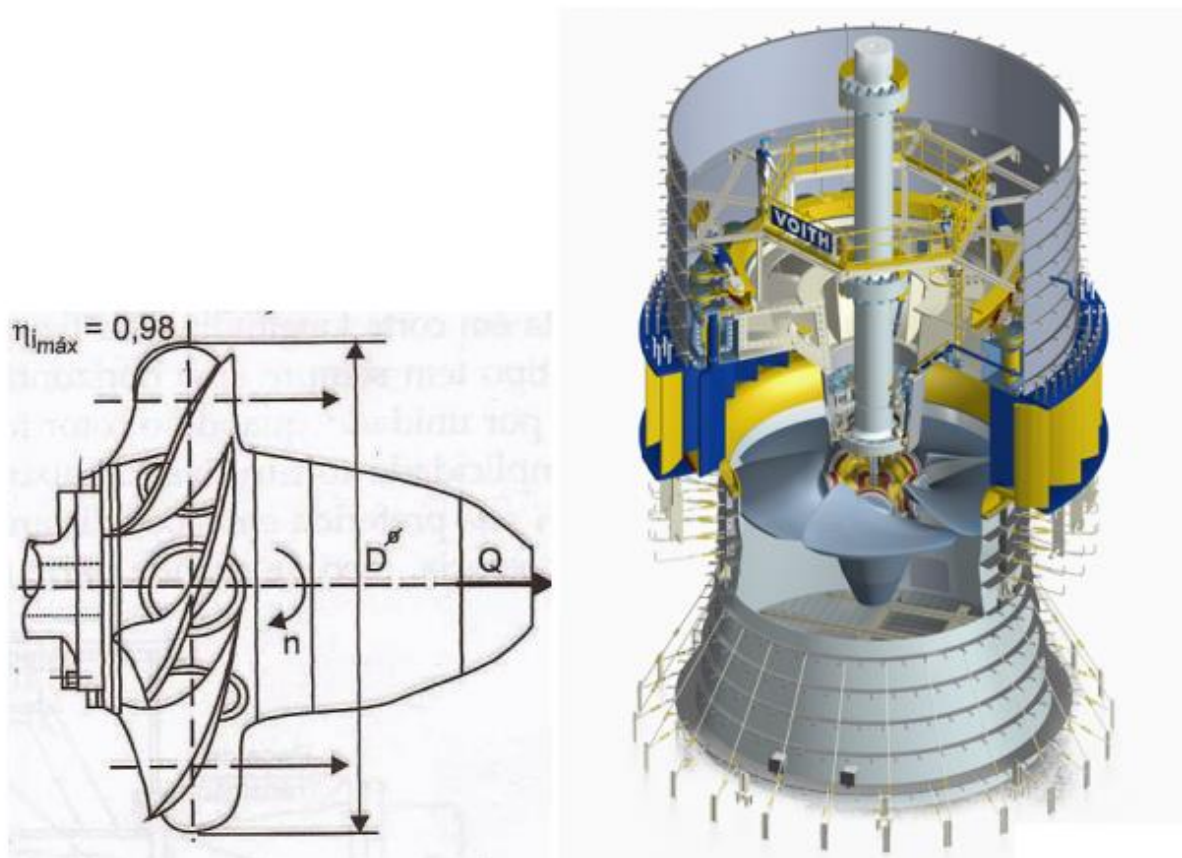


Figura 2-8 – Detalhes de uma turbina axial

Fonte: MAGRI JÚNIOR (2016)

Em relação à turbina Kaplan, há duas variações possíveis de serem feitas e são chamadas de Semi-Kaplan's. Estas turbinas podem ser fabricadas com paletas diretrizes do distribuidor fixas e pás do rotor ajustáveis ou com paletas diretrizes do distribuidor ajustáveis e pás do rotor fixas. Estas configurações são adequadas para melhorar o custo-benefício quando não se tem muita variação da vazão (RENEWABLES FIRST, sem data).

Uma característica importante que diferencia turbinas hélice e Kaplan é quanto ao comportamento do rendimento. A curva de rendimento da turbina hélice é bastante aguda, isto significa que é sensível às variações de carga de modo que o seu rendimento cai drasticamente. Por outro lado, a curva de rendimento da turbina Kaplan é mais achatada, pois a regulagem das pás, em conjunto com a regulagem das aletas do distribuidor, permitem um

bom ajuste em relação à carga (SCHREIBER, 1977). A Figura 2-9 mostra uma comparação entre o comportamento típico esperado para cada uma dessas configurações.

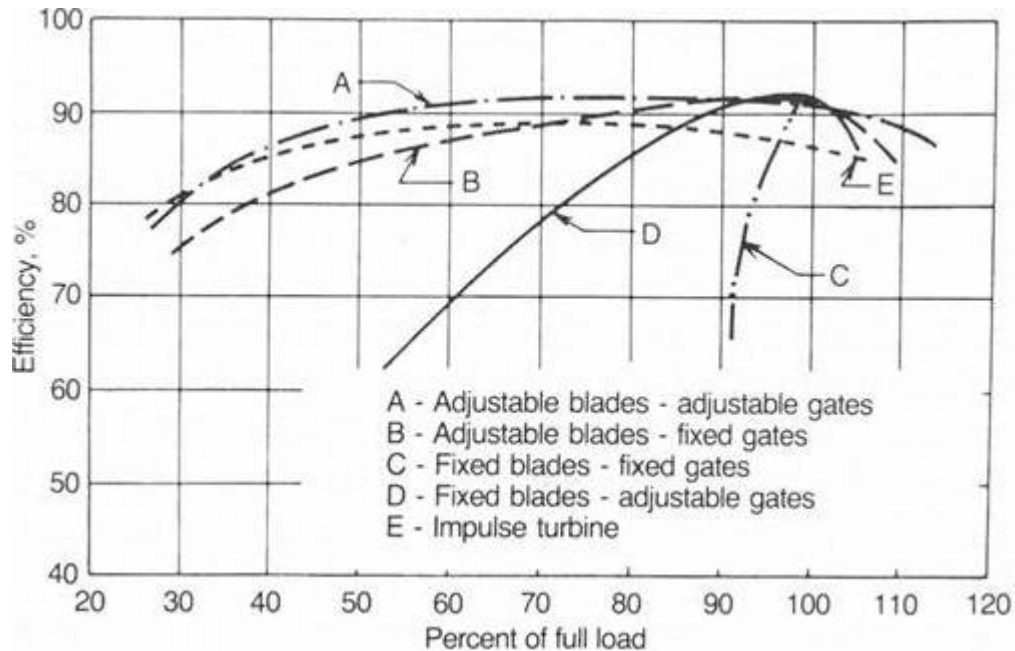


Figura 2-9 – Comparativo entre os rendimentos de turbinas axiais

Fonte: Renewables First (sem data).

Outras variações dessas turbinas axiais são (AZEVEDO, 2020):

- Turbina tubular: usadas em desníveis reduzidos, onde o tubo de escoamento tem eixo horizontal ou inclinado, e o alternador é fixado fora do tubo; o escoamento é conduzido por um tubo de sucção;
- Turbina bulbo: são consideradas como uma evolução do modelo anterior e possuem pás reguláveis como as turbinas Kaplan. Diferencia-se por ter um bulbo no tubo de adução onde fica alojado o sistema de transmissão para acionamento de um alternador, ou pode alojar o próprio gerador elétrico, não necessitando de tubo de sucção. Tais condições reduzem o espaço que esta máquina ocupa na planta. Em contrapartida, limita-se as dimensões do alternador, resultando em problemas de resfriamento e aumento do custo em relação aos materiais para fabricação dos eixos e dos mancais;
- Turbina Straflo: neste tipo de turbina tem-se o alternador instalado em forma de anel em torno das pás do rotor, eliminando o sistema de transmissão e os acoplamentos com o gerador elétrico.

C) Turbina Pelton

A turbina Pelton é caracterizada por um rotor no qual no seu perímetro são fixadas pás em formatos de conchas que recebem jatos de água que fazem este rotor girar (MAGRI JÚNIOR, 2016). As centrais hidrelétricas com este tipo de turbina operam em quedas altas e vazões pequenas, cujo número de injetores varia de 1 a 6 jatos. Em centrais com 1 e 2 jatos, o eixo é horizontal, enquanto para as demais quantidades de injetores o eixo é vertical. Estas máquinas podem trabalhar com quedas em torno de 1900m e alcançar 100MW por unidade (SOUZA, SANTOS e BORTONI, 2009).

As conchas do rotor recebem um jato d'água, que provém de um ou mais injetores, com velocidade correspondente à queda líquida da central hidrelétrica. A rotação que o rotor alcança está relacionado à queda e ao diâmetro do rotor, enquanto à potência guarda relação com o diâmetro do jato. Para escolha da quantidade de injetores, existe um processo de avaliação de custo e aproveitamento total da vazão, já quando se tem um único injetor, o custo é mais barato, mas exige que as conchas sejam maiores e, conseqüentemente, o número de conchas no perímetro do rotor seja menor, reduzindo o aproveitamento total da vazão (SCHREIBER, 1977).

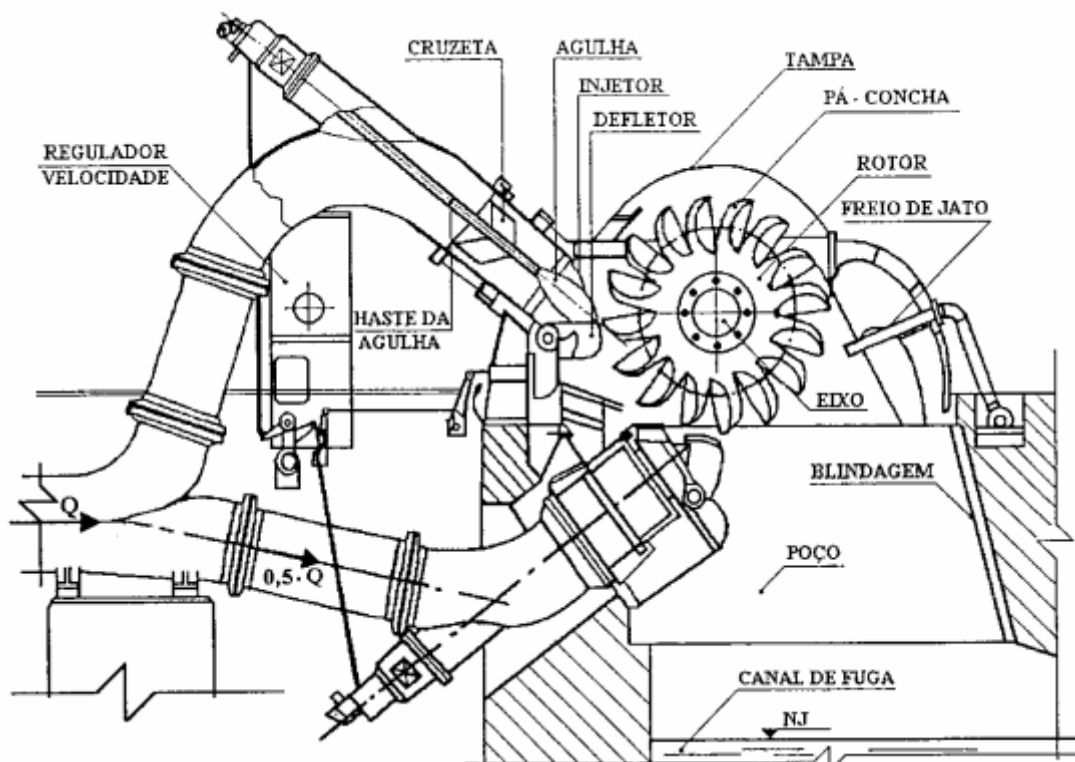


Figura 2-10 – Detalhes de uma turbina Pelton

Fonte: SOUZA, SANTOS e BORTONI, 2009

2.3. Outras Fontes de Geração Hidráulica

2.3.1. Usina hidrocínética

A usina hidrocínética se caracteriza por aproveitar a energia disponível nas correntes fluviais e marinhas dos rios, mares e oceanos. Diferentemente das centrais hidrelétricas convencionais, onde há represamento de água, as usinas hidrocínéticas são implantadas sem haver alterações substanciais no curso d'água (KHAN et. al., 2009).

A máquina usada para a conversão da energia dessas correntes de água em energia elétrica é um conjunto de turbina-gerador elétrico, similar a uma turbina eólica, diferenciando-se principalmente pelo fluido de operação (MIRANDA, 2018). Esta semelhança se dá pela configuração do rotor, pela taxa de conversão da energia em relação à velocidade do fluido, pelo coeficiente de potência e pelas características geométricas da pá. (TIAGO FILHO et. al., 2016b).

Os cinco tipos de turbinas aplicadas para conversão da energia hidrocínética são as turbinas de eixo horizontal de eixo vertical, de fluxo cruzado, Venturi e de vórtex gravitacional (KHAN et. al., 2023).

Devido à hidrografia e se ter uma vasta faixa litorânea, existe um grande potencial no Brasil para geração de energia elétrica através da energia hidrocínética (AMARAL, 2021). Miranda (2021) expõe que no litoral dos estados do nordeste e do norte do Brasil se tem um potencial superior a $0,5 \text{ kW/m}^3$, podendo atingir até $0,83 \text{ kW/m}^3$, e este índice é bastante expressivo uma vez que existem simulações que apontam que somente em 8 regiões do mundo se encontra algo semelhante.

2.3.2. Usina hidroelétrica reversível

A usina hidroelétrica reversível é muito parecida com uma usina hidrelétrica convencional, distinguindo-se por ter o reaproveitamento das águas que passaram pelas turbinas hidráulicas para gerar energia elétrica. Como na central hidrelétrica, a água fica armazenada em um reservatório superior e depois é conduzida por condutos para passar pelo rotor. Após essa passagem pelo rotor da turbina, a água é bombeada para o reservatório superior para que seja turbinada novamente, fazendo um ciclo (LEVI et. al., 2022).

As usinas reversíveis se enquadram nas usinas de armazenamento de energia elétrica, que consiste em converter um tipo de energia em outra forma de energia, como cinética,

potencial e química, a fim de que quando for necessário, ser transformada novamente em energia elétrica. No caso da usina reversível, ela aproveita o excedente de outras fontes de energia mais suscetíveis à variação diária e sazonal (ventos, radiação solar, maré, disponibilidade hídrica, etc.) para bombear a água para o reservatório superior e então deixar a energia potencial disponível para convertê-la em energia elétrica nas horas de maior demanda (CANALES; BELUCO; MENDES, 2015).

Entre os tipos de armazenamento de energia renováveis, as usinas hidroelétricas reversíveis são as com maior custo-benefício, porém, dependem de uma boa localização geográfica que permita a instalação desta modalidade de usina. Os sistemas de armazenamento de energia são importantes para garantir a estabilidade da rede elétrica uma vez que a expansão do uso de energias renováveis engloba fontes de energia que são intermitentes (BONILLA-CAMPOS; SORBET; ASTRAIN, 2022).

2.3.3. Usina undimotriz

A geração de energia através das ondas se enquadra no grupo das energias renováveis oceânicas e tem um grande potencial já que é um recurso com grande disponibilidade na natureza. Pode-se dizer que a conversão da energia das ondas em energia elétrica ainda está em um estágio imaturo e, por enquanto, seus custos são altos e a sua confiabilidade é baixa. Contudo, ela pode ser usada como uma fonte adicional junto de outros aproveitamentos de energias oceânicas (ZHOU et. al., 2023).

Existem vários tipos de dispositivos conversores de energia de ondas em energia elétrica e que estão sendo instalados e testados tanto em escala real como também em laboratórios de testes. Alguns dos tipos são: osciladores de coluna, atenuadores, absorvedores e galgadores (JAHANGIR; ALIMOHAMADI; MONTAZERI, 2023).

O Brasil tem alturas de ondas que variam entre 1 a 3 metros, cujo período predominante é de 5 a 12 segundos. Baseado nessas características estima-se que no Brasil se tenha como potencial de geração 35GW no Sul, 30GW no Sudeste e 22GW no Nordeste. No Porto de Pecém foi instalado um conversor de energia de ondas equipado com um sistema de bombeamento, um acumulador hidropneumático, uma câmara hiberbárica e um conjunto gerador com turbina Pelton. Basicamente, a energia de onda é aproveitada para que, com os sistemas de que é dotado o conversor, se obtenha água pressurizada para acionar a turbina e gerar energia (FLORÊNCIO; TRIGOSO, 2020).

2.3.4. Usina Maremotriz

As usinas maremotrizes são usinas semelhantes às usinas hidrelétricas. Estas usinas se baseiam no gradiente de maré: aproveitam do fenômeno da maré para acumular água em um reservatório, de modo que haverá um diferencial de altura de queda de água entre os lados da barragem e, quando atingir um nível de diferencial desejado, as comportas são abertas para geração de energia (BORGES; OLIVEIRA; LEITE NETO, 2022).

Quanto à operação de uma usina maremotriz, ela pode ser de simples ou duplo efeito. É de simples efeito quando a geração de energia aproveita unicamente a água do reservatório de acumulação. Nesse caso, as comportas são abertas no período de preamar para que o reservatório seja preenchido, podendo ou não haver um sistema de bombeamento para melhorar a acumulação de água, e no período de baixa mar se abrem as comportas para que o fluxo de água acione as turbinas e gerem, conseqüentemente, energia. É de duplo quando a operação da usina ocorre tanto no período de preamar – enchente – quanto no período de baixa mar – vazante, empregando turbinas do tipo reversíveis, não reversíveis com sistemas de canais e comportas ou mais de uma turbina não reversível (BOTAN, 2014).

Enquanto outras fontes intermitentes sofrem tanto pela dificuldade em se ter uma geração que não é constante como também de previsibilidade, as usinas maremotrizes são previsíveis, podendo conhecer a quantidade que será produzida de energia e em qual momento. Este fato acontece porque as marés ocorrem devido à fenômenos astronômicos conhecidos e previsíveis. Um destes fenômenos é a força gravitacional que a Lua e o Sol aplicam sobre a Terra (FERREIRA, et. al., 2011).

Em um estudo realizado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) foi estimado que no Brasil existe um grande potencial de geração de energia através de marés de 27 GW no Nordeste, cujas alturas variam entre 5 e 11 metros. Um dos projetos mais conhecidos é o que foi conduzido pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) na qual se visava o aproveitamento da energia das marés na barragem do rio Bacanga, em São Luiz (FLORÊNCIO; TRIGOSO, 2020).

2.3.5. Geração híbrida

Caracteriza-se a geração híbrida como sendo aquela onde duas ou mais fontes de energia, sendo convencionais ou não, são empregadas conjuntamente. Tal combinação

permite um melhor uso das características de operação de cada uma e podem ser obtidos rendimentos globais melhores (BAJPAI; DASH, 2012).

A geração híbrida, junto com os sistemas de armazenamento de energia, é uma solução que permite reduzir os efeitos gerados pela intermitência em algumas fontes de energia como a solar e a eólica. Estas fontes, por exemplo, não tem uma geração constante, mas que, combinadas, podem ser complementares para garantir um suprimento de energia mais confiável do que estas duas fontes aplicadas independentemente (PIRES et. al., 2023).

Atualmente tem-se uma gama de ferramentas que podem ser aplicadas para os estudos de geração híbrida, sendo o mais popular e amigável o software HOMER (AMPAH et. al., 2022). É possível fazer simulações, otimizações e análises de sensibilidade por este software e ele possui diversos tipos de componentes e fontes relacionados à geração de energia elétrica (KAPEN et. al., 2022).

As combinações de fontes podem ser diversas: solar, eólica, hidrelétrica, hidrocinética, gerador à diesel, armazenamento de hidrogênio; pode ser conectada na rede ou fazendo o uso de baterias ou de célula de combustível; (CHISALE; ELIYA; TAULO, 2023; KAPEN et. al., 2022; KHAN et. al., 2023).

A geração híbrida de solar e eólica tem sido estudado para locais onde se tem predominância de ventos noturnos, equilibrando a não geração de energia das usinas fotovoltaicas durante a noite (GUIMARÃES; MESSIAS, NETTO, 2022), além de que os custos podem ser reduzidos devido a se ter uma infraestrutura compartilhada (PEREIRA et. al., 2020).

Uma outra possibilidade bastante estudada é o uso de painéis fotovoltaicos flutuantes alocados sobre a área do reservatório em usinas hidrelétricas (GUIMARÃES; MESSIAS, NETTO, 2022). O uso de painéis fotovoltaicos flutuantes tem como vantagens a economia de terras, uma menor necessidade de limpeza dos painéis comparada às outras instalações com painéis fotovoltaicos e a redução da evaporação de água. Em contrapartida, pode afetar as atividades marítimas e pesca e é um ambiente mais nocivo à estrutura metálica e componentes devido à corrosão (KHAN et. al., 2023).

A usinas hidrelétricas são capazes de retirar e retomar cargas rapidamente, tornando-se muito importante para controlar e ajustar a geração durante todo o tempo. A partir da integração da geração híbrida entre usina hidrelétrica e solar, além de aumentar a qualidade da geração solar, são mantidos por um tempo mais prolongado os níveis dos reservatórios de acumulação para garantir esta função de controle e ajuste da geração (ALENCAR; STEDILE; URBANETZ JUNIOR, 2018).

3. METODOLOGIA

O cálculo da GF de um empreendimento engloba uma série de fatores, como as características de máquinas e equipamentos (curvas de rendimento, limites de operação, etc.), características do arranjo (quantidade de turbinas, regra de operação dos grupos geradores, etc.) e a disponibilidade do recurso que está sendo aproveitado.

No caso de uma central hidrelétrica, cuja fonte é a hídrica, independente do seu porte se faz necessário dispor de uma série de vazões para o local de estudo que podem ser mensais ou diárias. Somente depois de dispor desta informação é que então se calcula a GF.

A primeira parte, que consiste em chegar a uma série de vazões, foi feita por uma equipe de trabalho formada por profissionais que atuam na área de engenharia ambiental e hídrica e que tem experiência na execução de estudos hidrológicos para a finalidade de geração hidrelétrica. É apresentado todas as etapas.

A segunda parte é propriamente o objeto de estudo desta dissertação, o cálculo da GF, no qual foi incorporado o método da potência elétrica estudo de motorização da central hidrelétrica que leva em conta o efeito da operação de duas ou mais turbinas hidráulicas na geração de energia (Método da Potência Elétrica Unitária). Intermediariamente foi realizado um estudo em relação à vazão de projeto pelo método expedito a fim de dar mais critérios para avaliação dos resultados obtidos na dissertação.

3.1. Série de Vazões Médias Diárias

Nesta seção será descrita, de maneira sucinta, as etapas utilizadas pela equipe de trabalho para obtenção da série de vazões médias diárias para cada uma das PCHs em análise e outros estudos que são feitos posterior à obtenção da série. A principal referência usada na metodologia está disposta no documento “Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas” (ELETROBRÁS, 2000).

3.1.1. Caracterização da área

As PCH's que são objeto deste estudo estão em operação no momento de escrita desta dissertação, foi fácil de se encontrar as coordenadas. As coordenadas de cada um dos empreendimentos foram obtidas usando-se das projeções UTM e Datum Sirgas 2000.

De posse das coordenadas foi localizado em cada PCH o curso de água do qual se aproveita o potencial e, a partir dele, extraídas algumas informações hidrográficas como o rio no qual esse curso d'água é tributário e a bacia e sub-bacia que está inserido.

Para obterem a área de drenagem da PCH, foram consultadas imagens de satélite georreferenciadas e cartas topográficas para o local de estudo, todas elas disponibilizadas por órgãos competentes. Entre estas consultas, pode-se listar algumas:

- Imagens com modelos de elevação de 90 metros de resolução espacial – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMPRAPA);
- Imagens com formato geotiff e com resolução espacial de 30 metros – Aster Gdem;
- Cartas topográficas – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- Cartas topográficas – Banco de Dados do Exército (BDGEX).

As imagens foram processadas por meio do software GLOBAL MAPPER ® e a partir delas realizou-se a delimitação da área de drenagem da bacia hidrográfica referente ao barramento de cada PCH. Feita a delimitação, calculou-se a área de drenagem.

3.1.2. Estações fluviométricas e posto base

Listou-se as estações fluviométricas na área da bacia hidrográfica com base no inventário da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) e filtrou-as levando em consideração fatores como a proximidade com as PCHs em estudo, a vazão específica, disponibilidade dados de vazão e de cotas, ter características semelhantes às do aproveitamento (clima, uso e ocupação, relevo, vegetação, tipo de solo, etc.), apresentar uma relação de área em relação ao do aproveitamento de no máximo 5 vezes maior ou menor, dentre outros que eram de interesse específico para cada PCH.

A avaliação da correlação dos dados das estações fluviométricas efetuou-se através de regressão linear nas estações que possuíam um período comum. Esta comparação foi realizada tomando de duas em duas estações desde que houvesse uma intercessão dos dados de pelo menos 5 anos sem falhas.

Para a escolha do posto base de referência, levou-se em conta se havia algum posto fluviométrico localizado no próprio curso d'água em estudo, a extensão da série de dados líquido e a inexistência – ou menor quantidade – de falhas ao longo da série. Uma vez definido o posto base de referência fez-se a delimitação e o cálculo da área de drenagem.

3.1.3. Séries históricas do posto base

O primeiro passo realizado para obtenção das séries históricas diárias e mensais das PCHs depois de escolhido o posto base de referência, foi a avaliação da consistência dos dados de medições de vazão. Este processo foi feito por meio do estudo da curva chave do posto base de referência, modelando-se matematicamente os períodos de dados em atenção aos períodos e intervalos de cotas que as formulações fossem válidas.

Dados à jusante das PCHs foram usados, quando necessário, para se fazer a extensão dos dados da estação base. Esta extensão consistiu na transposição de vazões através da relação de área de drenagem e, uma vez estendida, foi feito o preenchimento de falhas através das correlações com estações convenientes. Com a complementação e extensão de dados se obteve séries de vazões com uma quantidade bastante significativa de dados e completa para cada uma das estações de referência.

3.1.4. Séries históricas para o local do empreendimento

Provido da série histórica do posto base de referência foi realizada a transposição, via relação de áreas de drenagem, para os locais onde os aproveitamentos estão instalados. A relação entre as áreas é chamada de Fator de Transposição, fator pelo qual se multiplica as vazões do posto base de referência para chegar às vazões médias diárias e mensais. Além das séries, foi obtida a curva de permanência das vazões médias mensais, as vazões extremas, as vazões mínimas e a vazão média de longo termo.

3.1.5. Vazão média de longo termo (Q_{mlt})

A vazão média de longo termo foi calculada a partir da média aritmética das vazões médias mensais. Foram usados métodos estatísticos para o preenchimento das falhas e/ou completando a série pela média dos demais dados disponíveis.

3.1.6. Curva de permanência de vazões

A curva de permanência de vazões, também chamada de curva de duração de vazões ou curva de frequência acumulada de vazões é uma curva que relaciona a vazão com a

frequência com que ela ocorreu durante o período da série de dados, como pode ser visto no exemplo da Figura 3-1. Ela indica, portanto, a probabilidade que existe de uma determinada vazão ocorrer ou ser superada (SOUZA, SANTOS e BORTONI, 2009).

É comum representar simultaneamente a curva de permanência de vazão e a curva de vazão disponível, sendo esta última o resultado da vazão da curva de permanência subtraída da vazão sanitária. A vazão sanitária é obtida no estudo de vazões mínimas. A curva de permanência de vazões foi gerada para todas as PCHs.

Existem dois valores desta curva muito usados no estudo de vazões mínimas, a vazão de permanência $Q_{95\%}$ e a vazão de permanência $Q_{90\%}$, ambas extraídas de forma imediata, já que são valores usados para compor a curva de permanência (MENDES, 2007).

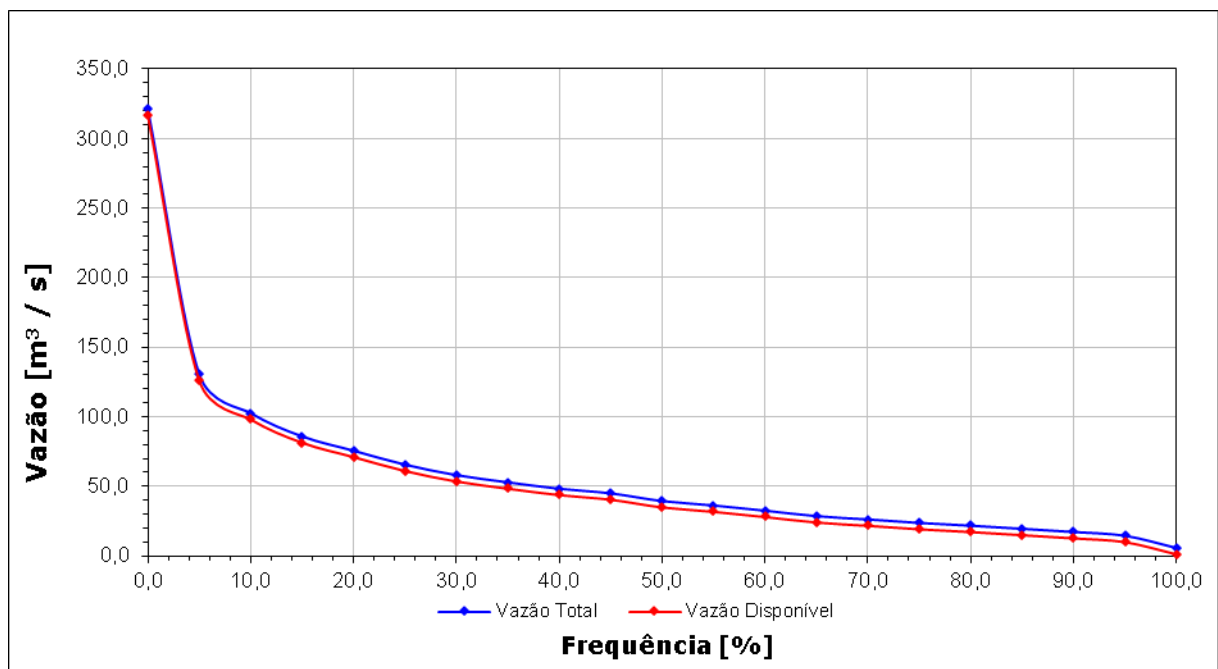


Figura 3-1 – Exemplo de curva de permanência

3.1.7. Vazões máximas

As vazões extremas, sejam elas as mínimas ou as máximas, foram calculadas a partir das recomendações dadas nas “Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas” (ELETROBRÁS, 2000). É recomendado para o estudo de cheias o ajuste pelas distribuições Exponencial de 2 Parâmetros e Gumbel.

As vazões máximas foram calculadas em dois períodos, um para o ano hidrológico (de outubro até setembro do ano subsequente) e outro para o período de estiagem (de maio a

outubro de cada ano hidrológico), avaliando-se qual distribuição se ajusta melhor aos dados e verificando-se as distribuições estão aptas para prever o comportamento dos dados máximo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), conforme sugerido pelo Manual de Estudos de Disponibilidade Hídrica para Aproveitamentos Hidrelétricos da ANA (2009).

Com o ajuste obteve-se o tempo de recorrência característico para cada PCH, que explicita a vazão máxima recorrente num determinado período e, posteriormente, as vazões máximas instantâneas pela aplicação da formulação de Füller.

Os estudos de vazões extremas são importantes para o dimensionamento das estruturas extravasoras. Dependendo do porte da obra, da sua localização, do cronograma de construção e do prejuízo que pode ser causado à jusante do empreendimento em caso de rompimento (análise de risco), os tempos de recorrência a serem avaliados podem ser distintos. Em cada PCH foram adotados os critérios adequados e, já que a PCH já foi construída, o estudo foi feito para o empreendedor comparar com resultados já obtidos anteriormente.

3.1.8. Vazões mínimas

Como visto no trabalho de Mendes (2007), De acordo com a região existem diferentes critérios para se avaliar a disponibilidade hídrica de um curso d'água e obter a outorga. Esses critérios são normalmente baseados nas chamadas vazão mínima $Q_{7/10}$ ou vazão de permanência ($Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$). a vazão denominada de $Q_{7/10}$, vazão esta que indica as vazões mínimas consecutivas durante 7 dias na qual a probabilidade de ocorrência é a cada 10 anos.

Para cada PCH foram consultadas as resoluções que estabelecem o regulamento do sistema de outorga das águas a fim de se obter a vazão de referência utilizada para o cálculo da disponibilidade hídrica, chamada de vazão residual, vazão remanescente ou vazão ecológica.

As vazões mínimas, da mesma forma que as vazões máximas, foram obtidas por meio de técnicas estatísticas como a distribuição estatística de extremos Assintótica Tipo I, com parâmetros determinados pelo Método dos Momentos e como o método dos mínimos quadrados para melhorar a relação entre os valores reais e os obtidos por meio das equações. Um gráfico típico relacionando as vazões mínimas e a sua respectiva frequência pode ser visto na Figura 3-2. Depois foi calculada a vazão $Q_{7/10}$.

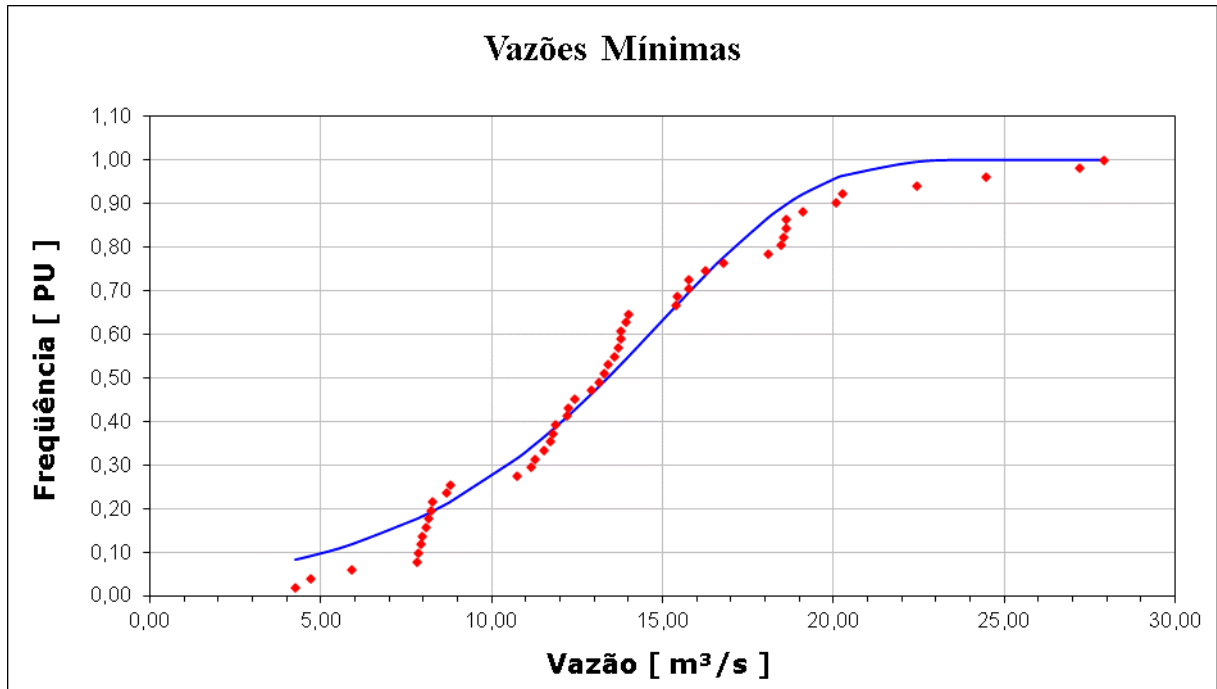


Figura 3-2 – Exemplo de gráfico de vazões mínimas

A vazão ecológica pode ser definida como uma vazão de referência mínima que deve permanecer no trecho do rio à jusante de um barramento ou de um ponto de retirada de água. Esta vazão de água ajuda a garantir certa qualidade da água compatível com o uso que se tem à jusante no rio. Um ponto a ser considerado, por exemplo, é a manutenção do habitat para os diversos peixes locais (COLLISCHONN et. al., 2006).

3.2. Vazão de Projeto

Conceitua-se como vazão de projeto a vazão nominal máxima que o conjunto de turbinas instaladas em uma central hidrelétrica é capaz de turbinar. Além do mais, esta vazão é usada como referência para o dimensionamento de vários componentes de uma central hidrelétrica (ABREU, 2015).

Segundo a Eletrobrás (2009), o estudo da vazão de projeto tem o objetivo de maximizar os benefícios da central hidrelétrica, e desta vazão se tem a potência a ser instalada. Quando se aumenta a potência instalada, aumenta-se consequentemente os benefícios energéticos, mas também os custos. Desta relação é recomendado que a potência da usina seja elevada enquanto os custos forem compensados pelo valor econômico dos benefícios.

Um dos métodos para determinação dessa vazão é o apresentado por Souza, Santos e Bortoni (2009), chamado de Método Expedito para Determinação da Vazão de Projeto. O primeiro passo da metodologia é a obtenção da curva de permanência de potência, que é o resultado da multiplicação das vazões do histograma de frequências percentuais das vazões (curva de permanência de vazão), já descontando a vazão sanitária, pela queda e pelos rendimentos. Chega-se a uma curva similar à da curva de permanência, como observado na Figura 3-3.

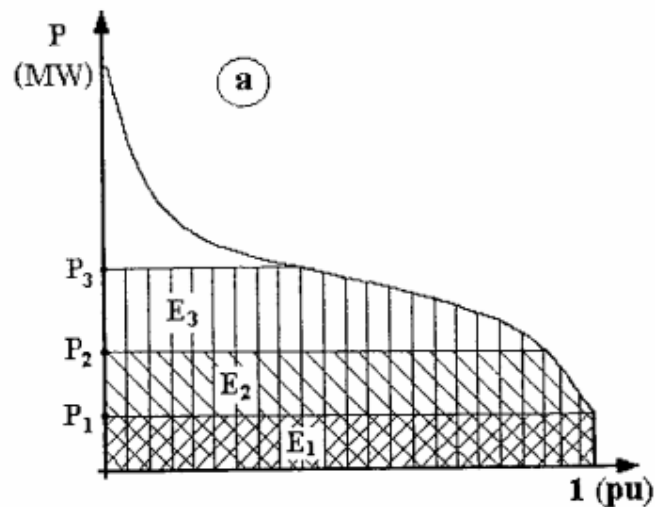


Figura 3-3 – Curva de duração de potência

Souza, Santos e Bortoni (2009)

Na curva de permanência de potência, a área abaixo dessa curva representa a energia possível de ser gerada pela central hidrelétrica. Fazendo-se a soma das energias E_1 , E_2 , E_3 e assim, sucessivamente, conforme Figura 3-3, será obtida uma curva semelhante à apresentada na Figura 3-4, chamada curva de energia.

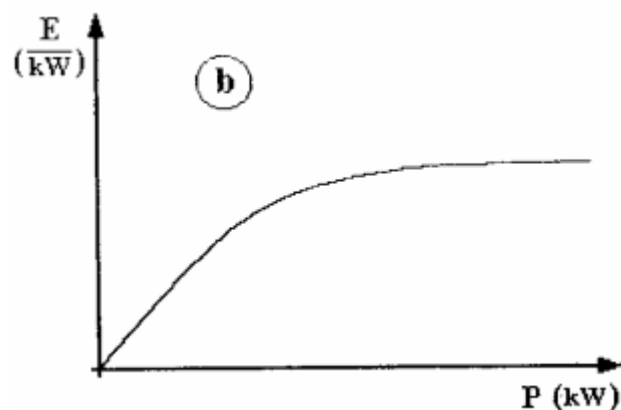


Figura 3-4 – Exemplo de curva de energia

Fonte: Souza, Santos e Bortoni (2009)

O ponto ótimo, do qual se define a vazão de projeto, é obtido conforme modelo apresentado na Figura. Primeiramente, traça-se duas retas, uma delas paralela ao eixo x e tangenciando a curva de energia (cor preta) e a outra é a curva com fator de capacidade igual a 1 (cor verde), que representa a usina operando sem ociosidade, isto é, operando na sua capacidade instalada todo o tempo. O ponto de interseção dessas duas retas representa o ponto ótimo de funcionamento do ponto de vista da energia, sendo a potência a ser instalada na central. A vazão de projeto é a vazão que corresponde a esta potência.

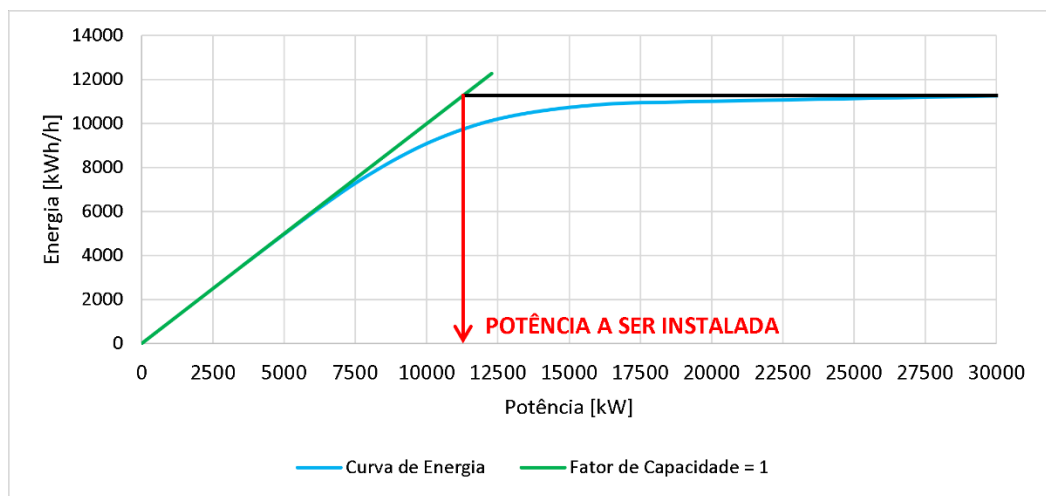


Figura 3-5 – Determinação da vazão de projeto

Com este método, busca-se um equilíbrio pelo qual a central hidrelétrica não desperdiça água nos períodos de chuva, aproveitando grande parte para geração e, ao mesmo tempo, durante o período de estiagem as turbinas são capazes de operar com rendimentos razoáveis.

É válido ressaltar que existem outros critérios que podem ser levados em consideração na escolha da vazão de projeto e existe também outros métodos para otimizar a escolha da potência. Um deles é o Método do Máximo Benefício Líquido, abordado por Santos et al. (2017) e que engloba aspectos econômicos como o valor médio da tarifa de energia elétrica, o fator de recuperação do capital, os custos de operação e de manutenção e o custo unitário do empreendimento (R\$/kW).

Se o custo unitário do empreendimento não for conhecido, pode ser estimado por exemplo, pelo Fator de Aspecto exposto por Tiago Filho, Santos e Barros (2017), que relaciona a rotação e a rotação específica das máquinas, parâmetros estes estritamente ligados ao formato físico da central.

Nesta dissertação foram avaliadas a vazão de projeto das PCHs somente através do Método Expedito.

3.3. Cálculo da Garantia Física

A Garantia Física de um empreendimento é calculada levando em consideração as características de cada tipo de fonte (eólica, solar, térmica, hidráulica etc.) e a modalidade em que ela se enquadra (despachada ou não centralizadamente). Por esse motivo, existem várias equações para este cálculo, cada qual de acordo com o empreendimento específico que se pretende obter a Garantia Física.

As PCH de pequeno porte não despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema têm sua GF calculada pela portaria MME n°463 de 3 de dezembro de 2009, cuja equação é expressa nos seguintes termos:

$$GF_E = \left[\sum_{i=1}^n \text{Min}(Q_i - (q_r + q_u)) \cdot 9,81 \cdot (H_b - h) \cdot \eta_{tg}; P \right]_{acima} \cdot (1 - Perdas_{con}) \cdot (1 - TEIF) \cdot (1 - IP) \cdot \frac{1}{n \cdot 1000_{abaixo}} - C_{int\ abaixo} \quad (3.1)$$

Onde:

GF_E (MWmédio): montante de garantia física de energia;

i : 1,2,...,n;

n : quantidade de meses considerado na série histórica de vazões (não inferior a 30 anos);

Q_i (m³/s): vazão média do mês i , cujo valor deve estar entre o valor máximo de engolimento da central e o engolimento mínimo da turbina;

q_r (m³/s): vazão remanescente;

q_u (m³/s): vazão de usos consultivos;

H_b (m): queda bruta nominal;

h (m): perdas hidráulicas nominais;

η_{tg} : rendimento do grupo gerador;

$TEIF$: Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada;

IP: Indisponibilidade Programada;

C_{int} (MWmédio): consumo interno;

$Perdas_{con}$: Perdas elétricas até o Ponto de conexão;

P (kW): Potência instalada.

Segundo esta mesma portaria do MME (2009), a TEIF e o IP são calculadas por equações específicas, No entanto, para este trabalho, foi consultada a Nota Técnica n° 065/2019-DPE/SPE, na qual são indicados os índices de 1,721% para a TEIF e de 4,228% para a IP para empreendimentos com até 29MW (MME, 2019).

Uma referência para o consumo interno e as perdas na conexão é a Nota Técnica n° 068/2013-SRG/SGH/ANEEL de 6 de setembro de 2013 (ANEEL, 2013). O consumo interno foi assumido com base nesta nota como sendo 0,3% da potência instalada na central hidrelétrica. Não foram consideradas as perdas por conexão já que não se todas as informações necessárias para fazer uma avaliação.

Os demais dados são obtidos da ficha técnica da ANEEL de cada empreendimento ou obtidos dos estudos hidrológicos e, com eles, já se tem todos os dados necessário para obter a garantia física segundo o método apresentado pelo MME.

Como já descrito em outras partes dessa dissertação, alguns parâmetros empregados nessa metodologia do MME são passíveis de se adotar outros critérios para se ter um valor de GF mais aderente com a realidade. A seguir serão descritos certos critérios adotados nesta dissertação que foram usados para o cálculo da GF.

3.3.1. Método dos Rendimentos Variáveis

O rendimento do grupo gerador é a multiplicação entre o rendimento nominal da turbina e do gerador. Na atual metodologia de cálculo da GF este rendimento é considerado constante. Porém, conforme comenta Vasconcellos (2018), o rendimento nominal da turbina é referente às condições nominais de operação e, para condições diferentes das nominais, o rendimento assume outros valores.

Mais de um fator tem influência sobre o rendimento. No entanto, será considerado um rendimento variável em relação à vazão de operação da turbina hidráulica. Como todas as turbinas das PCHs que compõe o estudo de caso são do tipo Francis, foi tomada a Equação 3.2, adaptada de Albuquerque (2019), para obter o rendimento da turbina de acordo com a vazão operada.

$$\frac{\eta_T}{\eta_{m\acute{a}x}} = -0,2608(\%Q_N)^3 + 0,1217(\%Q_N)^2 + 0,4974(\%Q_N) + 0,6414 \quad (3.2)$$

A vazão de projeto, referente à potência instalada, não necessariamente é a vazão nominal da turbina. A ficha técnica da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) informa a potência instalada e a vazão nominal da turbina e, para se determinar a vazão de projeto a ser considerada no cálculo da GF e o respectivo rendimento, foram usadas as Equações 3.2, 3.3 e 3.4.

$$P_{instalada} = 9,81 \cdot H_l \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot Q_P \quad (3.3)$$

$$Q_P = n \cdot Q_N \cdot (\%Q_N) \quad (3.4)$$

Onde:

$P_{instalada}$ (kW): Potência instalada;

H_l (m): queda líquida;

η_T : rendimento da turbina;

η_G : rendimento do gerador;

$\eta_{m\acute{a}x}$: rendimento máximo da turbina;

Q_P (m³/s): vazão de projeto;

Q_N (m³/s): vazão nominal unitária da turbina.

Na atual metodologia de cálculo o rendimento do gerador elétrico é tomado como constante. Na prática ele varia com a carga e, por isso, foi usada a Equação 3.5 (adaptado de ALBUQUERQUE, 2019) para ter uma estimativa. A Equação 3.5 correlaciona a potência de eixo de acordo com a vazão e a potência de eixo máxima.

$$\frac{\eta_g}{\eta_{gmax}} = 0,0951 \cdot \left(\frac{Pe}{Pe_{max}}\right)^3 - 0,2691 \cdot \left(\frac{Pe}{Pe_{max}}\right)^2 + 0,2512 \cdot \left(\frac{Pe}{Pe_{max}}\right) + 0,9227 \quad (3.5)$$

Onde:

η_g : rendimento do gerador na potência de eixo calculada;

η_{gmax} : rendimento máximo do gerador;

Pe : potência de eixo calculada;

Pe_{max} : máxima potência de eixo máxima.

Na ficha técnica das PCHs em estudo já vem indicada ou as perdas de carga na adução, ou as quedas bruta e líquida, podendo-se obter a perda de carga na adução pela diferença das duas quedas. No entanto, para este estudo não será adotado um valor constante, mas sim, tomando este parâmetro como variável com relação à vazão. Da Equação 3.6 de Julius Weisbach (WHITE, 2011), que representa a perda de carga distribuída, e da Equação 3.7 (WHITE, 2011), pela qual se calcula a vazão, substituindo uma na outra, chega-se à Equação 3.8.

$$h_p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (3.6)$$

$$Q = V \cdot A \quad (3.7)$$

$$h_p = f \cdot \frac{L}{2 \cdot D \cdot g} \cdot \frac{Q^2}{A^2} \quad (3.8)$$

Onde:

h_p (m): perda de carga adução;

L (m): comprimento do conduto de adução;

D (m): diâmetro do conduto de adução;

g (m/s²): aceleração da gravidade;

V (m/s): velocidade do escoamento;

f : fator de atrito do conduto;

A (m²): área do conduto;

Q (m³/s): vazão do escoamento.

O comprimento, o diâmetro do conduto de adução e a aceleração da gravidade são constantes. Como o diâmetro é constante, a área do conduto também será. O fator de atrito, conforme apresentado por Vasconcellos (2018), pode ser considerado como constante dado

que as características do escoamento e do tubo fazem com que este fator tenha um valor quase inalterado em relação à vazão. Agrupando essas constantes em um fator k , tem-se:

$$h_p = k \cdot Q^2 \quad (3.9)$$

Onde:

$$k = \frac{f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D \cdot A} \quad (3.10)$$

Com a vazão e perdas de projeto, se obtém a constante k da PCH. Provido do fator k , pode-se calcular as perdas na adução para a vazão do escoamento em cada dado de vazão da série e estimar as perdas hidráulicas, na forma de rendimento, pela Equação 3.11.

$$\eta_{ad} = \frac{H_B - h_p}{H_B} \quad (3.11)$$

Onde:

η_{ad} : rendimento na adução;

H_B (m): queda bruta de projeto.

Esta metodologia foi aplicada, por exemplo, no trabalho de Vasconcellos (2018), ainda que não se tenha propriamente o nome de Método dos Rendimentos Variáveis.

3.3.2. Método da Potência Elétrica Unitária

Um fator importante não considerado no método do MME e no Método do Rendimentos Variáveis O estudo de motorização dos grupos geradores consiste em estimar, com base nas características da central hidrelétrica (quantidade de grupos geradores, vazão de projeto, vazão das turbinas, vazão mínima de engolimento das turbinas e rendimentos) a regra de operação dos grupos geradores e poder comparar diferentes tipos de arranjos. O primeiro parâmetro a ser calculado é a potência elétrica unitária (p_{ele_unit}), conforme a Equação 3.12a e Equação 3.12b.

$$\begin{cases} \text{Para } Q_x/Q_P \geq f_Q: P_{ele_unit} = (Q_x/Q_P) \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{ad} \\ \text{Para } Q_x/Q_P < f_Q: P_{ele_unit} = 0 \end{cases} \quad (3.12a)$$

$$(3.12b)$$

Onde:

Q_x : de 0,01. Q_p a 1,00. Q_p ;

$f_Q = Q_{inf}/Q_N$: vazão relativa da turbina;

Q_{inf} : vazão mínima de engolimento;

Q_N : vazão nominal da turbina;

Q_P : vazão de projeto;

Q_x/Q_p : razão de vazão.

A vazão inferior (Q_{inf}), também chamada de vazão mínima energética ou vazão mínima turbinável (de engolimento) diz respeito à menor vazão que é possível de ser engolida pela turbina hidráulica considerando seu campo normal de atuação. Esta vazão inferior pode ter restrições de operação conforme indicado pelos fabricantes, podendo operar nessas condições por determinadas horas por ano. Normalmente, é obtida pelo produto da vazão nominal da turbina por uma fração da vazão inferior (ABREU, 2015).

Uma vez que nem sempre dispomos da vazão mínima inferior para fazer esta avaliação, como é o caso das PCHs em que foram feitos os estudos para esta dissertação, e tendo em conta que as turbinas do presente estudo são todas do tipo Francis, pode-se recorrer à Equação 3.13 (FUCHS; SOUZA; SANTOS, 1983) para estimar o seu valor para este tipo de turbina.

$$Q_{inf} = 0,248 + 2,714 \cdot 10^{-3} \cdot n_{qA} - 3,403 \cdot 10^{-6} \cdot n_{qA}^2 \quad (3.13)$$

No cálculo da potência elétrica unitária, em uma central com instalação de apenas uma turbina hidráulica, o cálculo se torna bem simples o resultado sai quase que imediatamente. É montado um gráfico com a potência elétrica unitária para cada razão de vazão (Q_x/Q_P). Um exemplo pode ser visto a seguir (Figura 3-5), na qual há uma única turbina na central, com $Q_{inf} = 0,3$.

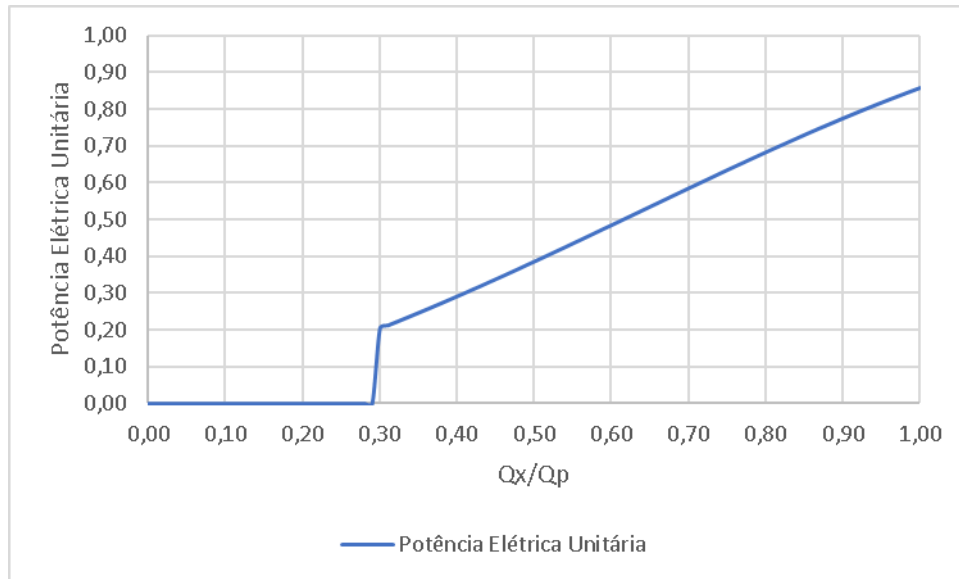


Figura 3-6 – Exemplo de potência elétrica unitária para central com 1 turbina.

Quando se tem mais de uma turbina na central hidrelétrica, é necessário que se faça mais algumas etapas.

Como visto em outras seções, a curva de rendimento das turbinas mostra que elas têm resultado melhor à plena carga e que o rendimento vai decrescendo à medida que a vazão operada se distânciava da vazão nominal. Por esse motivo, sempre que a razão de vazão (Q_x/Q_p) atingir o equivalente à vazão total do número de turbinas em operação menos um, será admitido que uma turbina deixaria de operar e as demais turbinas operariam à plena carga.

Como exemplo, consideremos uma central hidrelétrica com vazão de $30\text{m}^3/\text{s}$, arranjo com 3 turbinas, cada uma das turbinas com vazão nominal de $10\text{m}^3/\text{s}$ e com vazão mínima de engolimento de 50% da vazão nominal, portanto, $5\text{m}^3/\text{s}$. Quando a razão de vazão (Q_x/Q_p) estiver em 0,67, isto é, em $20\text{m}^3/\text{s}$, ainda que se pudesse operar as 3 turbinas em uma condição diferente do funcionamento à plena carga, seriam usadas 2 turbinas à plena carga a fim de que se tenha os melhores rendimentos da turbina hidráulica e do gerador elétrico.

Pode-se definir um parâmetro, denominado ponto de corte referente à capacidade das turbinas (PC_{ct}), que estabelece quais seriam as razões de vazão (Q_x/Q_p) em que é conveniente para a central operar com número de turbinas menos um (Equação 3.14). Para este cálculo, considera-se que as turbinas estão ordenadas da de maior vazão nominal para a de menor vazão (se turbinas com diferentes vazões nominal).

$$PC_{ct_i} = \left(\sum_{i+1}^n Q_{N_i} \right) / Q_p \quad (3.14)$$

Onde:

PC_{cti} : ponto de corte referente à capacidade das turbinas; é calculado para cada $n-1$ turbinas em operação;

Q_{Ni} : é a vazão das turbinas em operação em relação à vazão de projeto

n : número total de turbinas;

i : 1,2,3... sendo o número máximo igual a $n-1$.

Quando a vazão relativa da turbina (f_Q) é alta, como normalmente é para as turbinas do tipo hélice, antes mesmo da razão de vazão atingir ponto de corte referente à capacidade das turbinas já teria que ser desligada uma unidade geradora por causa da vazão mínima de engolimento não conseguir turbinar a vazão disponível.

Por exemplo, consideremos a mesma central descrita acima, porém com uma vazão relativa da turbina de 0,85. Como são turbinas iguais, quando a razão de vazão (Q_x/Q_P) estiver em 0,85, todas as turbinas estariam operando no limite da vazão mínima de engolimento. Ainda que não se tenha chegado no ponto de corte referente à capacidade (PC_{ct}) de 0,67, a central obrigatoriamente teria que operar com 2 turbinas. No intervalo entre 0,67 e 0,85 da razão de vazão, na prática a central operaria somente com 0,67 e o excedente seria vertido, sendo esta operação à plena carga no intervalo.

O próximo ponto de corte referente à capacidade das turbinas seria em um terço da vazão de projeto, isto é, 0,34, onde seria conveniente operar com 1 turbina ao invés de duas. Porém, mais uma vez, pelo fato de ser turbinas com vazão relativa de 0,85, quando a razão de vazão alcança 0,85 da vazão à plena carga das duas turbinas (0,67), que em valores seria uma vazão de razão de 0,57, uma das turbinas obrigatoriamente tem que ser desligada. Assim, no intervalo entre 0,57 e 0,67 as turbinas operariam com rendimento variando conforme curva de rendimento, em 0,57 uma turbina seria desligada e, entre 0,34 e 0,57 uma turbina funcionaria à plena carga.

Por último, a terceira turbina funcionaria até 0,85 de 0,35, onde então a central hidrelétrica deveria ficar inoperante já que, para qualquer razão de vazão inferior a este limite, a turbina de menor vazão mínima de engolimento não seria capaz de operar.

Pode-se definir um parâmetro, denominado ponto de corte referente à vazão mínima de engolimento (PC_{vme}), que estabelece quais as razões de vazão (Q_x/Q_P) em que a central necessariamente opera com número de turbinas menos um (Equação 3.15).

$$PC_{vme_i} = \left(\sum_i^n Q_{inf_i} \right) / Q_P \quad (3.15)$$

Onde:

PC_{vme_i} : ponto de corte referente à vazão mínima de engolimento das turbinas; é calculado para cada arranjo de turbinas em operação;

Q_{inf_i} : é a vazão mínima de engolimento das turbinas;

n : número total de turbinas;

i : 1,2,3... sendo o número máximo igual a n .

Dos pontos levantados acima surge que, para centrais hidrelétrica com mais unidades geradoras, para cada uma turbina que se tiver a mais serão necessárias equações para definir qual é a vazão relativa de operação da central (Q_{roc}). Esta vazão indica qual a razão de vazão real à medida que a central hidrelétrica opera em cada razão de vazão. Isto foi visto no último exemplo em que, apesar da vazão disponível estar na razão de vazão entre 0,67 e 0,85, em todo este intervalo a razão de vazão real foi de 0,67.

A Equação 3.16a e Equação 3.16b representam a situação na qual a vazão mínima de engolimento é alta e a central obrigatoriamente tem que operar com uma turbina a menos quando a razão de vazão for equivalente à algum ponto de corte referente à vazão mínima de engolimento (PC_{vme}). A Equação 3.17 representa a situação na qual a operação é definida pelo ponto de corte referente à capacidade da turbina (PC_{ct}).

$$\text{Para } PC_{ct_{i1}} < PC_{vme_i} \quad \begin{cases} PC_{vme_i} \leq Q_x/Q_P < PC_{ct_i}; Q_{roc} = Q_x/Q_P & 3.16a \\ PC_{ct_{i+1}} \leq Q_x/Q_P < PC_{vme_i}; Q_{roc} = PC_{ct_i} & 3.16b \end{cases}$$

$$\text{Para } PC_{ct_i} > PC_{vme_i}; Q_{roc} = Q_x/Q_P \quad 3.17$$

Com isso, já se pode ser calculada a potência elétrica unitária provisória, que seria a potência elétrica unitária conforme Equação 3.12a, porém, antes do último ajuste. Para todo o intervalo da razão de vazão (Q_x/Q_P), que para este trabalho foi o escolhido uma variação de 0,01 a 1,00, com passo de 0,01, são calculadas essas potências. Os rendimentos da turbina, do gerador e do sistema de adução são calculados conforme apresentado na seção anterior.

Depois de calculada a potência elétrica unitária provisória, é feita uma comparação entre o resultado em cada ponto e a potência elétrica unitária para as razões de vazão inferiores a que se está comparando. Se para uma razão de vazão menor tem uma potência elétrica unitária maior, então a potência elétrica unitária neste ponto passa a ser o mesmo que esta potência elétrica unitária maior. Pelo contrário, a potência elétrica unitária é mantida. Isso pode ocorrer porque os rendimentos são variáveis e, então, pode acontecer por exemplo que a potência elétrica unitária de 3 turbinas trabalhando fora da condição nominal seja menor do que 2 turbinas trabalhando à plena carga. Com isso, define-se a Equação 3.18a e a Equação 3,18b, na qual vai ser encontrada a potência elétrica unitária definitiva.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Para } P_{ele_unit_i} < P_{ele_unit_x}: P_{ele_unit_i} = \text{maior } P_{ele_unit_x} \\ \text{Para } P_{ele_unit_i} \geq P_{ele_unit_x}: P_{ele_unit_i} = P_{ele_unit_i} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} 3.18a \\ 3.18b \end{array}$$

Onde:

i : razão de vazão; varia de 0,01 a 1,0;

x : $0,00 \leq x \leq i$;

$P_{ele_unit_x}$: são todas as potências elétricas unitárias com razão de vazão inferior à razão de vazão de $P_{ele_unit_i}$.

A Figura 3-7 apresentam o resultado para os arranjos com 3 turbinas usadas nos exemplos anteriores, cada uma com uma vazão relativa da turbina diferente, considerando todas as equações acima definidas e adotados queda e rendimentos iguais para ambos os exemplos apenas para fins de construção dos gráficos. Pela Figura 3-7 é possível enxergar as diferenças existentes entre a potência elétrica unitária nos dois casos.

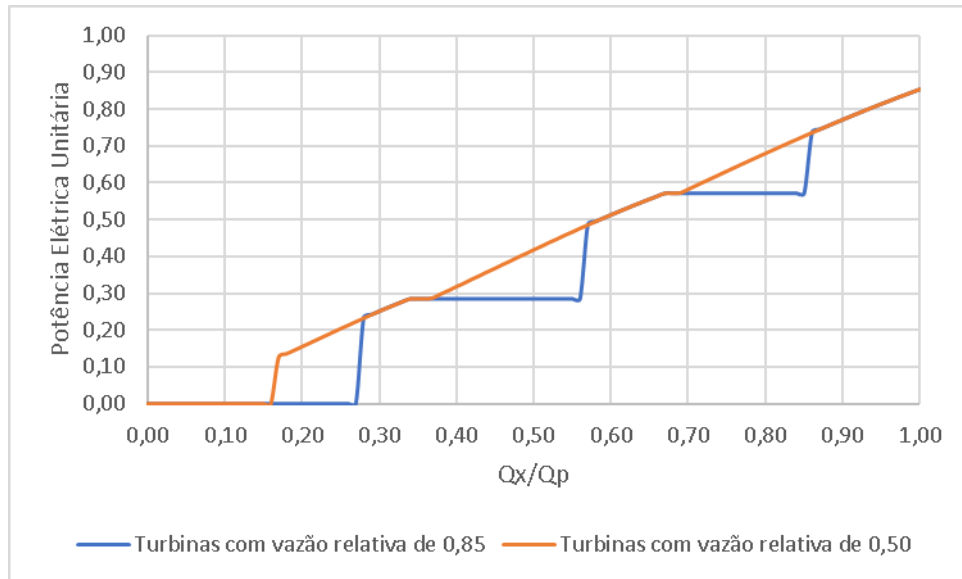


Figura 3-7 – Comparativo entre a potência elétrica unitária dos arranjos exemplificados

Percebe-se nitidamente da Figura que, para os arranjos propostos, na situação em que se tem turbinas com vazão relativa de 0,50, existem pontos em que a potência elétrica unitária é melhor e, isso significa, que nestes intervalos a potência operada pela central se sobressai neste arranjo. Ademais, neste arranjo, a central hidrelétrica opera para Q_x/Q_p menores, isto significa que aproveita vazões menores de operação.

Na Figura 3-8 um outro exemplo outros dois arranjos. O primeiro é um arranjo com duas turbinas de igual vazão ($15 \text{ m}^3/\text{s}$) e com vazão relativa das turbinas de 0,60, com rendimento máximo da turbina em 91% e rendimento máximo do gerador em 95%. O segundo com três turbinas de mesma vazão ($10 \text{ m}^3/\text{s}$) e com vazão relativa das turbinas em 0,8, com rendimento máximo da turbina em 89% e rendimento máximo do gerador em 97%. Ambos com as mesmas quedas.

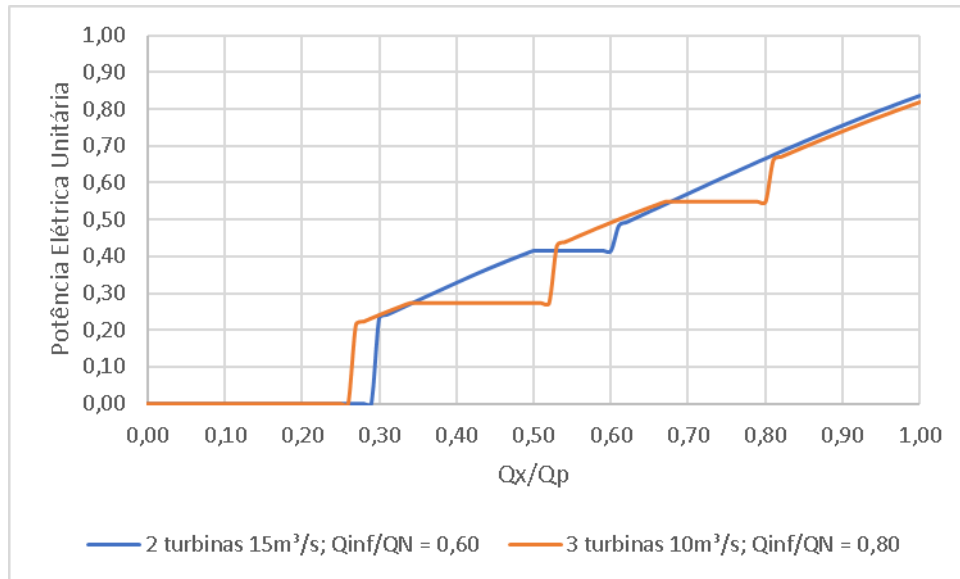


Figura 3-8 – Comparativo entre arranjos com quantidade de turbinas diferentes

O resultado mostrado na Figura 3-8 mostra que, para os 2 arranjos considerados, existem pontos onde um arranjo se sobressai e pontos em que o outro arranjo se sobressai. Por exemplo, no intervalo entre 0,53 e 0,68 da razão de vazão o arranjo com 3 turbinas tem uma potência elétrica unitária melhor, enquanto no intervalo de 0,34 a 0,53 o arranjo com 2 turbinas tem uma potência elétrica unitária melhor.

Disso se vê a necessidade de estabelecer algum outro parâmetro para acrescentar à potência elétrica unitária a fim de identificar qual arranjo tem uma previsão melhor de geração. Uma vez que a energia é potência multiplicada pelo tempo, pode-se usar a frequência de vazões (f_v) para cada Q_x/Q_P como unidade de tempo e multiplicar pela potência elétrica unitária, obtendo assim a energia elétrica unitária (E_{ele_unit}) conforme Equação 3.19. Para a frequência de vazões, considera-se que toda a vazão que está acima da vazão de projeto entra como um dado da frequência para $Q_x/Q_P = 1$.

$$E_{ele_unit_i} = P_{ele_unit_i} \cdot f_{v_i} \quad (3.19)$$

Onde:

i : varia de 0,01 a 1,00, conforme razão de vazão.

O somatório da energia elétrica unitária obtida para cada razão de vazão representa um montante de energia que a usina gera com base no histórico de vazões médias mensais em termos unitários, como apresentado na Equação 3.20. Este parâmetro será chamado de energia

unitária total (E_{unit_total}) e pode ser usado para comparar arranjos de centrais hidrelétricas. Será multiplicado por 1000 para que se tenha um número melhor para se comparar.

$$E_{unit_total} = \left(\sum_{i=0,01}^n P_{ele_unit_i} \right) \cdot 1000 \quad (3.20)$$

Onde:

i : 0,01, 0,02, ..., 1,00;

n : $Q_x/Q_P = 1$

O método da potência elétrica unitária, portanto, é um método que caracteriza o modo de operação da central hidrelétrica, isto é, a sua motorização de acordo com a vazão disponível para ser turbinada. Logo, a garantia física calculada pelo método da potência elétrica unitária avalia o efeito de se considerar uma regra de operação da central focando sempre em operar com a melhor potência elétrica.

3.3.3. Garantias física calculadas

A GF foi calculada de seis maneiras diferentes, diferenciando-se pela extensão da série histórica (completa ou últimos 15 anos) e pela metodologia aplicada (Método do MME, Método dos Rendimentos Variáveis e Método da Potência Elétrica Unitária). Foi definida uma nomenclatura conforme a Tabela 3.1, que se distinguem conforme abaixo:

- Método do MME: calculado conforme a metodologia explicitada na portaria do MME; são calculadas por esse método as garantias físicas GF1 e GF2;
- Método dos Rendimentos Variáveis: adaptação do método do MME, tornando os rendimentos variáveis conforme a vazão turbina; são calculadas por esse método as garantias físicas GF3 e GF4;
- Método da Potência Elétrica Unitária: é o método desenvolvido nesta dissertação que engloba, além de variação dos rendimentos, o modo de operação da central com base nos limites máximo e mínimo de engolimento das turbinas visando a melhor potência elétrica em todo campo de operação da central; são calculadas por esse método as garantias GF5 e GF6.

Tabela 3.1 – Definição das variantes para o cálculo da GF das PCHs

Garantia Física	Intervalo da Série		Método do MME	Método dos Rendimentos Variáveis	Método da Potência Elétrica Unitária
	Completa	Último 15 anos			
GF1	X		X		
GF2		X	X		
GF3	X			X	
GF4		X		X	
GF5	X				X
GF6		X			X

4. ESTUDOS DE CASOS

Para a realização dos estudos de garantia física de PCHs, foram cedidos dados por uma equipe de trabalho que realiza estudos hidrológicos para aproveitamentos hidroenergéticos. Foram fornecidos os seguintes dados de 9 PCHs que se encontram em operação: série histórica de vazões médias diárias; série histórica de vazões médias mensais; vazão sanitária; vazão para usos consuntivos; ficha técnica da ANEEL de cada uma das PCHs.

As 9 PCHs do estudo estão localizadas em quatro estados diferentes e engloba quatro bacias diferentes. Cada uma dessas bacias tem características diferentes e essas características são refletidas nos resultados.

A Tabela 4.1 apresenta as principais características das PCHs do estudo disponíveis na ficha técnica da ANEEL. A garantia física que foi outorgada junto a ANEEL foi conferida no próprio Sistema de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2022).

A Tabela 4.2 se refere às características dos grupos geradores que compõem cada uma das PCHs. Na Tabela 4.3 são trazidas algumas vazões importantes obtidas do estudo hidrológico.

Tabela 4.1 – Características principais das PCHs.

PCH's	Série Histórica	GF Outorgada (MW)	Potência Instalada (MW)	Queda Líquida (m)	Quantidade de Grupos Geradores
PCH I	jan/1977 a jun/2021	8,55	10,65	32,75	3
PCH II	jan/1977 a jun/2021	5,21	8	31	2
PCH III	out/1974 a mai/2020	7,02	12	89,15	2
PCH IV	jun/1969 a dez/2019	17,09	27	40,42	2
PCH V	jun/1969 a dez/2019	12,37	21	29,7	2
PCH VI	set/1930 a mar/2021	10,75	19	34,5	2
PCH VII	set/1930 a mar/2021	12,71	20	50,4	2
PCH VIII	abr/1976 a set/2020	19,62	25	54,3	2
PCH IX*	abr/1976 a set/2020	19,08	24,66	127,60 / 49,90	3 / 1

*Esta PCH possui um grupo gerador com turbina Francis de eixo horizontal para aproveitamento da vazão sanitária, com queda líquida de 49,90m.

Tabela 4.2 – Parâmetros do grupo gerador das PCHs.

PCH's	Grupo Gerador	Vazão Nominal Unitária (m ³ /s)	Rendimento Turbina	Rendimento Gerador	Rotação do Grupo Gerador (rpm)
PCH I	Francis Dupla	12,5	0,91	0,97	514,3
PCH II	Francis Vertical	17,0	0,89	0,953	360
PCH III	Francis Horizontal	7,7	0,92	0,96	600
PCH IV	Francis Vertical	38,1	0,94	0,975	276,9
PCH V	Francis Vertical	40,4	0,94	0,975	200
PCH VI	Francis	32,0	0,94	0,976	240
PCH VII	Francis Horizontal	23,7	0,94	0,98	327,3
PCH VIII	Francis	25,0	0,9246	0,97	327,3
PCH IX	Francis Horizontal	7,2 / 0,81	0,92 / 0,92	0,96 / 0,96	720/1200

Tabela 4.3 – Vazões resultantes do estudo hidrológico das PCHs.

PCHs	Vazão Média de Longo Termo (m ³ /s)	Vazão Sanitária (m ³ /s)	Vazão para usos consuntivos (m ³ /s)	Q _{95%} (m ³ /s)	Q _{7/10} (m ³ /s)
PCH I	45,13	6,11	0	26,18	20,80
PCH II	30,60	4,66	0	21,01	18,84
PCH III	11,84	2,19	0,11	7,30	6,22
PCH IV	56,00	4,75	0	15,84	5,59
PCH V	51,60	4,38	0	14,61	5,15
PCH VI	52,20	8,91	0	14,19	6,20
PCH VII	36,97	6,32	0	10,06	4,40
PCH VIII	45,40	6,14	0	26,32	20,90
PCH IX	18,05	2,85	0,12	9,49	7,67

A vazão média de longo termo corresponde à média das vazões médias mensais avaliada durante toda a série histórica. A vazão Q_{95%} representa uma vazão cuja duração é de 95% do tempo total da série histórica, ou seja, é a vazão que se espera em 95% do tempo (é comum o cálculo da energia com essa vazão, chamada de “energia firme”). A vazão Q_{7/10} representa a vazão mínima de 7 dias consecutivas com probabilidade de ocorrência a cada 10 anos. A vazão sanitária (ou ecológica) é aquela necessária para manutenção e conservação do ecossistema local.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Disponibilidade Hídrica

Da Figura 5.1 à Figura 5.9 é apresentado o comportamento das vazões médias mensais e diárias ao longo da série histórica, evidenciando a vazão mínima de engolimento da PCH e a vazão de projeto, ou seja, os limites de operação da PCH do ponto de vista da vazão.

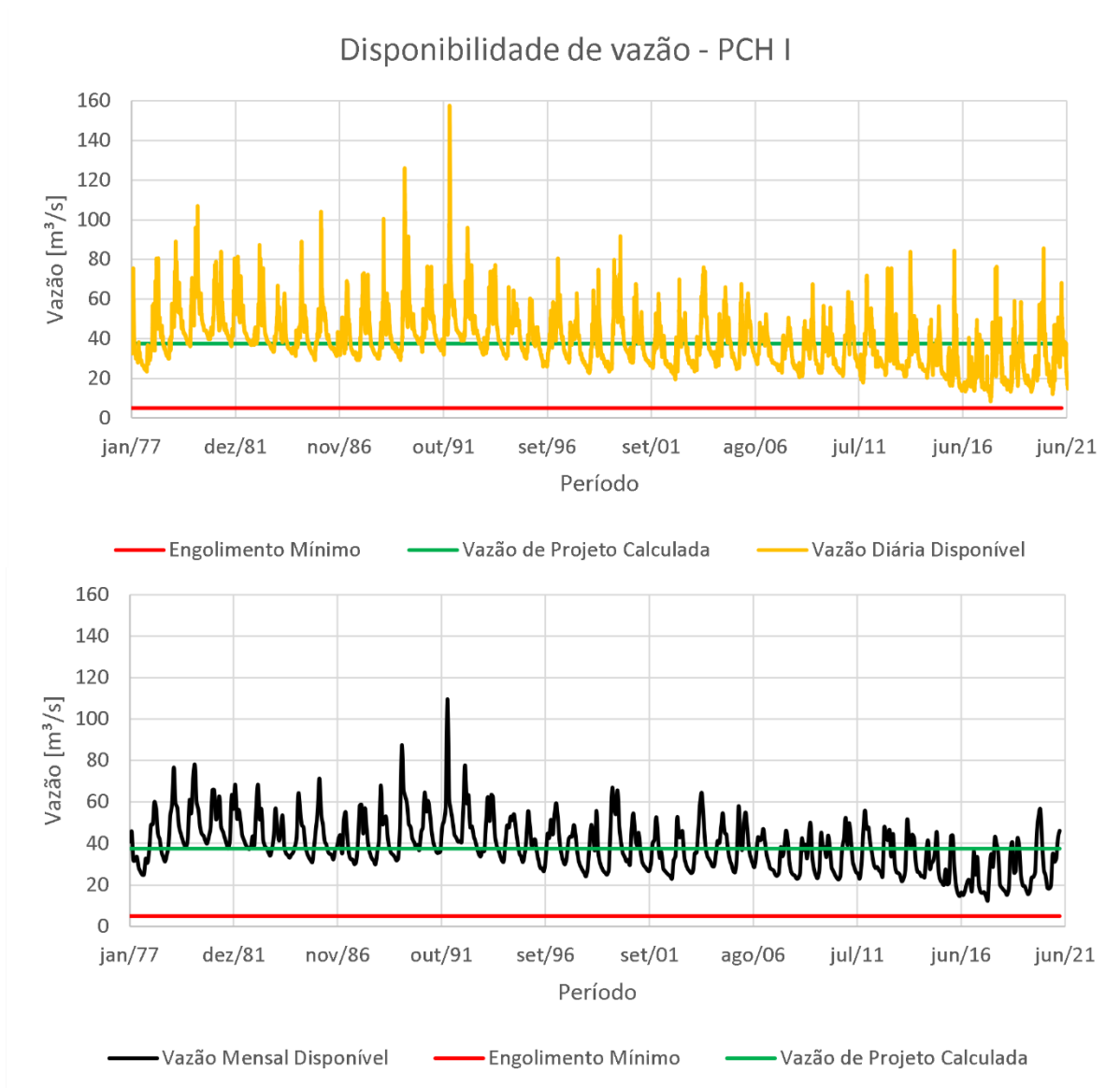


Figura 5-1 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH I.

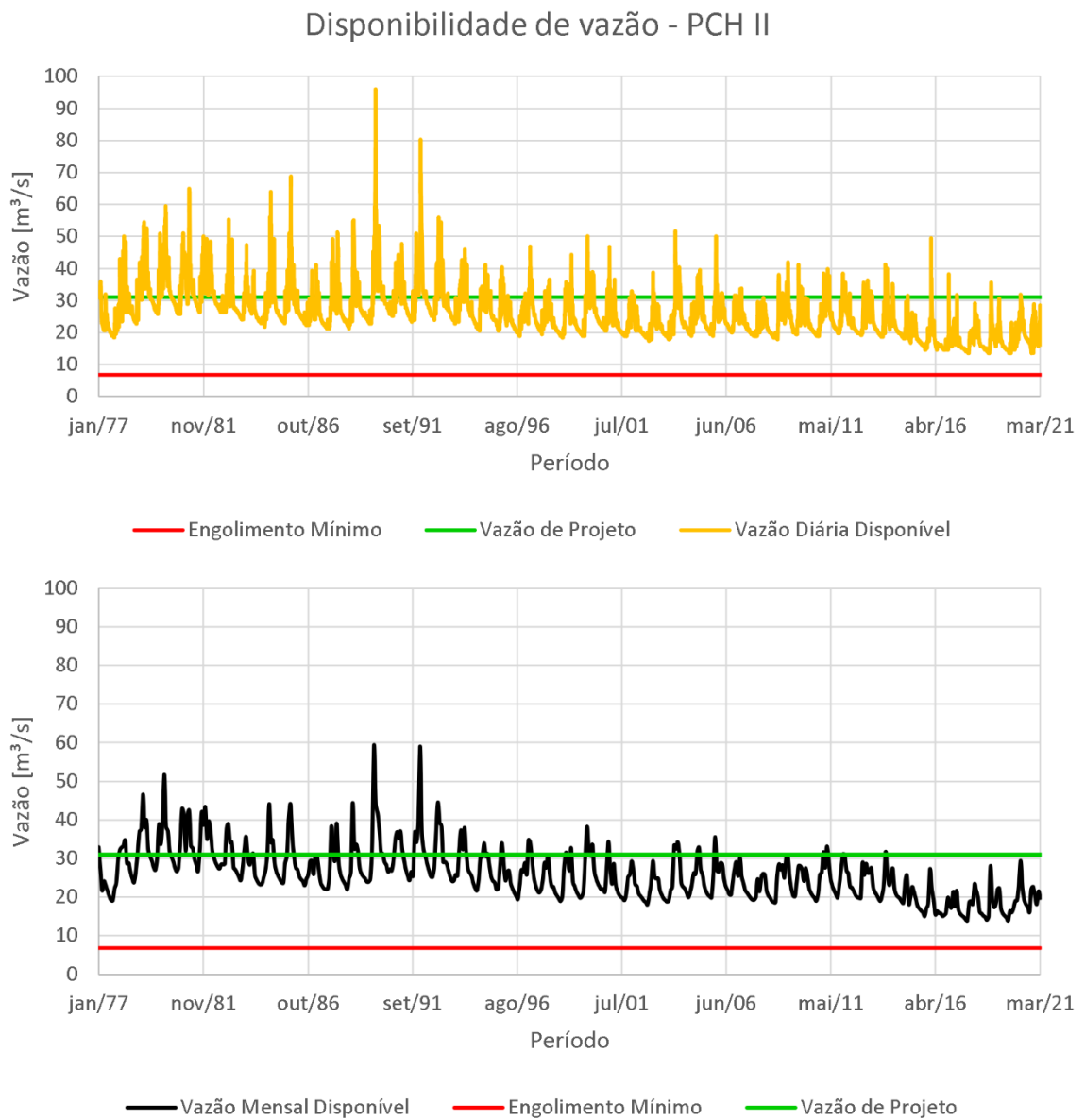


Figura 5-2 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH II.

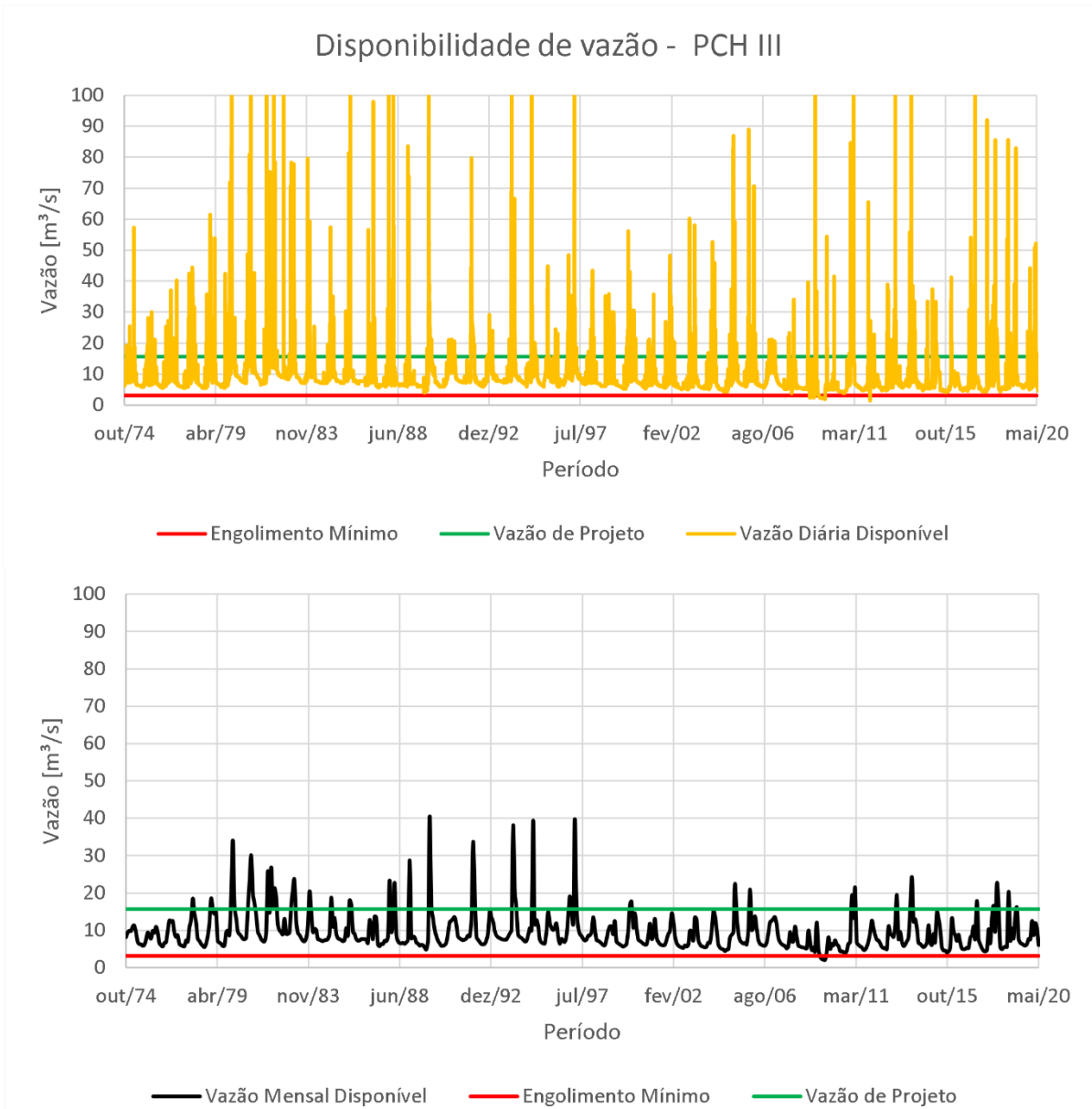


Figura 5-3 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH III.

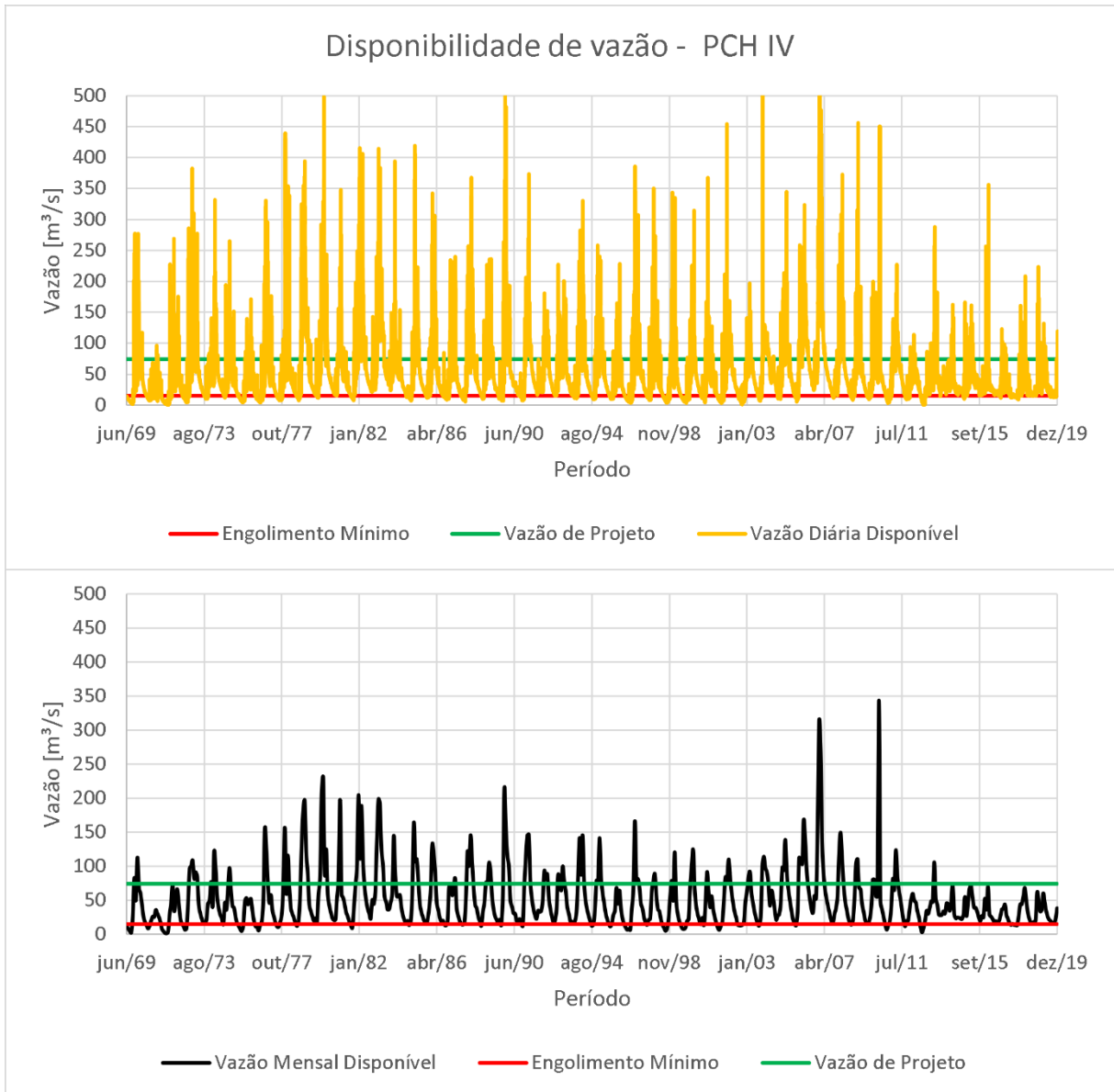


Figura 5-4 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH IV.

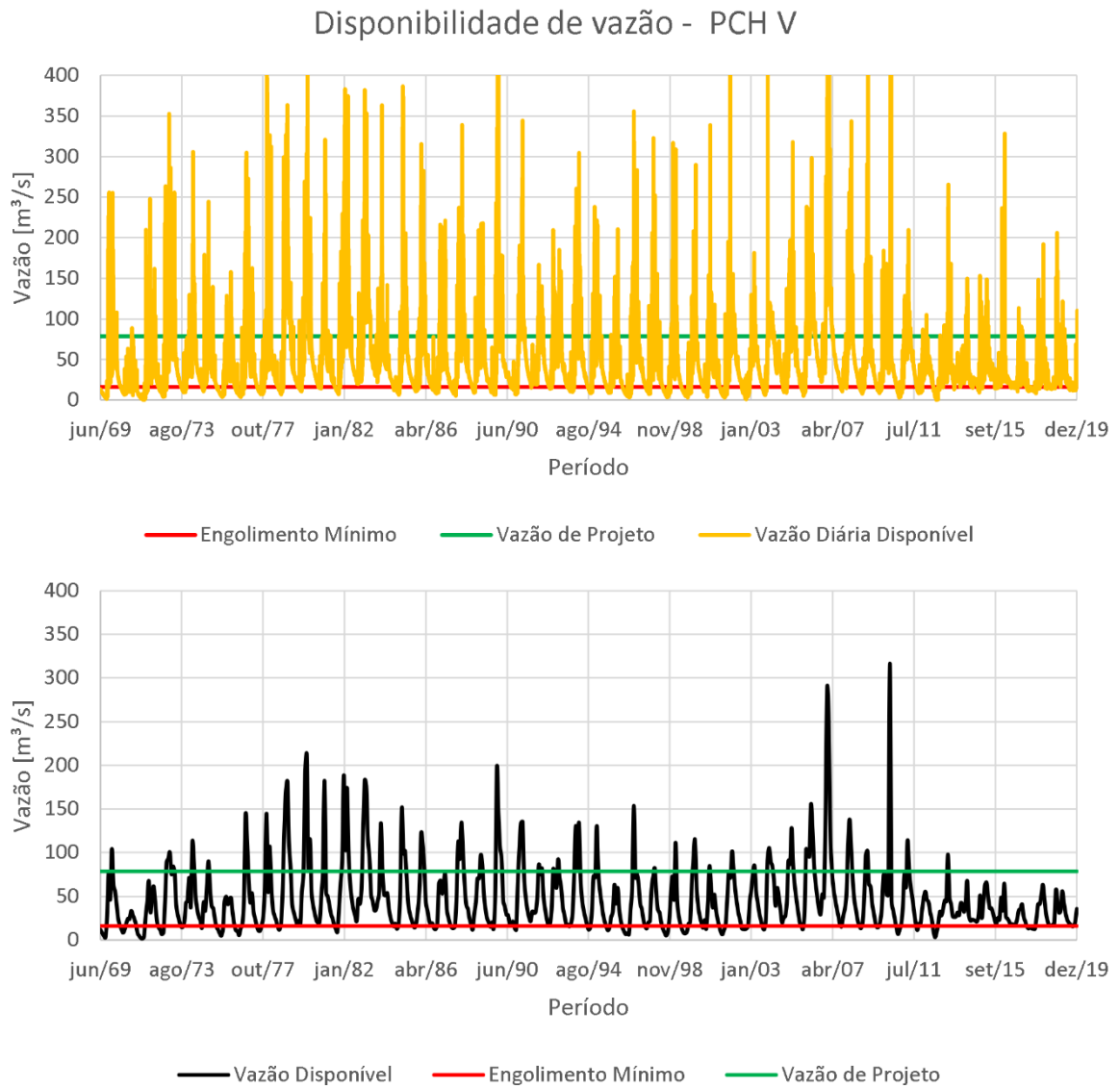


Figura 5-5 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH V.

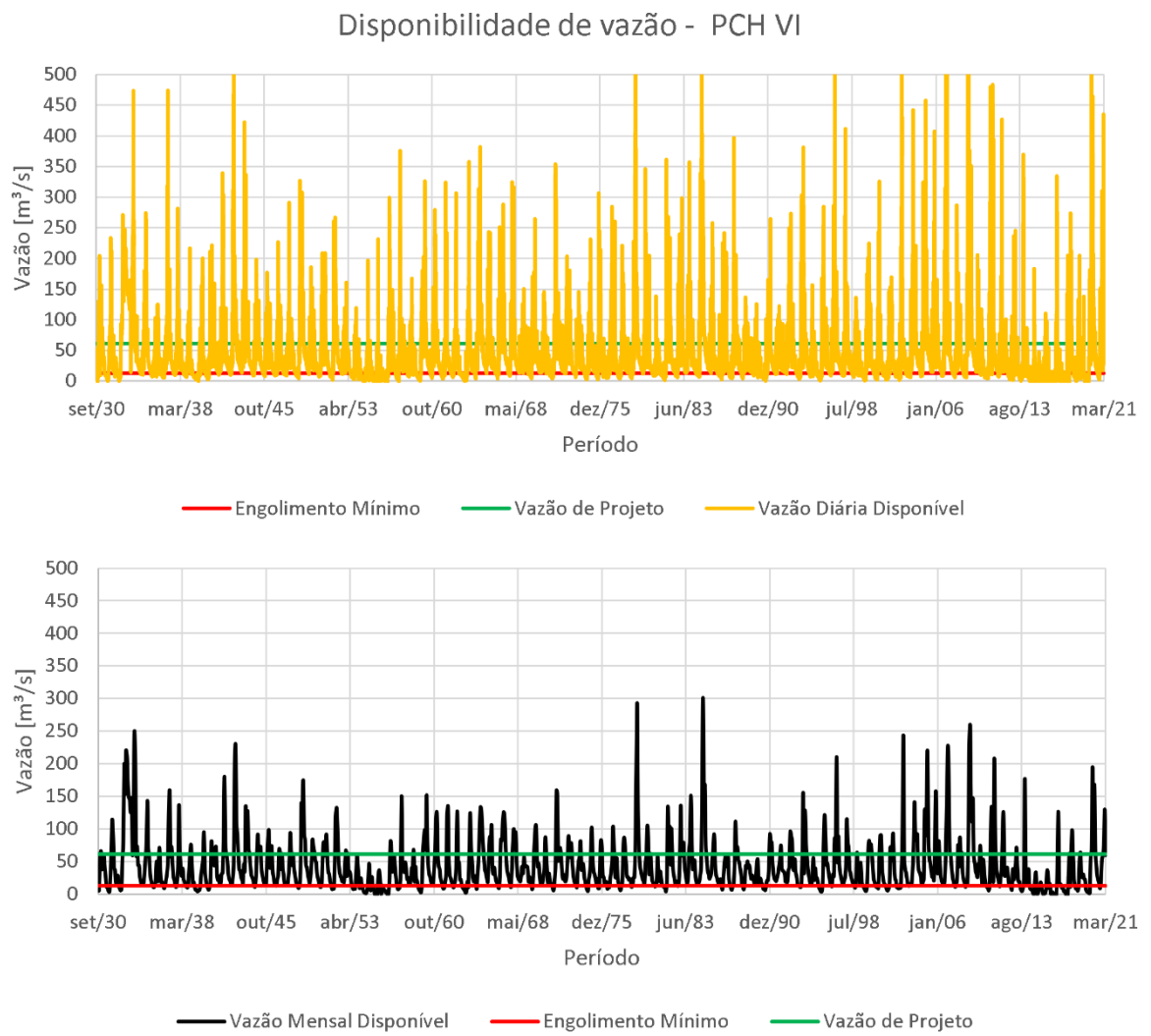


Figura 5-6 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH VI.

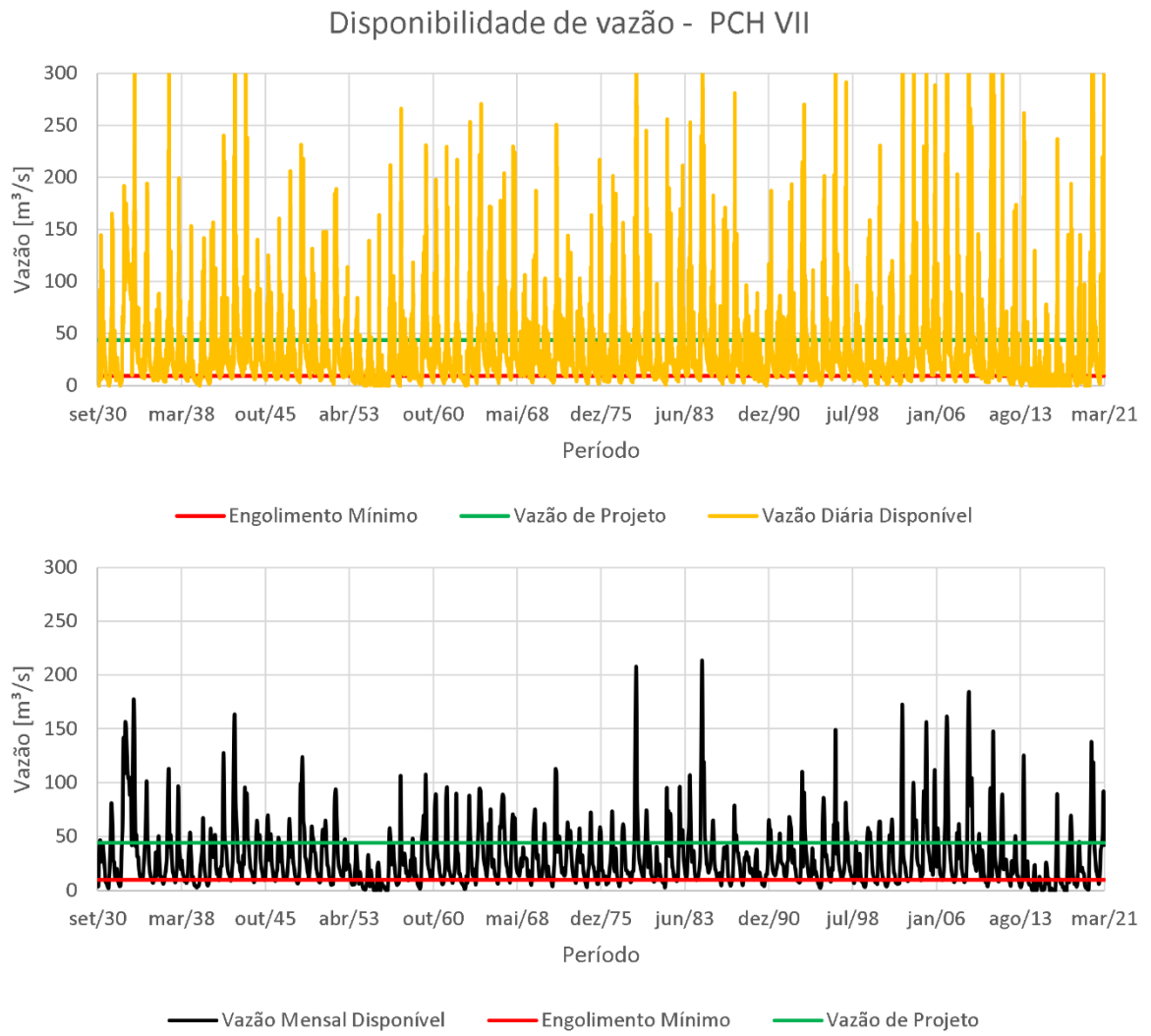


Figura 5-7 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH VII.

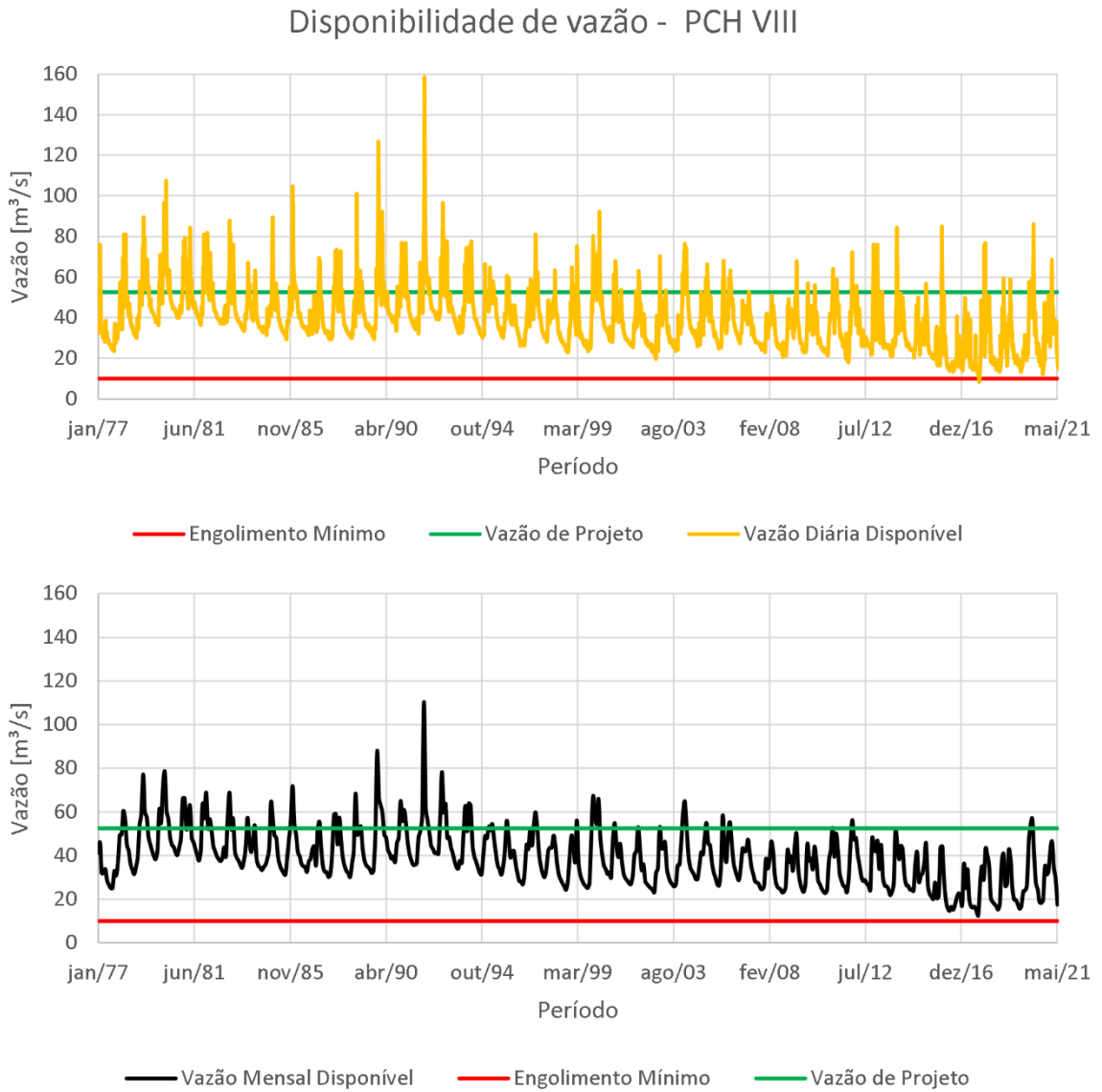


Figura 5-8 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH VIII.

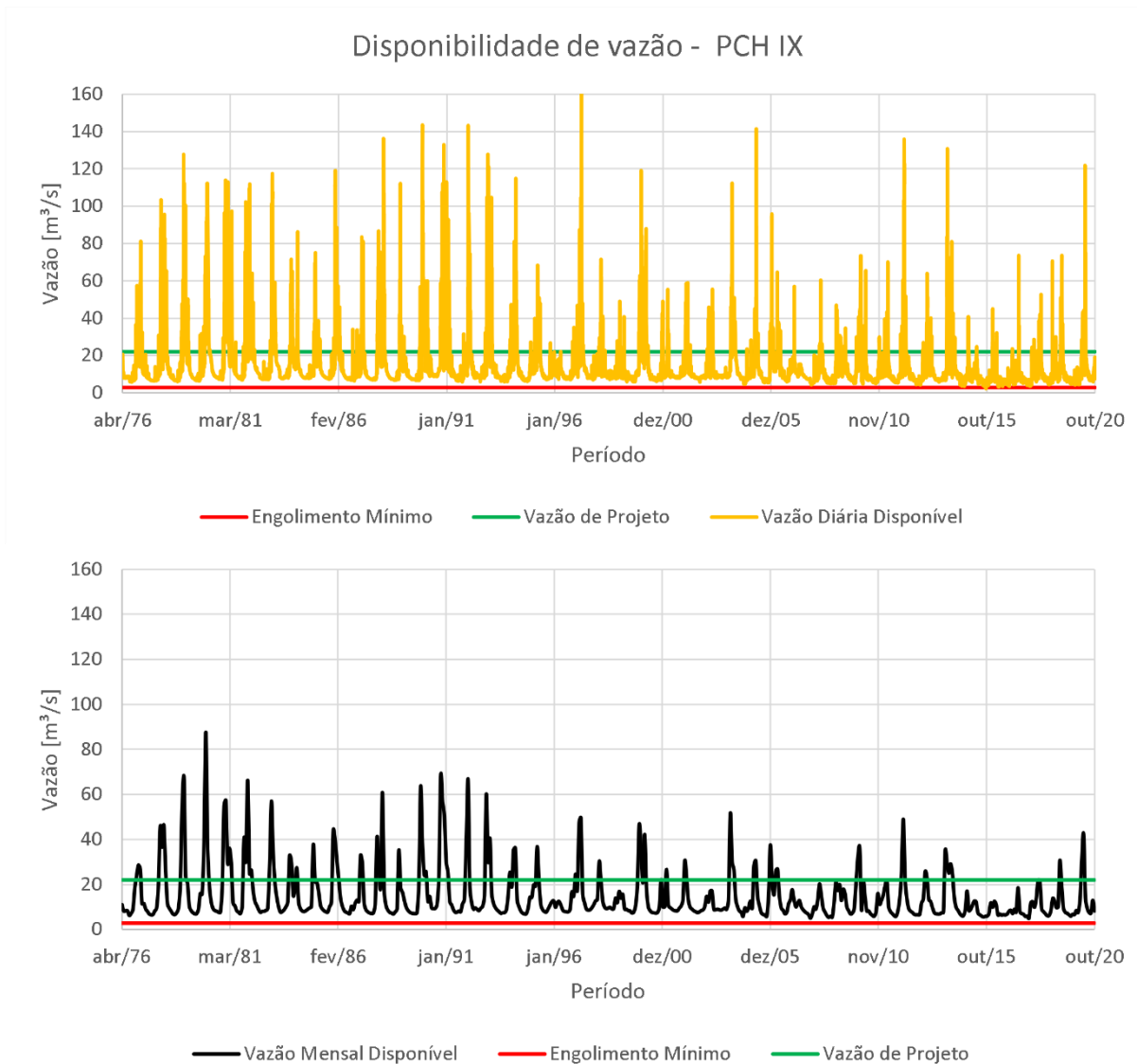


Figura 5-9 – Disponibilidade de vazões diária e mensal da PCH IX.

A partir da Figura 5.1 a 5.9, é possível observar que nos últimos anos, nas PCHs aqui apresentadas, a disponibilidade hídrica está menor.

As oscilações de disponibilidade são normais e refletem o efeito da sazonalidade do recurso hídrico. No entanto, pode-se observar que nas PCHs I, II e VIII há uma declividade notável nos valores e a vazão média tendendo a valores mais baixos. Percebe-se que as oscilações que antes faziam a vazão disponível ultrapassar a vazão de projeto e, portanto, a central funcionando à plena carga, nos últimos anos a oscilações é entre o engolimento mínimo e a vazão de projeto.

Nas PCHs III, IV, V e IX, apesar de não haver uma declividade da disponibilidade média como as PCHs apontadas anteriormente, é nítido que a amplitude da vazão disponível está menor, porém, como efeito da diminuição das vazões máximas (as vazões mínimas

permaneceram). É possível verificar uma queda mais acentuada entre 2015 e 2016, período em que aconteceu uma das crises hídricas.

As PCHs VI e VII, do ponto de vista da disponibilidade de vazão, mantiveram um certo nível de disponibilidade. Contudo, tanto pelo gráfico das vazões médias diárias como o gráfico das vazões médias mensais, há uma concentração de vazões mais baixas por volta de 1954 e, também, de 2015.

5.2. Vazão de Projeto segundo Método Expedito

A fim de que se tenha mais elementos para avaliação do resultado da garantia física e os impactos que a indisponibilidade hídrica dos últimos anos teve na geração, calculou-se para cada uma das PCHs a vazão de projeto aplicando o Método Expedito para sua obtenção. Neste cálculo, considerou-se as vazões médias diárias da série completa de vazões.

Para comparação, foi calculada a vazão de projeto segundo para a potência outorgada pela ANEEL a partir das Equações 3.2 a 3.4. Para isso, foram usados os dados da Ficha Técnica da ANEEL para cada PCH, na qual estão dispostas as principais características da central (queda, potência e rendimentos). A Tabela 5.1 – Comparação entre a vazão de projeto outorgada e a calculada pelo Método Expedito apresenta o resultado obtido.

Tabela 5.1 – Comparação entre a vazão de projeto outorgada e a calculada pelo Método Expedito

	Vazão de Projeto (outorgada)	Vazão de Projeto (Método Expedito)	Diferença Percentual
PCH I	37,57	39,79	5,9%
PCH II	31,06	26,23	-15,6%
PCH III	15,63	9,82	-37,2%
PCH IV	74,27	54,33	-26,8%
PCH V	78,62	50,09	-36,3%
PCH VI	61,16	45,51	-25,6%
PCH VII	43,94	32,25	-26,6%
PCH VIII	52,55	38,76	-26,2%
PCH IX	22,05	15,70	-28,8%

O método expedito é uma forma de estimar a vazão de projeto de uma central hidrelétrica de modo que, adotando-se uma vazão de projeto menor do que esta vazão obtida pelo método expedito, os ganhos energéticos compensam o aumento de potência e, para vazões maiores do que a vazão de projeto, a potência que se aumenta tem pouco incremento na geração de energia.

O resultado obtido pelo método expedito para as PCHs deste estudo de caso mostra que a maioria das centrais estão com uma vazão de projeto outorgada bem acima do que a indicada por este método considerando a série histórica completa. Isso significa que estas usinas tendem a apresentar um fator de capacidade baixo, isto é, a potência esperada de geração para as PCHs está pequena frente à potência instalada em cada uma delas.

Em um cenário de crise hídrica, como as que tem acontecido nos últimos anos, as centrais hidrelétricas que têm um fator de capacidade baixo sofrem mais com as variações hidrológicas. Isso porque, como é de se esperar, mantendo-se a queda e os rendimentos, ao aumentar a vazão de projeto, aumenta-se a vazão nominal das turbinas que, conseqüentemente, aumenta a vazão mínima de engolimento. Deste modo, as turbinas deixam de operar nas vazões mais baixas.

Há de se ressaltar que este é apenas um dos critérios que pode ser levado em conta no momento de tomada de decisão da vazão de projeto a ser adotada na central hidrelétrica. Existem critérios econômicos, políticos e ambientais que também tem influência e podem levar a uma escolha diferente da indicada pelo método expedito. Por esse motivo existem outros métodos para avaliação da vazão de projeto.

5.3. Garantia Física das PCHs

Provido das vazões diária, mensal, sanitária e para usos consuntivos e efetuados os cálculos para determinação da vazão de projeto outorgada, conforme dados da ficha técnica da ANEEL, foram feitas as curvas de operação da central hidrelétrica aplicando o método da potência elétrica unitária.

Feitas estas etapas preliminares, finalmente foi calculada a GF das PCHs para diversas condições com o objetivo de avaliar as diferenças no resultado quando se aplica diferentes extensões da série de vazões e metodologias, nas quais estão incluídos diferentes critérios quanto às vazões (mensais ou diárias), quanto aos rendimentos (fixos ou variáveis em relação à vazão) e quanto ao modo de operação da central (embutida ou não a regra de operação).

No Apêndice B podem ser visualizadas as curvas de potência elétrica unitária e a quantidade de máquinas operando em cada razão de vazão. A energia elétrica unitária total (E_{unit_total}) para cada uma das PCHs do estudo de caso se encontra na Tabela 2.1. Uma vez que o estudo foi realizado em centrais hidrelétrica nas quais já tinha uma quantidade de

grupos geradores definidos, não foram feitas comparações entre arranjos, somente uma comparação entre vazão média diária e vazão média mensal para a série histórica completa de vazões.

Tabela 5.2 – Energia elétrica unitária total para a série completa de vazões.

	Eunit_total (Vazões Médias Mensais)	Eunit_total (Vazões Médias Diárias)
PCH I	734	728
PCH II	530	524
PCH III	465	439
PCH IV	398	370
PCH V	346	319
PCH VI	446	415
PCH VII	380	352
PCH VIII	582	576
PCH IX	473	449

Os resultados das seis variações de cálculo da GF para cada PCH, como estabelecido na Tabela 3.1, são apresentados da Figura 5-10 até a Figura 5-18.

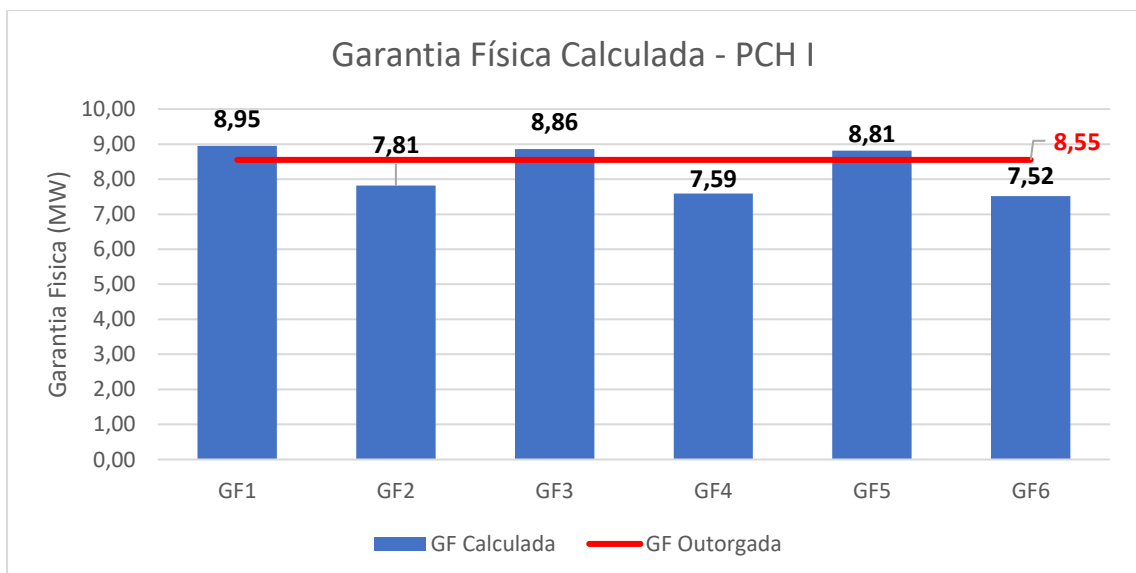


Figura 5-10 – Resultado da GF Calculada para a PCH I.

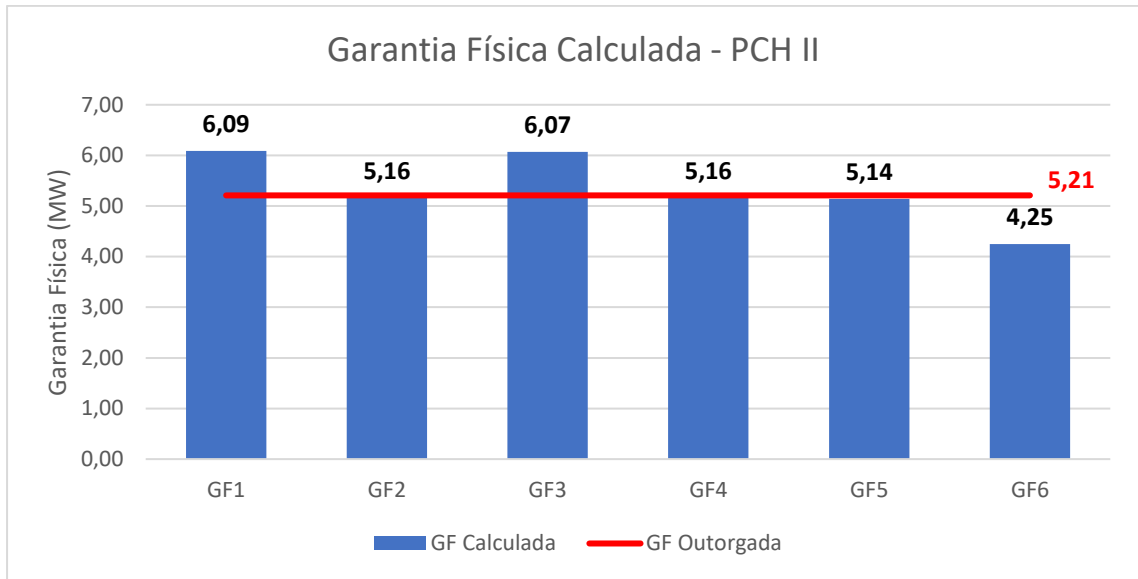


Figura 5-11 – Resultado da GF Calculada para a PCH II.

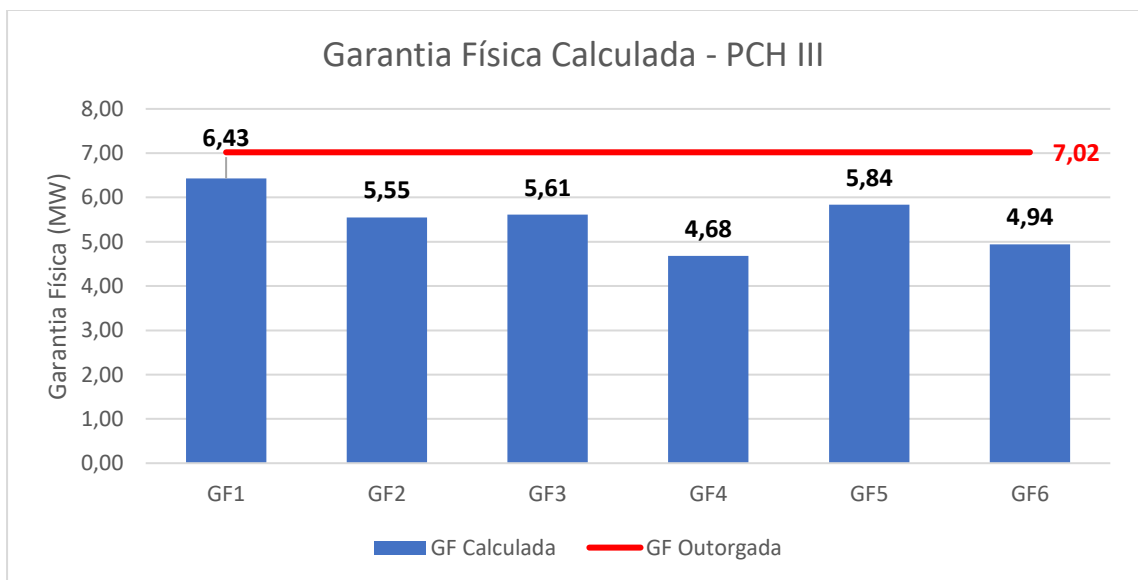


Figura 5-12 – Resultado da GF Calculada para a PCH III.

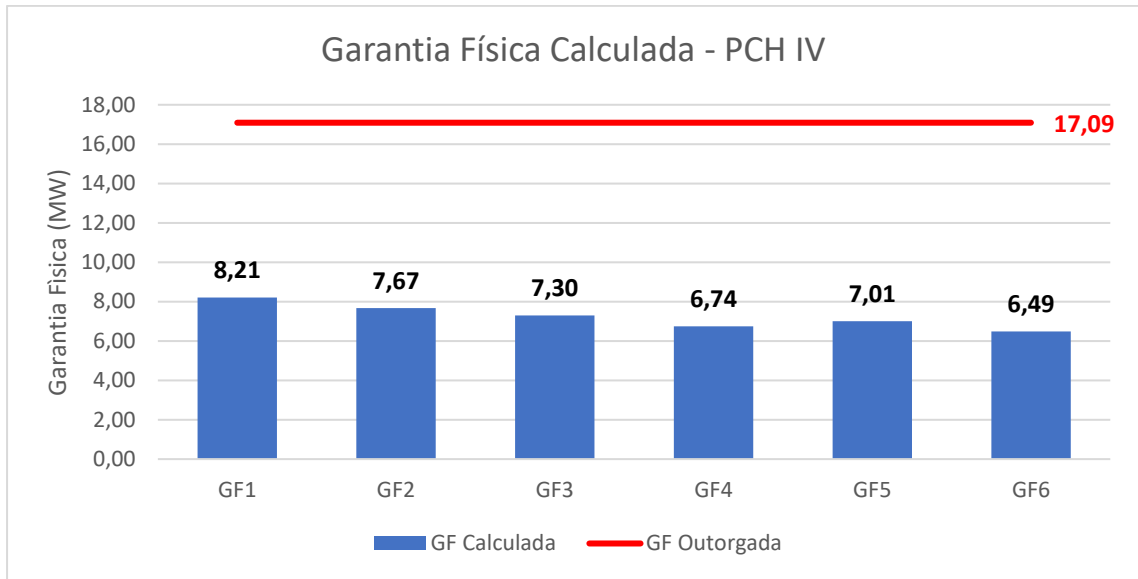


Figura 5-13 – Resultado da GF Calculada para a PCH IV.

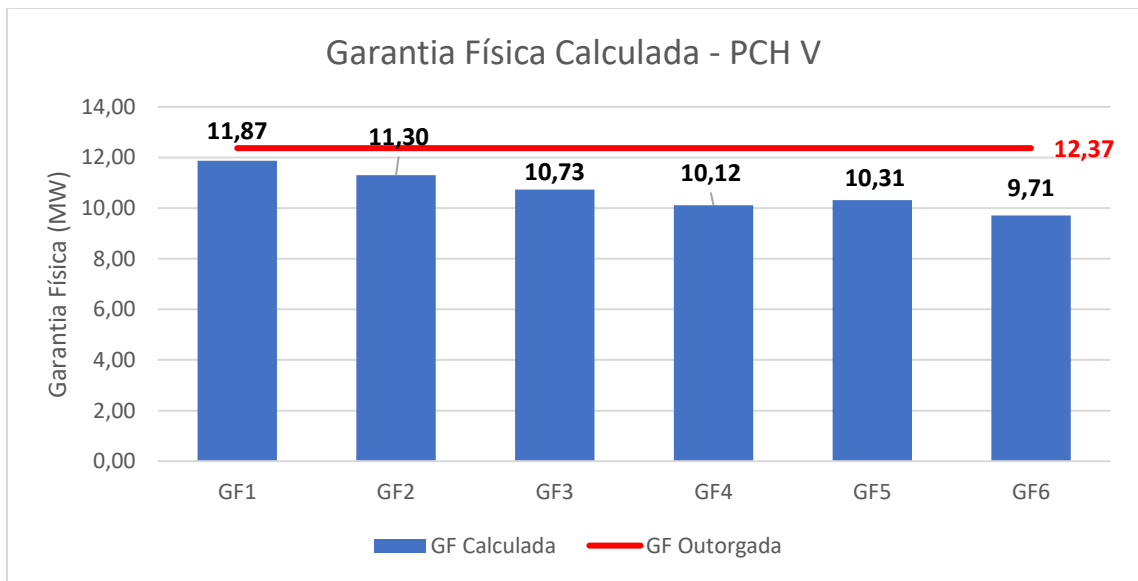


Figura 5-14 – Resultado da GF Calculada para a PCH V.

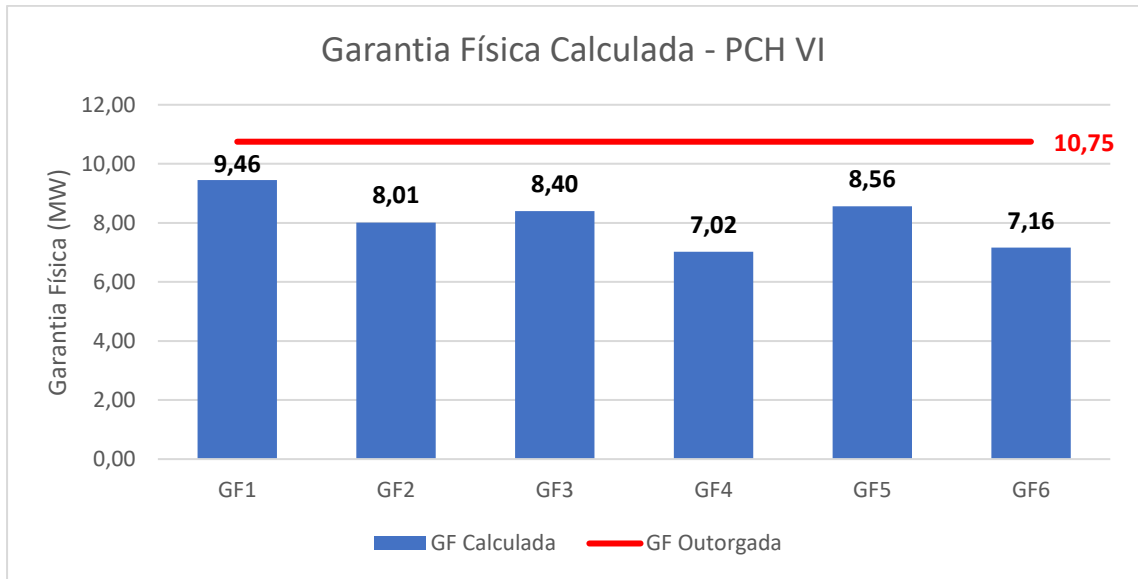


Figura 5-15 – Resultado da GF Calculada para a PCH VI.

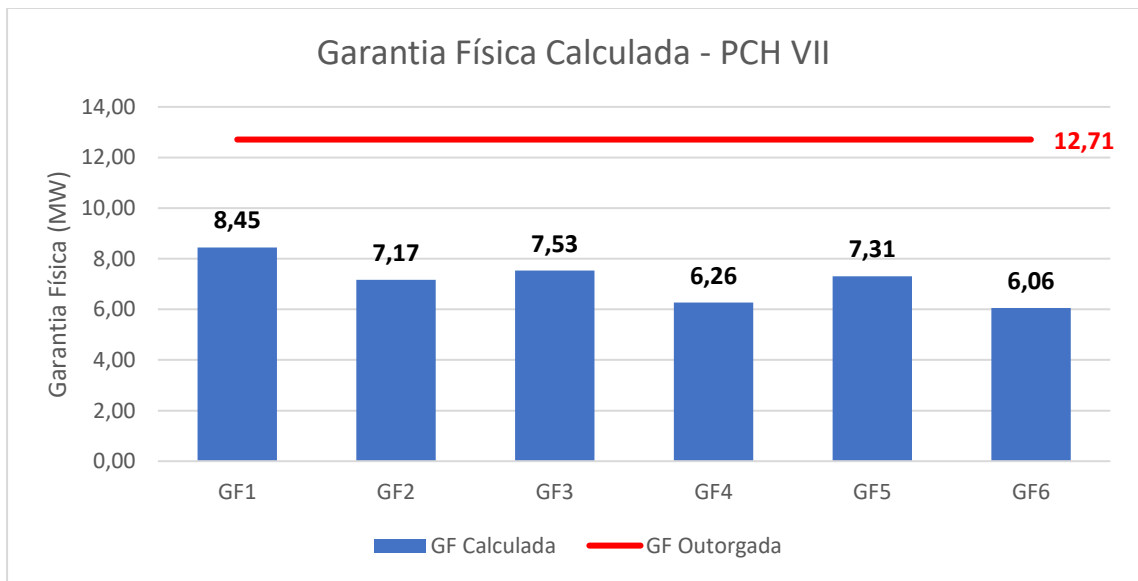


Figura 5-16 – Resultado da GF Calculada para a PCH VII.

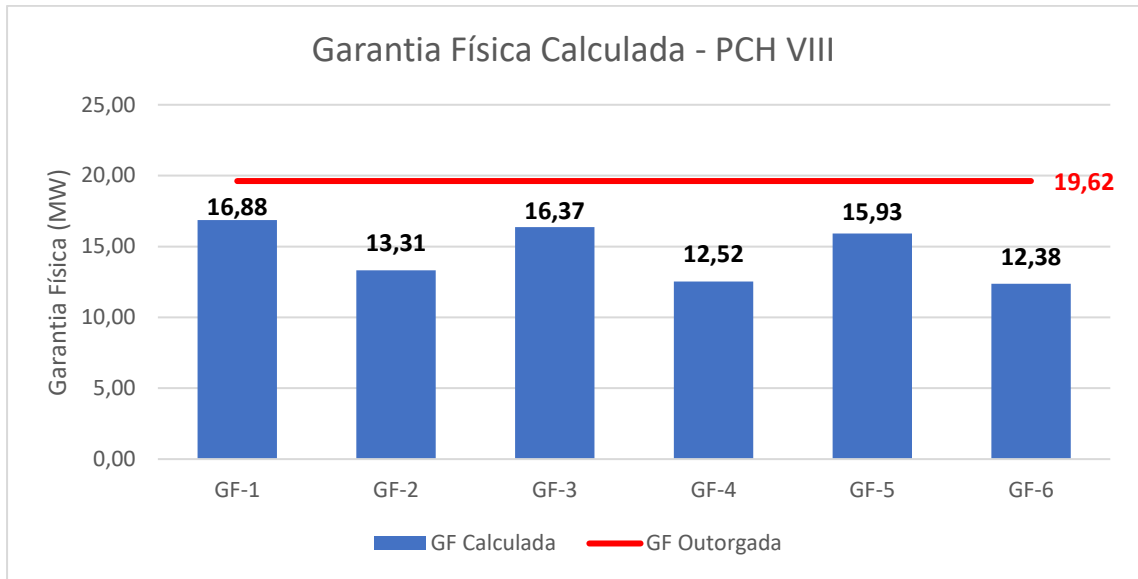


Figura 5-17 – Resultado da GF Calculada para a PCH VIII.

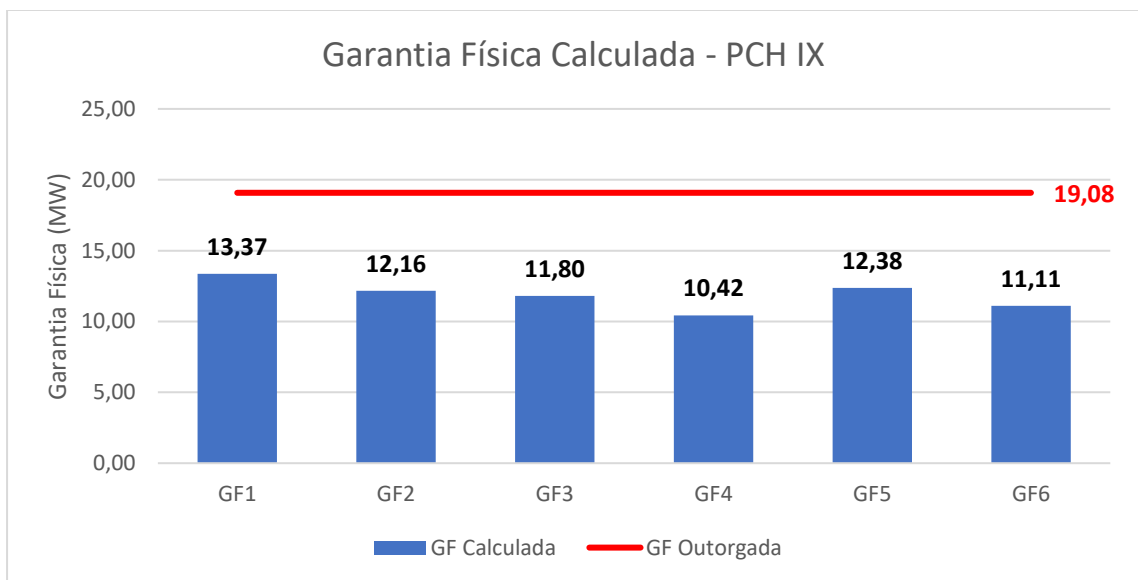


Figura 5-18 – Resultado da GF Calculada para a PCH IX.

Na Tabela 5.3 é mostrada a diferença que existe, em termos percentuais, entre a Garantia Física outorgada pela ANEEL e a Garantia Física calculada para cada uma das metodologias usadas nesta dissertação (Método do MMET, Método dos Rendimentos Variáveis e Método da Potência Elétrica Unitária), tanto para a série completa como para os últimos 15 anos.

Tabela 5.3 – Diferença percentual entre a garantia física calculada para cada um dos métodos e a garantia física outorgada.

PCH's	Série Histórica	GF1	GF2	GF3	GF4	GF5	GF6
PCH I	jan/1977 a jun/2021	4,70%	-8,60%	3,60%	-11,19%	3,04%	-12,08%
PCH II	jan/1977 a jun/2021	16,89%	-0,96%	16,51%	-0,96%	-1,34%	-18,43%
PCH III	out/1974 a mai/2020	-8,40%	-20,94%	-20,09%	-33,33%	-16,85%	-29,62%
PCH IV	jun/1969 a dez/2019	-51,96%	-55,12%	-57,28%	-60,56%	-58,96%	-62,03%
PCH V	jun/1969 a dez/2019	-4,04%	-8,65%	-13,26%	-18,19%	-16,65%	-21,50%
PCH VI	set/1930 a mar/2021	-12,04%	-25,49%	-21,88%	-34,69%	-20,33%	-33,41%
PCH VII	set/1930 a mar/2021	-33,53%	-43,59%	-40,77%	-50,71%	-42,52%	-52,33%
PCH VIII	abr/1976 a set/2020	-13,98%	-32,15%	-16,58%	-36,17%	-18,82%	-36,92%
PCH IX	abr/1976 a set/2020	-29,93%	-36,27%	-38,16%	-45,39%	-35,12%	-41,77%

A Tabela 5.4 é um comparativo entre os resultados obtidos calculando-se a garantia física baseada na série histórica de vazões histórica completa (GF1, GF3 e GF5) ou dos últimos 15 anos (GF2, GF4 e GF6) para cada uma das metodologias.

Tabela 5.4 – Série histórica versus série dos últimos 15 anos para cada metodologia.

	GF2/GF1-1	GF4/GF3-1	GF6/GF5-1
PCH's	Método do MME	Método do Rendimento Variável	Método da Potência Elétrica Unitária
PCH I	-12,70%	-14,28%	-14,67%
PCH II	-15,27%	-14,99%	-17,32%
PCH III	-13,69%	-16,58%	-15,36%
PCH IV	-6,58%	-7,67%	-7,46%
PCH V	-4,80%	-5,68%	-5,82%
PCH VI	-15,29%	-16,39%	-16,42%
PCH VII	-15,14%	-16,79%	-17,07%
PCH VIII	-21,12%	-23,49%	-22,29%
PCH IX	-9,05%	-11,69%	-10,26%

A Tabela 5.5 confronta os resultados obtidos pelo Método do MME (GF1 e GF2) com os obtidos pelo Método dos Rendimentos Variáveis (GF3 e GF4). Analogamente, a Tabela 5.6 confronta os resultados obtidos pelo Método do MME com os obtidos pelo Método da Potência Elétrica Unitária (GF5 e GF6). Finalmente, são confrontados na Tabela os resultados obtidos pelos métodos do Rendimento Variável e da Potência Elétrica Unitária.

Tabela 5.5 – Método do MME versus Método dos Rendimentos Variáveis.

	GF3/GF1-1	GF4/GF2-1
PCH's	Série Completa	Últimos 15 anos
PCH I	-1,05%	-2,84%
PCH II	-0,33%	0,00%
PCH III	-12,75%	-15,68%
PCH IV	-11,08%	-12,13%
PCH V	-9,60%	-10,44%
PCH VI	-11,19%	-12,35%
PCH VII	-10,88%	-12,62%
PCH VIII	-3,02%	-5,93%
PCH IX	-11,74%	-14,31%

Tabela 5.6 – Método do MME versus Método da Potência Elétrica Unitária.

	GF5/GF1-1	GF6/GF2-1
PCH's	Série Completa	Últimos 15 anos
PCH I	-1,58%	-16,02%
PCH II	-15,60%	-30,21%
PCH III	-9,22%	-23,16%
PCH IV	-14,58%	-20,95%
PCH V	-13,14%	-18,20%
PCH VI	-9,42%	-24,30%
PCH VII	-13,53%	-28,28%
PCH VIII	-5,63%	-26,66%
PCH IX	-7,40%	-16,90%

Tabela 5.7 – Método dos Rendimentos Variáveis versus Método da Potência Elétrica Unitária.

	GF5/GF3-1	GF6/GF4-1
PCH's	Série Completa	Últimos 15 anos
PCH I	-0,54%	-0,99%
PCH II	-15,32%	-17,64%
PCH III	4,05%	5,57%
PCH IV	-3,93%	-3,72%
PCH V	-3,91%	-4,05%
PCH VI	1,99%	1,96%
PCH VII	-2,96%	-3,29%
PCH VIII	-2,69%	-1,16%
PCH IX	4,92%	6,62%

Quanto às Figuras 5.10 a 5.18, primeiramente observa-se que o montante da garantia física é bem sensível em relação à metodologia que se adota nos cálculos, de modo que os resultados apresentados são bem distintos em cada uma delas.

Somente nas PCHs I e II, respectivamente, Figura 5-10 e Figura 5-11, tem-se garantia física calculada ultrapassando o valor da garantia física outorgada na ANEEL. Contudo, observa-se que este resultado só acontece nas garantias físicas calculadas para a série completa de vazões, não podendo dizer o mesmo quando se considera as vazões apenas dos últimos 15 anos, evidenciando uma mudança na disponibilidade hídrica nos últimos anos.

Pela Tabela 5.3 é colocado em evidência o quanto, em geral, a garantia física calculada por todos os métodos aqui apresentados se distancia da garantia física outorgada pela ANEEL. O resultado mais expressivo é da PCH IV, que na melhor dos resultados tem um valor inferior a 50% da garantia física outorgada na ANEEL e atingindo o valor mais distante (62% abaixo da GF outorgada) quando se aplica o Método da Potência Elétrica Unitária considerando os últimos 15 anos da série. Tal resultado tem coerência com o que alguns autores têm comentado (TORTELLI et. al., 2016; SILVA, 2016): o valor da garantia física real tem sido inferior à outorgada.

Um ponto importante a ser comentado é que a vazão mínima de engolimento não foi fornecida na ficha da ANEEL e, sim, estimada pela Equação 3.13. Logo, se a vazão mínima de engolimento das turbinas for maior do que o obtido por esta equação, então é esperado que haja uma diferença ainda maior na garantia física calculada em relação à garantia física outorgada. Em contrapartida, a diferença pode ser menor caso o valor mínimo de engolimento

das turbinas seja menor que o obtido pela Equação 3.13. Todos os arranjos são com turbinas Francis, mais sensíveis à variação da vazão turbinada.

Embora não se tenha em mãos esta vazão de engolimento para se ter um resultado mais apurado em relação à garantia física outorgada, é possível traçar perfeitamente um comparativo entre as 3 metodologias aplicadas e o efeito da extensão da série histórica.

Pela Tabela 5.4 fica evidente a influência da extensão da série histórica sobre o resultado da garantia física. Para nenhuma das PCHs se obteve um valor de garantia física para os últimos 15 anos que ultrapassasse a garantia física calculada para a série completa. Isso significa que, dependendo da série histórica que se tenha, os valores mais antigos da série podem elevar o valor da garantia física calculada de tal modo a mascarar a real previsão de geração de energia.

Apesar de não ser comum o cálculo da garantia física para uma série de vazões relativamente curta como é para 15 anos, no mínimo os resultados aqui obtidos induzem a crer que é razoável que se calcule para intervalos reduzidos ao menos para efeito de comparação e para que seja possível avaliar certas tendências de diminuição da disponibilidade hídrica, como é o caso da maioria das PCHs em estudo.

Na comparação entre o Método do MME e o Método dos Rendimentos Variáveis, exposto na Tabela 5.5, percebe-se que, com exceção da PCH II em que a diferença foi menor que 1% considerando a série completa e sem diferença quando se considerou os últimos 15 anos, o resultado foi uma diferença superior a 10% em relação ao Método do MME.

Da Tabela 5.6, semelhantemente à Tabela 5.5, o Método da Potência Elétrica Unitária alcança valores bem menores de garantia física, fazendo com que a diferença percentual entre esse método e o Método do MME. A PCH II, que teve a menor variação entre os métodos do MME e dos Rendimentos Variáveis foi a que teve a maior diferença comparando os métodos do MME e da Potência Elétrica Unitária, revelando que o uso do modo de operação da central hidrelétrica pode ter um impacto substancial no resultado.

Conforme Tabela 5.7, em 3 das PCHs o valor da garantia física calculada para o Método dos Rendimentos Variáveis foi menor do que o calculado pelo Método da Potência Elétrica Unitária. Com exceção da PCH II, cuja diferença foi superior a 15% tanto usando a série completa como também os últimos 15 anos, todas tiveram diferença de menos que 5% quando calculada pela série completa e menos que 7% quando calculada pela série dos últimos 15 anos. A PCH I teve, para ambas as extensões de série, uma diferença menor que 1%.

As Tabelas Tabela 5.8, Tabela 5.9, Tabela 5.10 e Tabela 5.11 apresentam as médias e os desvios das garantias físicas calculadas, sendo a primeira tabela com todos os 6 resultados, a segunda considerando os resultados exceto Método do MME, a terceira considerando somente os resultados no qual a extensão foi a série completa e a última considerando somente os resultados no qual a extensão foi a série dos últimos 15 anos.

Tabela 5.8 – Relações de média e desvio para todas as garantias físicas calculadas.

PCH's	GF Outorgada (MW)	Média das GF calculadas (MWmédio)	Desvio Padrão	Amplitude	Desvio Padrão / Média	Amplitude / Média
PCH I	8,55	8,26	0,623429	1,43	8%	17%
PCH II	5,21	5,31	0,630276	1,84	12%	35%
PCH III	7,02	5,51	0,574162	1,75	10%	32%
PCH IV	17,09	7,24	0,576483	1,72	8%	24%
PCH V	12,37	10,67	0,729627	2,16	7%	20%
PCH VI	10,75	8,10	0,836768	2,43	10%	30%
PCH VII	12,71	7,13	0,798438	2,39	11%	34%
PCH VIII	19,62	14,56	1,869853	4,50	13%	31%
PCH IX	19,08	11,87	0,938006	2,95	8%	25%

Tabela 5.9 – Relações de média e desvio para as garantias físicas calculadas exceto pelo Método do MME.

PCH's	GF Outorgada (MW)	Média das GF calculadas (MWmédio)	Desvio Padrão	Amplitude	Desvio Padrão / Média	Amplitude / Média
PCH I	8,55	8,19	0,639995	1,34	8%	16%
PCH II	5,21	5,16	0,643525	1,82	12%	35%
PCH III	7,02	5,27	0,472693	1,16	9%	22%
PCH IV	17,09	6,89	0,302470	0,81	4%	12%
PCH V	12,37	10,22	0,366836	1,02	4%	10%
PCH VI	10,75	7,79	0,699865	1,54	9%	20%
PCH VII	12,71	6,79	0,636779	1,47	9%	22%
PCH VIII	19,62	14,30	1,855999	3,99	13%	28%
PCH IX	19,08	11,43	0,735166	1,96	6%	17%

Tabela 5.10 – Relações de média e desvio para as garantias físicas calculadas para a série completa.

PCH's	GF Outorgada (MW)	Média das GF calculadas (MWmédio)	Desvio Padrão	Amplitude	Desvio Padrão / Média	Amplitude / Média
PCH I	8,55	8,87	0,058904	0,14	1%	2%
PCH II	5,21	5,77	0,443195	0,95	8%	16%
PCH III	7,02	5,96	0,345680	0,82	6%	14%
PCH IV	17,09	7,51	0,510280	1,20	7%	16%
PCH V	12,37	10,97	0,659090	1,56	6%	14%
PCH VI	10,75	8,81	0,464461	1,06	5%	12%
PCH VII	12,71	7,76	0,494526	1,14	6%	15%
PCH VIII	19,62	16,39	0,388025	0,95	2%	6%
PCH IX	19,08	12,52	0,648194	1,57	5%	13%

Tabela 5.11 – Relações de média e desvio para as garantias físicas calculadas para os últimos 15 anos.

PCH's	GF Outorgada (MW)	Média das GF calculadas (MWmédio)	Desvio Padrão	Amplitude	Desvio Padrão / Média	Amplitude / Média
PCH I	8,55	7,64	0,126242	0,30	2%	4%
PCH II	5,21	4,86	0,428978	0,91	9%	19%
PCH III	7,02	5,06	0,364552	0,87	7%	17%
PCH IV	17,09	6,97	0,507820	1,18	7%	17%
PCH V	12,37	10,38	0,674010	1,59	6%	15%
PCH VI	10,75	7,40	0,437545	0,99	6%	13%
PCH VII	12,71	6,50	0,482358	1,11	7%	17%
PCH VIII	19,62	12,74	0,410775	0,93	3%	7%
PCH IX	19,08	11,23	0,715402	1,74	6%	15%

Das Tabelas Tabela 5.8, Tabela 5.9, Tabela 5.10 e Tabela 5.11 percebe-se, primeiramente, que mesmo utilizando a média dos métodos, onde se tem valores maiores para a garantia física calculada pelo Método do MME e valores menores para os outros dois métodos, o valor de garantia física se distancia consideravelmente do valor outorgado.

Em observação da Tabela 5.8, percebe-se que o valor do desvio padrão em relação à média é um valor maior ou igual a 7%, na maioria maior ou igual a 10%. Com exceção da PCH I, todas as outras a amplitude dos resultados representa no mínimo 20%. Esses valores indicam uma dispersão relativamente alta entre os valores calculados para a garantia física, resultante principalmente do fato de que o Método do MME não considera variações dos parâmetros que na realidade os equipamentos possuem e a vazão é a média mensal. A

dispersão é minimizada quando se considera as garantias físicas calculadas excluindo as calculadas pelo Método do MME (Tabela 5.9).

Essa dispersão é menos acentuada quando se divide em série completa e série dos últimos 15 anos, isso porque em geral os maiores valores de garantia física calculados são para a série histórica completa disponível e os menores valores para a série dos últimos 15 anos – estes bastante influenciados pelas últimas crises e baixa disponibilidade hídrica. Ainda assim a amplitude dos valores chega a 16% na Tabela 5.10 e 17% na Tabela 5.11.

O método da potência elétrica unitária é o método mais complexo entre os métodos aplicados, porém, devido a considerar mais critérios, tende a ser mais conservador desde que os parâmetros sejam corretamente aplicados.

Este é um fato muito importante porque uma das coisas que o empreendedor não quer quando investe em uma obra como esta é que a energia gerada fique aquém da energia que foi prometida (TIEPOLO et. al., 2012), fato que tem acontecido.

6. CONCLUSÃO

O tema da garantia física é bem atual e de interesse para órgãos governamentais e empreendedores. A discussão sobre este tema abrange as esferas política, econômica, social e ambiental. No Brasil, cujo recurso hídrico é abundante e é predominante a geração de eletricidade por meio de centrais hidrelétricas, a garantia física deste tipo de empreendimento tem uma grande relevância e os profissionais devem buscar cada vez mais um resultado com maior aderência em relação à realidade. Dentro deste contexto, em particular se tratou neste trabalho da garantia física das Pequenas Centrais Hidrelétricas.

A metodologia comumente aplicada para o cálculo da garantia física de Pequenas Centrais Hidrelétricas não despachadas centralizadamente é a proposta pelo Ministério de Minas e Energia. Essa metodologia é passível de questionamento e abre margem para que sejam feitas considerações a respeito dos parâmetros que compõem esta metodologia, principalmente pelo fato de se haver a garantia física real sendo inferior à garantia física real em muitos casos.

A pesquisa e estudo de caso, com 9 PCHs, abordou justamente a variação destes parâmetros passíveis de alteração no cálculo da garantia física. Foi incorporada o uso de vazões médias diárias e mensais, com rendimentos variáveis e fixos para a turbina, para o gerador e para o sistema de adução e levando em consideração a motorização da central hidrelétrica buscando a melhor potência elétrica em todos os pontos de operação.

A partir dessas variações possíveis, foram definidos três métodos para cálculo das garantias físicas a fim de comparar os seus resultados e a influência dessas variações: Método do MME (atual metodologia de cálculo), Método dos Rendimentos Variáveis e Método da Potência Elétrica Unitária, sendo a última o método desenvolvido nesta dissertação.

Com o objetivo de ajudar a entender os resultados da garantia física, foram gerados também gráficos com a disponibilidade hídrica para cada PCH e calculadas a vazão de projeto pelo método expedito.

Dos resultados obtidos, compreende-se primeiramente para as PCHs do estudo de caso que a disponibilidade hídrica teve uma tendência de diminuição nos últimos anos e corrobora com o que tem sido visto atualmente com as diversas crises.

Em geral, a vazão de projeto pelo método expedito indicou um valor substancialmente menor que a vazão de projeto da central. Isso significa que essas centrais operam melhor para as vazões maiores e com mais dificuldade em períodos com baixa disponibilidade hídrica. Ainda mais, em cenários de crise hídrica, as centrais têm dificuldade

de operar – se operam. Como já ressaltado, existem outros critérios para avaliar a vazão de projeto da central hidrelétrica, mas, o que indica pelo método expedito reflete o que tem acontecido com a garantia física: diminuído devido à diminuição da disponibilidade hídrica.

O método do MME teve os resultados mais altos, tendo como um dos fatores para esse resultado a aplicação de vazões médias mensais. O risco de se usar vazões médias mensais é o de não suprimento da energia em vários dias do ano, pois quando se considera um valor médio existem variações diárias que não se consegue expressar por este valor. Uma vez que as vazões médias diárias representam melhor o comportamento da disponibilidade hídrica ao longo do ano e dos meses, é muito conveniente optar por elas nos estudos de garantia física.

Pode-se inferir dos resultados que se faz necessária uma avaliação mais criteriosa do intervalo da série que será considerada no estudo, pois usar a série histórica completa pode levar a uma garantia mais alta já que esta consegue mascarar tendências mais recente de indisponibilidade hídrica. De qualquer forma, é importante ter em vista toda a série histórica para ponderar se um determinado período de indisponibilidade é pontual ou recorrente, ou se há um comportamento convergindo para menor indisponibilidade.

As turbinas de todas as centrais são do tipo Francis, que são turbinas mais sensíveis à variação de carga, tornando a diferença mais perceptível. Se o arranjo fosse com turbinas do tipo hélice também seria bastante evidente. Diferentemente aconteceria com arranjos com turbinas Kaplan ou Pelton, já que essas turbinas conseguem operar com baixas razões de vazão mantendo bons rendimentos (curva de rendimento mais achatada) e, por isso, as diferenças seriam menores entre as garantias físicas calculadas.

As garantias físicas calculadas pelos diferentes métodos apresentaram resultados que, em sua maioria, se distanciaram da garantia física outorgada pela ANEEL. As PCHs I e II tiveram garantia física superior à garantia física outorgada pela ANEEL quando se aplicou as vazões médias da série completa. É claro que, para uma comparação mais verdadeira, o ideal seria ter em mãos o real valor de engolimento mínimo das turbinas ao invés de estimá-lo. Contudo, o resultado já serve de alerta de que tem grande chance de não atendimento da garantia física e a comparação entre os métodos é coerente uma vez que todas partem da mesma vazão mínima de engolimento.

A avaliação sobre a média e o desvio padrão mostrou que há uma dispersão razoável entre os resultados, mas que é atenuada quando se divide os resultados pela extensão da série (completa ou dos últimos 15 anos). De qualquer forma, ainda assim o desvio e a amplitude das garantias físicas calculadas podem se dizer que são altas para o valor da média. Esse fato

aconteceu principalmente pela diferença que existe entre o Método do MME e os outros dois métodos (Método dos Rendimentos Variáveis e Método da Potência Elétrica unitária têm bastante parâmetros em comum, gerando resultados com menor dispersão).

O método do rendimento variável é o meio termo entre as outras duas metodologias, e os resultados darão uma noção melhor em relação à verdadeira garantia física se comparada com o MME pelo fato de considerar os rendimentos da turbina, do gerador e do sistema de adução como variáveis.

Entre os métodos, o método pelo qual em geral se obteve as menores garantias físicas foi pelo Método da Potência Elétrica Unitária. Pode-se dizer que este método é o mais conservador e que tem mais aderência com a real operação da central hidrelétrica, não só pelo fato de se ter encontrado resultados que tem aderência com o que se tem visto, mas, principalmente, por englobar mais critérios em sua análise e por serem estes critérios determinantes no resultado, ou seja, a sua não consideração pode implicar em resultados que não mostrem a situação real.

Finalmente, tem-se que é importante que se use métodos que tendem a representar melhor a geração elétrica e, por esse motivo, ainda que mais complexo é conveniente usar o método da potência elétrica ou algum que englobe a maioria dos parâmetros mais sensíveis da geração a fim de que não se tenha surpresas em relação ao cumprimento com a garantia física que foi estabelecida.

Pode-se estudar em trabalhos futuros a elasticidade dos parâmetros abordados nessa dissertação e estender este tipo de análise para o cálculo da garantia física de outras fontes de energia (solar, eólica, etc.).

APÊNDICE A – Crises Energéticas Ocorridas no Brasil

A falta de energia elétrica, ou mesmo o seu racionamento, tem impactos em várias esferas da sociedade. Do ponto de vista econômico pode impactar negativamente o crescimento econômico, aumentar o desemprego, crescer o déficit da balança comercial, arrecadar menos impostos, aumentar a inflação. A privação de energia elétrica tem um impacto social, uma vez que a população está acostumada – e dependente – de energia elétrica nas suas inúmeras atividades e a sua falta gera insatisfação (TOLMASQUIM, 2000).

No Brasil, cuja matriz elétrica predomina a geração hidráulica, o montante de água disponível nos reservatórios das hidrelétricas está totalmente vinculado à disponibilidade energética. O planejamento energético, portanto, tem estreita relação com os regimes hidrológicos e os regimes de operação dos reservatórios (SILVEIRA; GUERRA, 2001).

Segundo Galvão e Bermann (2015), existe um conflito entre a geração de energia e o uso da água em seus múltiplos fins, dado que é necessário nos aproveitamentos de energia hidráulica conciliar a garantia de abastecimento de água, a geração de energia e a irrigação, tendo prioridade o consumo pelo ser humano e pelos animais.

Devido à dependência do recurso hídrico, a crise energética em muitas das ocasiões ocorre concomitantemente a uma crise hídrica e, esta, conforme Camargo Neto (2018), apesar de ter a diminuição das chuvas como a principal causa, tem outros fatores que se associam ao baixo índice pluviométrico: falta de conservação da ecologia dos rios; má administração das bacias; falta de consciência a respeito do uso da água; sistema de esgoto inapropriado.

Hunt, Stilpen e Freitas (2018) enumeram as causas mais comuns para as crises energéticas: seca; diminuição do nível dos reservatórios de usinas hidrelétricas; desastres naturais; parada forçada de sistemas de geração de energia devido a fatores de segurança; crescimento acelerado da demanda de energia; escassez de combustíveis; entre outros.

É importante ressaltar que as crises energéticas destacam a necessidade de diversificação da matriz energética do Brasil, buscando uma maior participação de fontes renováveis, como eólica e solar, para reduzir a vulnerabilidade às variações climáticas e melhorar a segurança do abastecimento energético. Além disso, um planejamento adequado e investimentos contínuos no setor de energia são fundamentais para evitar crises futuras.

Ao longo da história, o Brasil passou por várias crises energéticas devido a uma combinação de fatores econômicos, políticos e climáticos. Abaixo estão as principais causas para algumas dessas crises:

A) Crise energética de 1924 e de 1925

No ano de 1924 houve uma estiagem considerável no Brasil, cuja quantidade de chuva acumulada em todo ano foi de apenas 900mm. Com isso, a geração de energia elétrica foi afetada resultando em uma crise energética: havia temor de se ficar no escuro e de empresas falirem por causa da parada; bondes elétricos ficaram estagnados; os anúncios luminosos das lojas tiveram que ser proibidos (BONZI, 2019). A principal região afetada foi a cidade de São Paulo com a seca do Rio Tietê (HUNT; STILPEN; FREITAS, 2018).

Este foi o primeiro racionamento de energia. Havia empresas de energia no interior de São Paulo, mas que, devido ao porte pequeno e atrelado ao fato de baixa se ter baixa precipitação, não foram capazes de suprir à demanda (AMORIN, 2016).

B) Crise energética nas décadas de 30 e de 40

Nas décadas de 30 e de 40 aconteceu uma série de fatores que ocasionaram interrupções no fornecimento de energia com certa frequência e que não colaboraram para que novas ligações tivessem sido feitas. Primeiramente, tem-se o fato de que não houve uma expansão do setor de energia concomitantemente a um aumento da demanda. Em segundo, deve-se notar que neste período desencadeou a segunda guerra mundial, implicando em limitações à importação de maquinário. Uma terceira consideração diz respeito às incertezas que havia em termos de regulação, desestimulando o investimento estrangeiro no setor nacional (AMORIN, 2016). Esta crise energética aconteceu no estado de São Paulo (HUNT; STILPEN; FREITAS, 2018).

C) Crise energética de 1963 e de 1964

A crise de 1963 e 1964 assolou as cidades de Rio de Janeiro e de São Paulo. O motivo desta crise energética, que levou ao racionamento de energia nessas cidades, foi uma combinação sobretudo entre o crescimento substancial do consumo de energia elétrica e a falta de investimentos no setor de energia (BARDELIN, 2004). Contudo, o que fato que realmente originou o racionamento foram os baixos níveis dos rios Paraíba e Pirai (ESMAP, 2005).

Deve-se pontuar que um período antes, entre os anos de 1953 e 1955, devido à baixos níveis nos reservatórios, as cidades de Rio de Janeiro e São Paulo já passavam por

acionamento de energia: enquanto no rio de Janeiro havia corte de energia de 5 a 7h por dia, em São Paulo a energia era cortada sem aviso prévio (HUNT; STILPEN; FREITAS, 2018).

D) Crise energética de 1986

A região Sul do país foi atingida por uma crise energética no ano de 1986. Tal crise levou às medidas de racionamento de energia, com duração de total de três meses e separadas por classe de consumidores (ESMAP, 2005). Inicialmente foi colocada uma de redução no consumo de energia elétrica em 20%, com redução na tensão de distribuição de energia de até 5% e prolongamento do horário de verão por mais um mês. Quando os reservatórios atingiram 55% e as metas de consumo foram alcançadas, o racionamento cessou (CUNHA, 2010).

Um fato que ajudou a não ser tão duradoura esta crise foram as intensas chuvas que aconteceram durante o racionamento e que fizeram elevar o nível dos reservatórios e, conseqüentemente, acelerar o retorno do funcionamento das hidrelétricas com produção considerável de energia (ESMAP, 2005).

E) Crise energética de 1987 e de 1988

O principal motivo para ocorrência da crise energética dos anos de 1987 e 1988, que abrangeu a região Nordeste, o Sul do Pará e a região do Norte de Goiás, foi problemas financeiros relacionados à empresa Eletrobrás dos quais resultou em um atraso na execução de obras de centrais hidrelétricas (CUNHA, 2010). Há de se colocar também que o setor de energia estava desprovido de políticas que favorecessem investimentos e, assim, a iniciativa privada tivesse alguma concorrência (XAVIER, 2013). Não tendo concorrência, não havia busca por parte das empresas em ter sistemas mais competitivos, com mais qualidade e eficiência.

Houve racionamento de energia entre março de 1987 e janeiro de 1988. A alternativa adotada foi uma redução de 15% no consumo entre este período e, posteriormente, de 10%. Houve também tarifa diferenciada para os consumidores de acordo com o que fosse excedido em relação às metas: aos que ultrapassaram até 5%, a tarifa foi multiplicada por 4; aos que ultrapassaram 5 a 10%, a tarifa foi multiplicada por 8; ultrapassagem acima de 10%, a tarifa foi multiplicada por 12 (XAVIER, 2013).

F) Crise energética de 2001 e de 2002

O Brasil caminhava desde as décadas de 80 e 90 com uma dificuldade em fazer com que o aumento pela demanda de energia fosse acompanhado por um crescimento, no mínimo proporcional, da geração de energia elétrica. Este fato já colocava o país sob alerta de racionamento. Houve uma iniciativa por parte do governo federal de incrementar a capacidade de geração através de termelétricas. No entanto, por diversos fatores não foi atraente para os investidores e, dessa forma, a geração continuou defasada em relação à demanda (BARDELIN, 2004).

As chuvas do verão dos anos de 2000 e de 2001 foram abaixo de 50% em relação à média histórica e os reservatórios dos principais empreendimentos hidrelétricos atingiram 15% do volume útil (MARENGO; ALVES, 2005). Como havia uma dependência expressiva em relação à fonte hidráulica e com a diminuição do nível dos reservatórios, o resultado foi um racionamento de energia. Este racionamento abrangeu diversos estados, sendo aplicado sob o Sudeste, o Centro Oeste e o Nordeste (BARDELIN, 2004).

Além da escassez de investimento, é preciso salientar também que o cenário das décadas anteriores a esta crise era péssimo, não havia incentivo para que se tivesse sistemas eficientes e competitivos. Esses fatores contribuíram para que se tivesse tarifas inadequadas, estagnação de obras e certa inadimplência no setor. Ademais os empreendimentos hidrelétricos atravessavam um período crítico para viabilização de projetos devido ao licenciamento ambiental, já que os órgãos competentes estavam mais rígidos nos requisitos (SILVEIRA; GUERRA 2001).

G) Crise energética de 2013 a 2015

Pode-se dizer que estado de São Paulo foi um dos locais que mais foram afetados por crises energéticas e hídricas. Esta região sofreu estes fenômenos em um considerável número de anos, a saber: 1828, 1841, 1846, 1862, 1902-1903, 1905-1907, 1924-1925, década de 1940, 1958, 1963-1964, 1969, 1985, 1994, 2000, 2003, 2010, 2013-2015 (BONZI, 2019).

Entre os anos de 2013 e 2015 o estado de São Paulo, sobretudo a região metropolitana, sofreu com uma escassez hídrica. A série histórica de vazões de 1930 a 2015 no sistema Cantareira mostra que as menores vazões mínimas da série são no período de 2014 a 2015. Em agosto de 2013 choveu somente 6mm no mês inteiro (CALMON; FERREIRA, 2017).

Apesar de muitas coisas terem acontecido após a crise de 2001 e 2002, como por exemplo a instalação de linhas de transmissão para transferir energia entre regiões e aumento da capacidade de geração por meio de usinas termelétricas para 42GW, houve uma mudança no clima que culminou com os reservatórios de usinas hidrelétricas estarem abaixo do que esteve em 2001. Inclusive, aqueles reservatórios que já estavam no volume morto tiveram que ser interrompidos. Devido à forte dependência do recurso hídrico, o Brasil passou por mais uma crise energética. Para evitar quedas de energia, foram acionadas a maioria das termelétricas do país, que acabou resultando em um aumento considerável na tarifa de energia (HUNT; STILPEN; FREITAS, 2018).

APÊNDICE B – Potência e Energia Elétrica Unitária

PCH I

Q_x/Q_P	$P_{ele\ unit}$	Q_x/Q_P	$P_{ele\ unit}$	Q_x/Q_P	$P_{ele\ unit}$
1,00	0,834	0,66	0,551	0,32	0,263
0,99	0,827	0,65	0,544	0,31	0,255
0,98	0,820	0,64	0,536	0,30	0,247
0,97	0,812	0,63	0,528	0,29	0,238
0,96	0,805	0,62	0,520	0,28	0,229
0,95	0,797	0,61	0,512	0,27	0,220
0,94	0,789	0,60	0,503	0,26	0,211
0,93	0,782	0,59	0,495	0,25	0,201
0,92	0,774	0,58	0,486	0,24	0,000
0,91	0,766	0,57	0,478	0,23	0,000
0,90	0,757	0,56	0,469	0,22	0,000
0,89	0,749	0,55	0,460	0,21	0,000
0,88	0,741	0,54	0,451	0,20	0,000
0,87	0,732	0,53	0,441	0,19	0,000
0,86	0,724	0,52	0,432	0,18	0,000
0,85	0,715	0,51	0,422	0,17	0,000
0,84	0,706	0,50	0,413	0,16	0,000
0,83	0,697	0,49	0,403	0,15	0,000
0,82	0,688	0,48	0,278	0,14	0,000
0,81	0,679	0,47	0,278	0,13	0,000
0,80	0,670	0,46	0,278	0,12	0,000
0,79	0,661	0,45	0,278	0,11	0,000
0,78	0,652	0,44	0,278	0,10	0,000
0,77	0,643	0,43	0,278	0,09	0,000
0,76	0,633	0,42	0,278	0,08	0,000
0,75	0,624	0,41	0,278	0,07	0,000
0,74	0,558	0,40	0,278	0,06	0,000
0,73	0,558	0,39	0,278	0,05	0,000
0,72	0,558	0,38	0,278	0,04	0,000
0,71	0,558	0,37	0,278	0,03	0,000
0,70	0,558	0,36	0,278	0,02	0,000
0,69	0,558	0,35	0,278	0,01	0,000
0,68	0,558	0,34	0,278	0,00	0,000
0,67	0,558	0,33	0,271		

Vazões Médias Diárias – Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	8185	50,36%	0,420
0,99	6	0,04%	0,000
0,98	307	1,89%	0,015
0,97	33	0,20%	0,002
0,96	284	1,75%	0,014
0,95	46	0,28%	0,002
0,94	395	2,43%	0,019
0,93	45	0,28%	0,002
0,92	440	2,71%	0,021
0,91	137	0,84%	0,006
0,90	263	1,62%	0,012
0,89	128	0,79%	0,006
0,88	210	1,29%	0,010
0,87	85	0,52%	0,004
0,86	284	1,75%	0,013
0,85	373	2,30%	0,016
0,84	38	0,23%	0,002
0,83	286	1,76%	0,012
0,82	54	0,33%	0,002
0,81	227	1,40%	0,009
0,80	56	0,34%	0,002
0,79	251	1,54%	0,010
0,78	55	0,34%	0,002
0,77	186	1,14%	0,007
0,76	174	1,07%	0,007
0,75	95	0,58%	0,004
0,74	224	1,38%	0,008
0,73	95	0,58%	0,003
0,72	254	1,56%	0,009
0,71	103	0,63%	0,004
0,70	318	1,96%	0,011
0,69	100	0,62%	0,003
0,68	224	1,38%	0,008
0,67	210	1,29%	0,007
0,66	59	0,36%	0,002
0,65	184	1,13%	0,006
0,64	186	1,14%	0,006
0,63	126	0,78%	0,004
0,62	96	0,59%	0,003
0,61	47	0,29%	0,001
0,60	105	0,65%	0,003
0,59	86	0,53%	0,003
0,58	31	0,19%	0,001

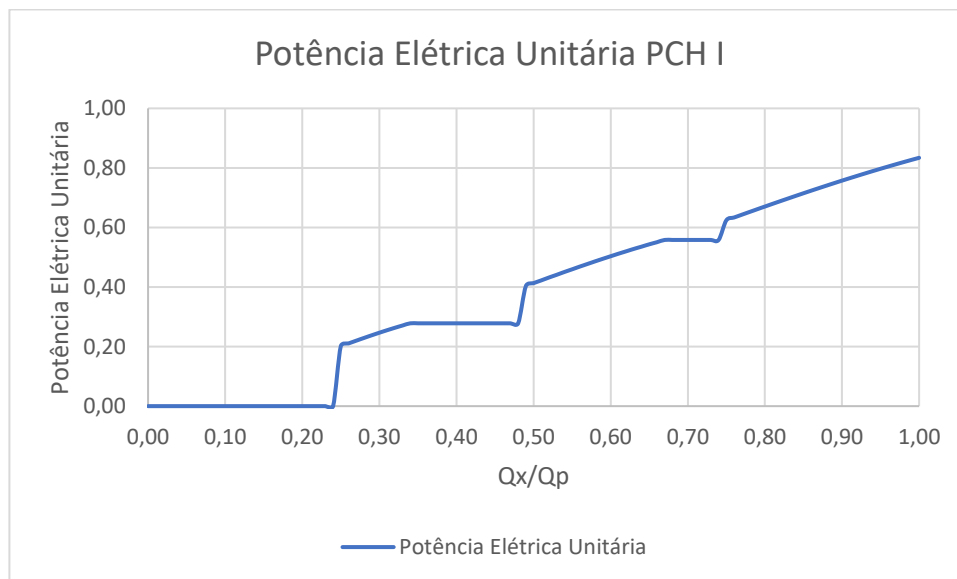
Vazões Médias Mensais – Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	272	50,94%	0,425
0,99	7	1,31%	0,011
0,98	9	1,69%	0,014
0,97	3	0,56%	0,005
0,96	4	0,75%	0,006
0,95	9	1,69%	0,013
0,94	10	1,87%	0,015
0,93	5	0,94%	0,007
0,92	7	1,31%	0,010
0,91	10	1,87%	0,014
0,90	4	0,75%	0,006
0,89	10	1,87%	0,014
0,88	5	0,94%	0,007
0,87	5	0,94%	0,007
0,86	3	0,56%	0,004
0,85	6	1,12%	0,008
0,84	8	1,50%	0,011
0,83	7	1,31%	0,009
0,82	6	1,12%	0,008
0,81	4	0,75%	0,005
0,80	7	1,31%	0,009
0,79	2	0,37%	0,002
0,78	2	0,37%	0,002
0,77	3	0,56%	0,004
0,76	5	0,94%	0,006
0,75	8	1,50%	0,009
0,74	5	0,94%	0,005
0,73	3	0,56%	0,003
0,72	9	1,69%	0,009
0,71	9	1,69%	0,009
0,70	4	0,75%	0,004
0,69	8	1,50%	0,008
0,68	7	1,31%	0,007
0,67	0	0,00%	0,000
0,66	8	1,50%	0,008
0,65	6	1,12%	0,006
0,64	6	1,12%	0,006
0,63	2	0,37%	0,002
0,62	4	0,75%	0,004
0,61	4	0,75%	0,004
0,60	2	0,37%	0,002
0,59	1	0,19%	0,001
0,58	2	0,37%	0,002

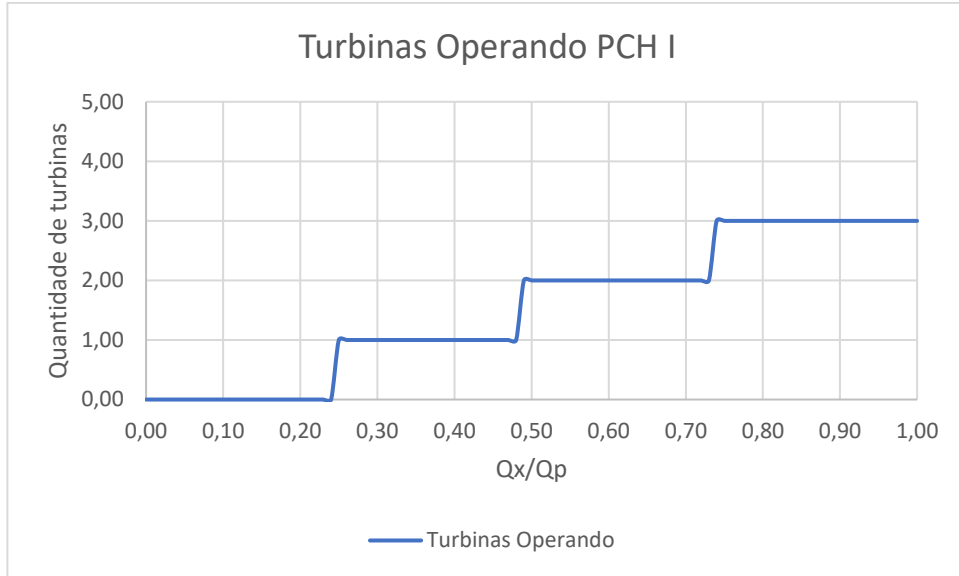
Vazões Médias Diárias – Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	105	0,65%	0,003
0,56	33	0,20%	0,001
0,55	73	0,45%	0,002
0,54	17	0,10%	0,000
0,53	95	0,58%	0,003
0,52	27	0,17%	0,001
0,51	54	0,33%	0,001
0,50	52	0,32%	0,001
0,49	32	0,20%	0,001
0,48	64	0,39%	0,001
0,47	19	0,12%	0,000
0,46	93	0,57%	0,002
0,45	22	0,14%	0,000
0,44	91	0,56%	0,002
0,43	55	0,34%	0,001
0,42	62	0,38%	0,001
0,41	71	0,44%	0,001
0,40	40	0,25%	0,001
0,39	48	0,30%	0,001
0,38	52	0,32%	0,001
0,37	4	0,02%	0,000
0,36	25	0,15%	0,000
0,35	6	0,04%	0,000
0,34	1	0,01%	0,000
0,33	2	0,01%	0,000
0,32	3	0,02%	0,000
0,31	2	0,01%	0,000
0,30	6	0,04%	0,000
0,29	3	0,02%	0,000
0,28	2	0,01%	0,000
0,27	1	0,01%	0,000
0,26	0	0,00%	0,000
0,25	0	0,00%	0,000
0,24	0	0,00%	0,000
0,23	0	0,00%	0,000
0,22	1	0,01%	0,000
0,21	0	0,00%	0,000
0,20	0	0,00%	0,000
0,19	0	0,00%	0,000
0,18	0	0,00%	0,000
0,17	0	0,00%	0,000
0,16	0	0,00%	0,000
0,15	0	0,00%	0,000

Vazões Médias Mensais – Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	0	0,00%	0,000
0,56	2	0,37%	0,002
0,55	0	0,00%	0,000
0,54	3	0,56%	0,003
0,53	2	0,37%	0,002
0,52	3	0,56%	0,002
0,51	1	0,19%	0,001
0,50	1	0,19%	0,001
0,49	1	0,19%	0,001
0,48	2	0,37%	0,001
0,47	1	0,19%	0,001
0,46	4	0,75%	0,002
0,45	1	0,19%	0,001
0,44	3	0,56%	0,002
0,43	2	0,37%	0,001
0,42	1	0,19%	0,001
0,41	1	0,19%	0,001
0,40	2	0,37%	0,001
0,39	1	0,19%	0,001
0,38	1	0,19%	0,001
0,37	0	0,00%	0,000
0,36	0	0,00%	0,000
0,35	0	0,00%	0,000
0,34	0	0,00%	0,000
0,33	1	0,19%	0,001
0,32	0	0,00%	0,000
0,31	0	0,00%	0,000
0,30	0	0,00%	0,000
0,29	0	0,00%	0,000
0,28	0	0,00%	0,000
0,27	0	0,00%	0,000
0,26	0	0,00%	0,000
0,25	0	0,00%	0,000
0,24	0	0,00%	0,000
0,23	0	0,00%	0,000
0,22	0	0,00%	0,000
0,21	0	0,00%	0,000
0,20	0	0,00%	0,000
0,19	0	0,00%	0,000
0,18	0	0,00%	0,000
0,17	0	0,00%	0,000
0,16	0	0,00%	0,000
0,15	0	0,00%	0,000

Vazões Médias Diárias – Série Histórica			
Q_x/Q_p	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	0	0,00%	0,000
0,13	0	0,00%	0,000
0,12	0	0,00%	0,000
0,11	0	0,00%	0,000
0,10	0	0,00%	0,000
0,09	0	0,00%	0,000
0,08	0	0,00%	0,000
0,07	0	0,00%	0,000
0,06	0	0,00%	0,000
0,05	0	0,00%	0,000
0,04	0	0,00%	0,000
0,03	0	0,00%	0,000
0,02	0	0,00%	0,000
0,01	0	0,00%	0,000
0,00	0	0,00%	0,000

Vazões Médias Mensais – Série Histórica			
Q_x/Q_p	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	0	0,00%	0,000
0,13	0	0,00%	0,000
0,12	0	0,00%	0,000
0,11	0	0,00%	0,000
0,10	0	0,00%	0,000
0,09	0	0,00%	0,000
0,08	0	0,00%	0,000
0,07	0	0,00%	0,000
0,06	0	0,00%	0,000
0,05	0	0,00%	0,000
0,04	0	0,00%	0,000
0,03	0	0,00%	0,000
0,02	0	0,00%	0,000
0,01	0	0,00%	0,000
0,00	0	0,00%	0,000





PCH II

Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}
1,00	0,773	0,66	0,384	0,32	0,000
0,99	0,767	0,65	0,384	0,31	0,000
0,98	0,761	0,64	0,384	0,30	0,000
0,97	0,755	0,63	0,384	0,29	0,000
0,96	0,748	0,62	0,384	0,28	0,000
0,95	0,742	0,61	0,384	0,27	0,000
0,94	0,735	0,60	0,384	0,26	0,000
0,93	0,728	0,59	0,384	0,25	0,000
0,92	0,721	0,58	0,384	0,24	0,000
0,91	0,714	0,57	0,384	0,23	0,000
0,90	0,707	0,56	0,384	0,22	0,000
0,89	0,700	0,55	0,384	0,21	0,000
0,88	0,692	0,54	0,384	0,20	0,000
0,87	0,685	0,53	0,384	0,19	0,000
0,86	0,677	0,52	0,384	0,18	0,000
0,85	0,384	0,51	0,384	0,17	0,000
0,84	0,384	0,50	0,384	0,16	0,000
0,83	0,384	0,49	0,378	0,15	0,000
0,82	0,384	0,48	0,371	0,14	0,000
0,81	0,384	0,47	0,364	0,13	0,000
0,80	0,384	0,46	0,357	0,12	0,000
0,79	0,384	0,45	0,350	0,11	0,000
0,78	0,384	0,44	0,343	0,10	0,000
0,77	0,384	0,43	0,335	0,09	0,000
0,76	0,384	0,42	0,000	0,08	0,000
0,75	0,384	0,41	0,000	0,07	0,000
0,74	0,384	0,40	0,000	0,06	0,000
0,73	0,384	0,39	0,000	0,05	0,000
0,72	0,384	0,38	0,000	0,04	0,000
0,71	0,384	0,37	0,000	0,03	0,000
0,70	0,384	0,36	0,000	0,02	0,000
0,69	0,384	0,35	0,000	0,01	0,000
0,68	0,384	0,34	0,000	0,00	0,000
0,67	0,384	0,33	0,000		

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	3161	19,45%	0,150
0,99	252	1,55%	0,012
0,98	96	0,59%	0,004
0,97	299	1,84%	0,014
0,96	68	0,42%	0,003
0,95	315	1,94%	0,014
0,94	94	0,58%	0,004
0,93	396	2,44%	0,018
0,92	61	0,38%	0,003
0,91	6	0,04%	0,000
0,90	473	2,91%	0,021
0,89	6	0,04%	0,000
0,88	556	3,42%	0,024
0,87	3	0,02%	0,000
0,86	563	3,46%	0,023
0,85	4	0,02%	0,000
0,84	554	3,41%	0,013
0,83	138	0,85%	0,003
0,82	432	2,66%	0,010
0,81	112	0,69%	0,003
0,80	490	3,02%	0,012
0,79	175	1,08%	0,004
0,78	400	2,46%	0,009
0,77	616	3,79%	0,015
0,76	71	0,44%	0,002
0,75	536	3,30%	0,013
0,74	114	0,70%	0,003
0,73	531	3,27%	0,013
0,72	109	0,67%	0,003
0,71	425	2,62%	0,010
0,70	221	1,36%	0,005
0,69	443	2,73%	0,010
0,68	97	0,60%	0,002
0,67	450	2,77%	0,011
0,66	503	3,10%	0,012
0,65	100	0,62%	0,002
0,64	486	2,99%	0,011
0,63	172	1,06%	0,004
0,62	447	2,75%	0,011
0,61	197	1,21%	0,005
0,60	342	2,10%	0,008
0,59	204	1,26%	0,005
0,58	48	0,30%	0,001

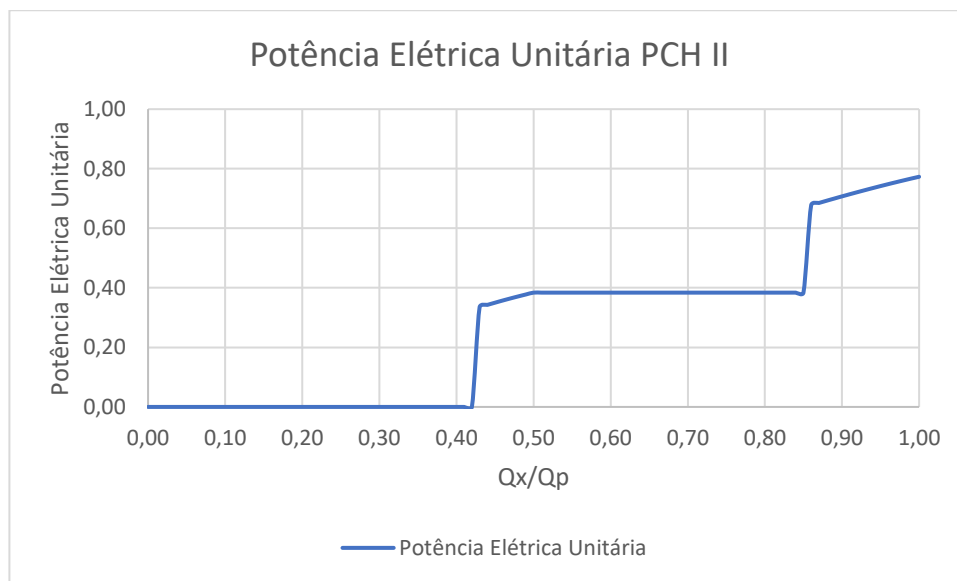
Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	104	19,48%	0,151
0,99	4	0,75%	0,006
0,98	10	1,87%	0,014
0,97	6	1,12%	0,008
0,96	3	0,56%	0,004
0,95	7	1,31%	0,010
0,94	7	1,31%	0,010
0,93	7	1,31%	0,010
0,92	10	1,87%	0,014
0,91	12	2,25%	0,016
0,90	5	0,94%	0,007
0,89	4	0,75%	0,005
0,88	11	2,06%	0,014
0,87	13	2,43%	0,017
0,86	14	2,62%	0,018
0,85	11	2,06%	0,008
0,84	10	1,87%	0,007
0,83	7	1,31%	0,005
0,82	12	2,25%	0,009
0,81	13	2,43%	0,009
0,80	11	2,06%	0,008
0,79	11	2,06%	0,008
0,78	6	1,12%	0,004
0,77	10	1,87%	0,007
0,76	10	1,87%	0,007
0,75	12	2,25%	0,009
0,74	8	1,50%	0,006
0,73	9	1,69%	0,006
0,72	9	1,69%	0,006
0,71	12	2,25%	0,009
0,70	13	2,43%	0,009
0,69	12	2,25%	0,009
0,68	8	1,50%	0,006
0,67	7	1,31%	0,005
0,66	13	2,43%	0,009
0,65	10	1,87%	0,007
0,64	11	2,06%	0,008
0,63	16	3,00%	0,011
0,62	4	0,75%	0,003
0,61	12	2,25%	0,009
0,60	6	1,12%	0,004
0,59	6	1,12%	0,004
0,58	8	1,50%	0,006

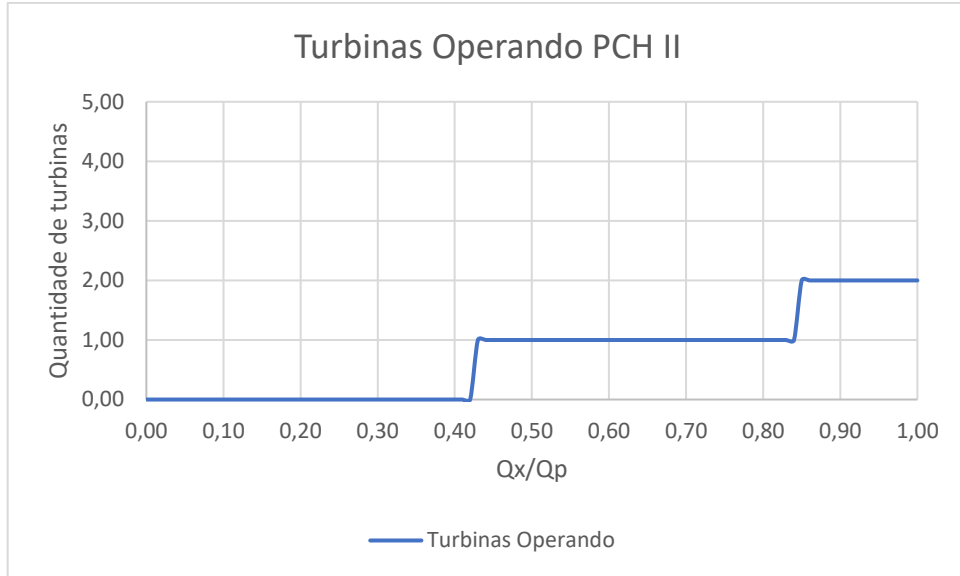
Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	188	1,16%	0,004
0,56	25	0,15%	0,001
0,55	154	0,95%	0,004
0,54	0	0,00%	0,000
0,53	206	1,27%	0,005
0,52	156	0,96%	0,004
0,51	23	0,14%	0,001
0,50	223	1,37%	0,005
0,49	4	0,02%	0,000
0,48	207	1,27%	0,005
0,47	0	0,00%	0,000
0,46	159	0,98%	0,003
0,45	81	0,50%	0,002
0,44	6	0,04%	0,000
0,43	54	0,33%	0,001
0,42	0	0,00%	0,000
0,41	0	0,00%	0,000
0,40	0	0,00%	0,000
0,39	0	0,00%	0,000
0,38	0	0,00%	0,000
0,37	0	0,00%	0,000
0,36	0	0,00%	0,000
0,35	0	0,00%	0,000
0,34	0	0,00%	0,000
0,33	0	0,00%	0,000
0,32	0	0,00%	0,000
0,31	0	0,00%	0,000
0,30	0	0,00%	0,000
0,29	0	0,00%	0,000
0,28	0	0,00%	0,000
0,27	0	0,00%	0,000
0,26	0	0,00%	0,000
0,25	0	0,00%	0,000
0,24	0	0,00%	0,000
0,23	0	0,00%	0,000
0,22	0	0,00%	0,000
0,21	0	0,00%	0,000
0,20	0	0,00%	0,000
0,19	0	0,00%	0,000
0,18	0	0,00%	0,000
0,17	0	0,00%	0,000
0,16	0	0,00%	0,000
0,15	0	0,00%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	0	0,00%	0,000
0,56	3	0,56%	0,002
0,55	3	0,56%	0,002
0,54	4	0,75%	0,003
0,53	2	0,37%	0,001
0,52	3	0,56%	0,002
0,51	5	0,94%	0,004
0,50	5	0,94%	0,004
0,49	2	0,37%	0,001
0,48	6	1,12%	0,004
0,47	2	0,37%	0,001
0,46	1	0,19%	0,001
0,45	2	0,37%	0,001
0,44	2	0,37%	0,001
0,43	0	0,00%	0,000
0,42	0	0,00%	0,000
0,41	0	0,00%	0,000
0,40	0	0,00%	0,000
0,39	0	0,00%	0,000
0,38	0	0,00%	0,000
0,37	0	0,00%	0,000
0,36	0	0,00%	0,000
0,35	0	0,00%	0,000
0,34	0	0,00%	0,000
0,33	0	0,00%	0,000
0,32	0	0,00%	0,000
0,31	0	0,00%	0,000
0,30	0	0,00%	0,000
0,29	0	0,00%	0,000
0,28	0	0,00%	0,000
0,27	0	0,00%	0,000
0,26	0	0,00%	0,000
0,25	0	0,00%	0,000
0,24	0	0,00%	0,000
0,23	0	0,00%	0,000
0,22	0	0,00%	0,000
0,21	0	0,00%	0,000
0,20	0	0,00%	0,000
0,19	0	0,00%	0,000
0,18	0	0,00%	0,000
0,17	0	0,00%	0,000
0,16	0	0,00%	0,000
0,15	0	0,00%	0,000

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	0	0,00%	0,000
0,13	0	0,00%	0,000
0,12	0	0,00%	0,000
0,11	0	0,00%	0,000
0,10	0	0,00%	0,000
0,09	0	0,00%	0,000
0,08	0	0,00%	0,000
0,07	0	0,00%	0,000
0,06	0	0,00%	0,000
0,05	0	0,00%	0,000
0,04	0	0,00%	0,000
0,03	0	0,00%	0,000
0,02	0	0,00%	0,000
0,01	0	0,00%	0,000
0,00	0	0,00%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	0	0,00%	0,000
0,13	0	0,00%	0,000
0,12	0	0,00%	0,000
0,11	0	0,00%	0,000
0,10	0	0,00%	0,000
0,09	0	0,00%	0,000
0,08	0	0,00%	0,000
0,07	0	0,00%	0,000
0,06	0	0,00%	0,000
0,05	0	0,00%	0,000
0,04	0	0,00%	0,000
0,03	0	0,00%	0,000
0,02	0	0,00%	0,000
0,01	0	0,00%	0,000
0,00	0	0,00%	0,000





PCH III

Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}
1,00	0,855	0,66	0,544	0,32	0,257
0,99	0,848	0,65	0,534	0,31	0,247
0,98	0,840	0,64	0,524	0,30	0,237
0,97	0,832	0,63	0,514	0,29	0,000
0,96	0,824	0,62	0,504	0,28	0,000
0,95	0,816	0,61	0,494	0,27	0,000
0,94	0,807	0,60	0,425	0,26	0,000
0,93	0,799	0,59	0,425	0,25	0,000
0,92	0,790	0,58	0,425	0,24	0,000
0,91	0,782	0,57	0,425	0,23	0,000
0,90	0,773	0,56	0,425	0,22	0,000
0,89	0,764	0,55	0,425	0,21	0,000
0,88	0,755	0,54	0,425	0,20	0,000
0,87	0,746	0,53	0,425	0,19	0,000
0,86	0,737	0,52	0,425	0,18	0,000
0,85	0,728	0,51	0,425	0,17	0,000
0,84	0,719	0,50	0,425	0,16	0,000
0,83	0,710	0,49	0,417	0,15	0,000
0,82	0,700	0,48	0,409	0,14	0,000
0,81	0,691	0,47	0,400	0,13	0,000
0,80	0,681	0,46	0,392	0,12	0,000
0,79	0,672	0,45	0,383	0,11	0,000
0,78	0,662	0,44	0,374	0,10	0,000
0,77	0,653	0,43	0,364	0,09	0,000
0,76	0,643	0,42	0,355	0,08	0,000
0,75	0,633	0,41	0,345	0,07	0,000
0,74	0,623	0,40	0,336	0,06	0,000
0,73	0,613	0,39	0,326	0,05	0,000
0,72	0,604	0,38	0,316	0,04	0,000
0,71	0,594	0,37	0,306	0,03	0,000
0,70	0,584	0,36	0,297	0,02	0,000
0,69	0,574	0,35	0,287	0,01	0,000
0,68	0,564	0,34	0,277	0,00	0,000
0,67	0,554	0,33	0,267		

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	1394	8,36%	0,071
0,99	15	0,09%	0,001
0,98	23	0,14%	0,001
0,97	43	0,26%	0,002
0,96	29	0,17%	0,001
0,95	61	0,37%	0,003
0,94	29	0,17%	0,001
0,93	53	0,32%	0,003
0,92	21	0,13%	0,001
0,91	50	0,30%	0,002
0,90	30	0,18%	0,001
0,89	35	0,21%	0,002
0,88	93	0,56%	0,004
0,87	38	0,23%	0,002
0,86	73	0,44%	0,003
0,85	68	0,41%	0,003
0,84	55	0,33%	0,002
0,83	42	0,25%	0,002
0,82	83	0,50%	0,003
0,81	62	0,37%	0,003
0,80	66	0,40%	0,003
0,79	74	0,44%	0,003
0,78	61	0,37%	0,002
0,77	89	0,53%	0,003
0,76	66	0,40%	0,003
0,75	66	0,40%	0,003
0,74	65	0,39%	0,002
0,73	154	0,92%	0,006
0,72	52	0,31%	0,002
0,71	170	1,02%	0,006
0,70	70	0,42%	0,002
0,69	164	0,98%	0,006
0,68	80	0,48%	0,003
0,67	193	1,16%	0,006
0,66	113	0,68%	0,004
0,65	251	1,50%	0,008
0,64	83	0,50%	0,003
0,63	110	0,66%	0,003
0,62	133	0,80%	0,004
0,61	134	0,80%	0,004
0,60	219	1,31%	0,006
0,59	147	0,88%	0,004
0,58	193	1,16%	0,005

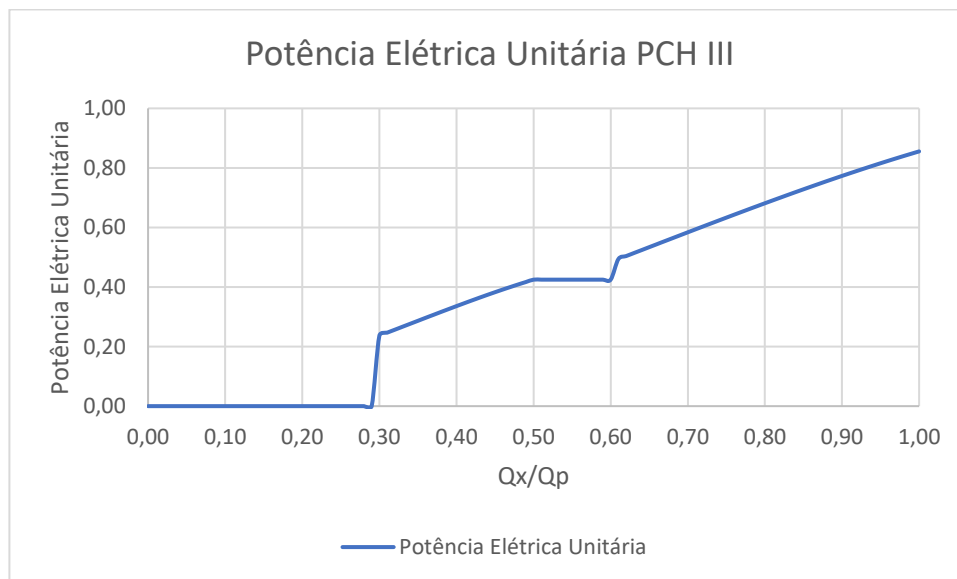
Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	51	9,31%	0,080
0,99	0	0,00%	0,000
0,98	1	0,18%	0,002
0,97	1	0,18%	0,002
0,96	3	0,55%	0,005
0,95	2	0,36%	0,003
0,94	1	0,18%	0,001
0,93	4	0,73%	0,006
0,92	2	0,36%	0,003
0,91	0	0,00%	0,000
0,90	1	0,18%	0,001
0,89	1	0,18%	0,001
0,88	2	0,36%	0,003
0,87	2	0,36%	0,003
0,86	6	1,09%	0,008
0,85	5	0,91%	0,007
0,84	5	0,91%	0,007
0,83	3	0,55%	0,004
0,82	2	0,36%	0,003
0,81	4	0,73%	0,005
0,80	7	1,28%	0,009
0,79	0	0,00%	0,000
0,78	6	1,09%	0,007
0,77	1	0,18%	0,001
0,76	4	0,73%	0,005
0,75	3	0,55%	0,003
0,74	4	0,73%	0,005
0,73	0	0,00%	0,000
0,72	4	0,73%	0,004
0,71	3	0,55%	0,003
0,70	7	1,28%	0,007
0,69	3	0,55%	0,003
0,68	5	0,91%	0,005
0,67	6	1,09%	0,006
0,66	5	0,91%	0,005
0,65	3	0,55%	0,003
0,64	5	0,91%	0,005
0,63	11	2,01%	0,010
0,62	4	0,73%	0,004
0,61	11	2,01%	0,010
0,60	12	2,19%	0,009
0,59	5	0,91%	0,004
0,58	7	1,28%	0,005

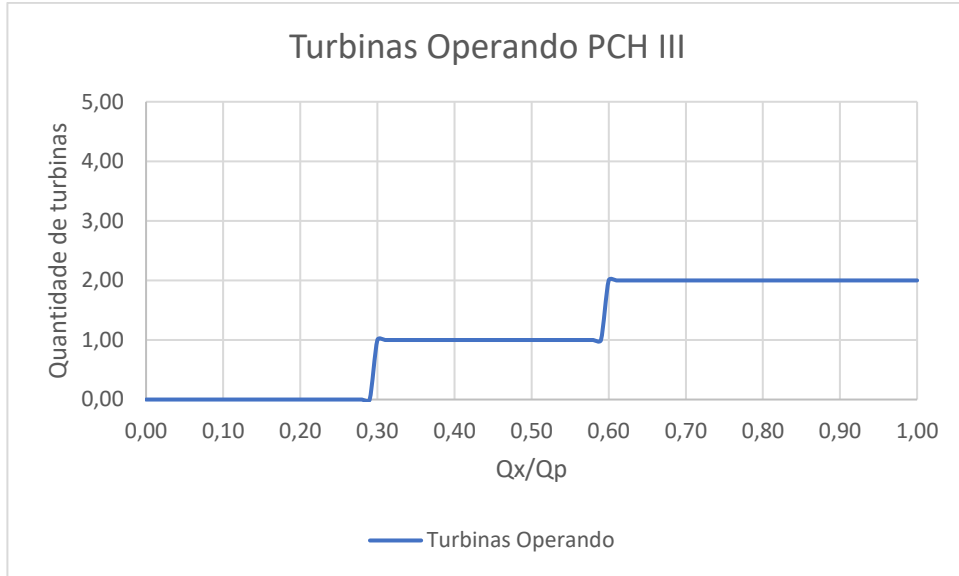
Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	99	0,59%	0,003
0,56	603	3,62%	0,015
0,55	176	1,06%	0,004
0,54	243	1,46%	0,006
0,53	293	1,76%	0,007
0,52	258	1,55%	0,007
0,51	273	1,64%	0,007
0,50	355	2,13%	0,009
0,49	672	4,03%	0,017
0,48	344	2,06%	0,008
0,47	470	2,82%	0,011
0,46	638	3,82%	0,015
0,45	459	2,75%	0,011
0,44	455	2,73%	0,010
0,43	503	3,02%	0,011
0,42	414	2,48%	0,009
0,41	463	2,78%	0,010
0,40	554	3,32%	0,011
0,39	579	3,47%	0,011
0,38	438	2,63%	0,008
0,37	920	5,52%	0,017
0,36	78	0,47%	0,001
0,35	693	4,15%	0,012
0,34	44	0,26%	0,001
0,33	303	1,82%	0,005
0,32	493	2,96%	0,008
0,31	0	0,00%	0,000
0,30	191	1,15%	0,003
0,29	77	0,46%	0,000
0,28	182	1,09%	0,000
0,27	68	0,41%	0,000
0,26	46	0,28%	0,000
0,25	24	0,14%	0,000
0,24	44	0,26%	0,000
0,23	15	0,09%	0,000
0,22	0	0,00%	0,000
0,21	33	0,20%	0,000
0,20	0	0,00%	0,000
0,19	3	0,02%	0,000
0,18	9	0,05%	0,000
0,17	0	0,00%	0,000
0,16	3	0,02%	0,000
0,15	53	0,32%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	5	0,91%	0,004
0,56	9	1,64%	0,007
0,55	11	2,01%	0,009
0,54	9	1,64%	0,007
0,53	5	0,91%	0,004
0,52	9	1,64%	0,007
0,51	6	1,09%	0,005
0,50	11	2,01%	0,009
0,49	19	3,47%	0,014
0,48	17	3,10%	0,013
0,47	15	2,74%	0,011
0,46	13	2,37%	0,009
0,45	16	2,92%	0,011
0,44	11	2,01%	0,007
0,43	13	2,37%	0,009
0,42	12	2,19%	0,008
0,41	22	4,01%	0,014
0,40	17	3,10%	0,010
0,39	13	2,37%	0,008
0,38	15	2,74%	0,009
0,37	16	2,92%	0,009
0,36	13	2,37%	0,007
0,35	9	1,64%	0,005
0,34	8	1,46%	0,004
0,33	10	1,82%	0,005
0,32	4	0,73%	0,002
0,31	7	1,28%	0,003
0,30	3	0,55%	0,001
0,29	4	0,73%	0,000
0,28	6	1,09%	0,000
0,27	2	0,36%	0,000
0,26	1	0,18%	0,000
0,25	0	0,00%	0,000
0,24	1	0,18%	0,000
0,23	0	0,00%	0,000
0,22	0	0,00%	0,000
0,21	0	0,00%	0,000
0,20	0	0,00%	0,000
0,19	1	0,18%	0,000
0,18	0	0,00%	0,000
0,17	0	0,00%	0,000
0,16	0	0,00%	0,000
0,15	1	0,18%	0,000

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	0	0,00%	0,000
0,13	50	0,30%	0,000
0,12	12	0,07%	0,000
0,11	0	0,00%	0,000
0,10	0	0,00%	0,000
0,09	0	0,00%	0,000
0,08	0	0,00%	0,000
0,07	0	0,00%	0,000
0,06	0	0,00%	0,000
0,05	0	0,00%	0,000
0,04	0	0,00%	0,000
0,03	0	0,00%	0,000
0,02	0	0,00%	0,000
0,01	0	0,00%	0,000
0,00	0	0,00%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	1	0,18%	0,000
0,13	1	0,18%	0,000
0,12	0	0,00%	0,000
0,11	0	0,00%	0,000
0,10	0	0,00%	0,000
0,09	0	0,00%	0,000
0,08	0	0,00%	0,000
0,07	0	0,00%	0,000
0,06	0	0,00%	0,000
0,05	0	0,00%	0,000
0,04	0	0,00%	0,000
0,03	0	0,00%	0,000
0,02	0	0,00%	0,000
0,01	0	0,00%	0,000
0,00	0	0,00%	0,000





PCH IV

Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}
1,00	0,898	0,66	0,446	0,32	0,000
0,99	0,889	0,65	0,446	0,31	0,000
0,98	0,881	0,64	0,446	0,30	0,000
0,97	0,872	0,63	0,446	0,29	0,000
0,96	0,864	0,62	0,446	0,28	0,000
0,95	0,855	0,61	0,446	0,27	0,000
0,94	0,846	0,60	0,446	0,26	0,000
0,93	0,837	0,59	0,446	0,25	0,000
0,92	0,828	0,58	0,446	0,24	0,000
0,91	0,819	0,57	0,446	0,23	0,000
0,90	0,809	0,56	0,446	0,22	0,000
0,89	0,800	0,55	0,446	0,21	0,000
0,88	0,791	0,54	0,446	0,20	0,000
0,87	0,781	0,53	0,446	0,19	0,000
0,86	0,771	0,52	0,446	0,18	0,000
0,85	0,762	0,51	0,446	0,17	0,000
0,84	0,752	0,50	0,446	0,16	0,000
0,83	0,742	0,49	0,437	0,15	0,000
0,82	0,732	0,48	0,428	0,14	0,000
0,81	0,722	0,47	0,419	0,13	0,000
0,80	0,712	0,46	0,410	0,12	0,000
0,79	0,446	0,45	0,401	0,11	0,000
0,78	0,446	0,44	0,391	0,10	0,000
0,77	0,446	0,43	0,381	0,09	0,000
0,76	0,446	0,42	0,371	0,08	0,000
0,75	0,446	0,41	0,361	0,07	0,000
0,74	0,446	0,40	0,351	0,06	0,000
0,73	0,446	0,39	0,341	0,05	0,000
0,72	0,446	0,38	0,000	0,04	0,000
0,71	0,446	0,37	0,000	0,03	0,000
0,70	0,446	0,36	0,000	0,02	0,000
0,69	0,446	0,35	0,000	0,01	0,000
0,68	0,446	0,34	0,000	0,00	0,000
0,67	0,446	0,33	0,000		

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	3608	19,53%	0,175
0,99	70	0,38%	0,003
0,98	60	0,32%	0,003
0,97	80	0,43%	0,004
0,96	58	0,31%	0,003
0,95	30	0,16%	0,001
0,94	66	0,36%	0,003
0,93	68	0,37%	0,003
0,92	64	0,35%	0,003
0,91	67	0,36%	0,003
0,90	62	0,34%	0,003
0,89	79	0,43%	0,003
0,88	79	0,43%	0,003
0,87	87	0,47%	0,004
0,86	94	0,51%	0,004
0,85	26	0,14%	0,001
0,84	135	0,73%	0,005
0,83	70	0,38%	0,003
0,82	82	0,44%	0,003
0,81	89	0,48%	0,003
0,80	78	0,42%	0,003
0,79	90	0,49%	0,002
0,78	94	0,51%	0,002
0,77	84	0,45%	0,002
0,76	76	0,41%	0,002
0,75	102	0,55%	0,002
0,74	100	0,54%	0,002
0,73	109	0,59%	0,003
0,72	88	0,48%	0,002
0,71	174	0,94%	0,004
0,70	92	0,50%	0,002
0,69	117	0,63%	0,003
0,68	77	0,42%	0,002
0,67	122	0,66%	0,003
0,66	57	0,31%	0,001
0,65	206	1,11%	0,005
0,64	90	0,49%	0,002
0,63	149	0,81%	0,004
0,62	110	0,60%	0,003
0,61	145	0,78%	0,003
0,60	155	0,84%	0,004
0,59	136	0,74%	0,003
0,58	101	0,55%	0,002

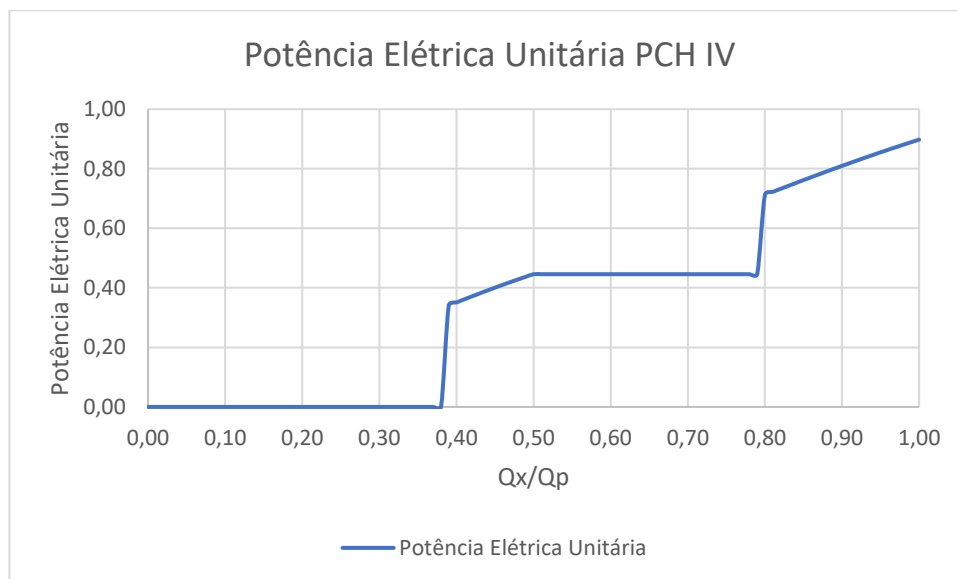
Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	128	21,09%	0,189
0,99	1	0,16%	0,001
0,98	4	0,66%	0,006
0,97	1	0,16%	0,001
0,96	1	0,16%	0,001
0,95	2	0,33%	0,003
0,94	1	0,16%	0,001
0,93	5	0,82%	0,007
0,92	4	0,66%	0,005
0,91	1	0,16%	0,001
0,90	3	0,49%	0,004
0,89	4	0,66%	0,005
0,88	2	0,33%	0,003
0,87	3	0,49%	0,004
0,86	4	0,66%	0,005
0,85	3	0,49%	0,004
0,84	3	0,49%	0,004
0,83	2	0,33%	0,002
0,82	2	0,33%	0,002
0,81	4	0,66%	0,005
0,80	2	0,33%	0,002
0,79	2	0,33%	0,001
0,78	4	0,66%	0,003
0,77	2	0,33%	0,001
0,76	3	0,49%	0,002
0,75	6	0,99%	0,004
0,74	4	0,66%	0,003
0,73	4	0,66%	0,003
0,72	3	0,49%	0,002
0,71	5	0,82%	0,004
0,70	4	0,66%	0,003
0,69	2	0,33%	0,001
0,68	3	0,49%	0,002
0,67	5	0,82%	0,004
0,66	5	0,82%	0,004
0,65	7	1,15%	0,005
0,64	5	0,82%	0,004
0,63	4	0,66%	0,003
0,62	7	1,15%	0,005
0,61	8	1,32%	0,006
0,60	4	0,66%	0,003
0,59	8	1,32%	0,006
0,58	3	0,49%	0,002

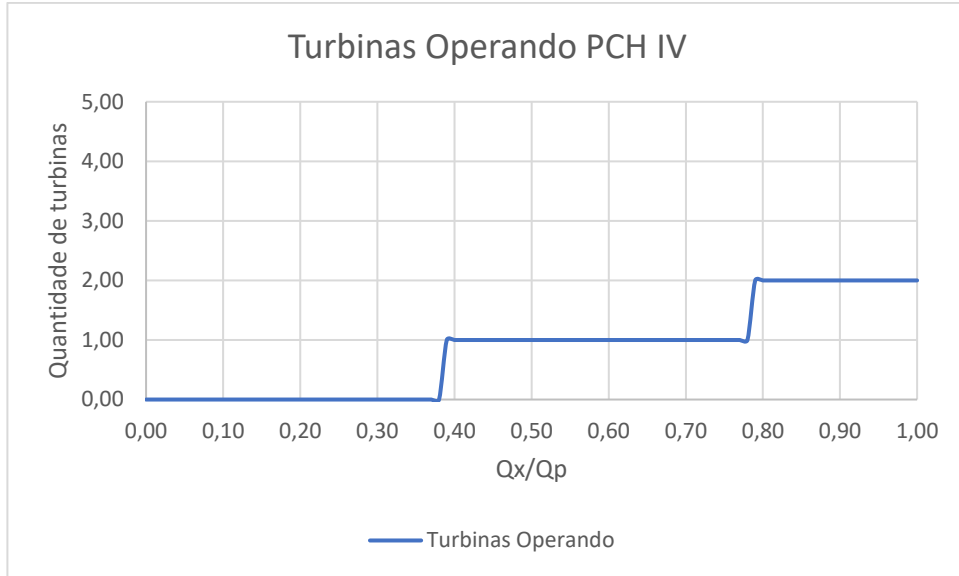
Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	142	0,77%	0,003
0,56	143	0,77%	0,003
0,55	147	0,80%	0,004
0,54	144	0,78%	0,003
0,53	174	0,94%	0,004
0,52	125	0,68%	0,003
0,51	182	0,99%	0,004
0,50	197	1,07%	0,005
0,49	138	0,75%	0,003
0,48	188	1,02%	0,004
0,47	175	0,95%	0,004
0,46	150	0,81%	0,003
0,45	179	0,97%	0,004
0,44	224	1,21%	0,005
0,43	193	1,04%	0,004
0,42	154	0,83%	0,003
0,41	256	1,39%	0,005
0,40	144	0,78%	0,003
0,39	208	1,13%	0,004
0,38	158	0,86%	0,000
0,37	231	1,25%	0,000
0,36	248	1,34%	0,000
0,35	203	1,10%	0,000
0,34	280	1,52%	0,000
0,33	182	0,99%	0,000
0,32	261	1,41%	0,000
0,31	304	1,65%	0,000
0,30	231	1,25%	0,000
0,29	270	1,46%	0,000
0,28	259	1,40%	0,000
0,27	239	1,29%	0,000
0,26	326	1,76%	0,000
0,25	165	0,89%	0,000
0,24	387	2,09%	0,000
0,23	279	1,51%	0,000
0,22	304	1,65%	0,000
0,21	243	1,32%	0,000
0,20	369	2,00%	0,000
0,19	201	1,09%	0,000
0,18	309	1,67%	0,000
0,17	254	1,37%	0,000
0,16	246	1,33%	0,000
0,15	169	0,91%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	2	0,33%	0,001
0,56	1	0,16%	0,001
0,55	4	0,66%	0,003
0,54	2	0,33%	0,001
0,53	2	0,33%	0,001
0,52	7	1,15%	0,005
0,51	10	1,65%	0,007
0,50	10	1,65%	0,007
0,49	7	1,15%	0,005
0,48	5	0,82%	0,004
0,47	4	0,66%	0,003
0,46	6	0,99%	0,004
0,45	6	0,99%	0,004
0,44	7	1,15%	0,005
0,43	6	0,99%	0,004
0,42	2	0,33%	0,001
0,41	6	0,99%	0,004
0,40	6	0,99%	0,003
0,39	8	1,32%	0,004
0,38	4	0,66%	0,000
0,37	4	0,66%	0,000
0,36	4	0,66%	0,000
0,35	13	2,14%	0,000
0,34	7	1,15%	0,000
0,33	7	1,15%	0,000
0,32	9	1,48%	0,000
0,31	7	1,15%	0,000
0,30	8	1,32%	0,000
0,29	11	1,81%	0,000
0,28	6	0,99%	0,000
0,27	10	1,65%	0,000
0,26	12	1,98%	0,000
0,25	13	2,14%	0,000
0,24	7	1,15%	0,000
0,23	9	1,48%	0,000
0,22	9	1,48%	0,000
0,21	5	0,82%	0,000
0,20	11	1,81%	0,000
0,19	8	1,32%	0,000
0,18	11	1,81%	0,000
0,17	10	1,65%	0,000
0,16	7	1,15%	0,000
0,15	5	0,82%	0,000

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	247	1,34%	0,000
0,13	208	1,13%	0,000
0,12	152	0,82%	0,000
0,11	155	0,84%	0,000
0,10	135	0,73%	0,000
0,09	90	0,49%	0,000
0,08	142	0,77%	0,000
0,07	105	0,57%	0,000
0,06	92	0,50%	0,000
0,05	72	0,39%	0,000
0,04	52	0,28%	0,000
0,03	39	0,21%	0,000
0,02	18	0,10%	0,000
0,01	36	0,19%	0,000
0,00	26	0,14%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	2	0,33%	0,000
0,13	4	0,66%	0,000
0,12	2	0,33%	0,000
0,11	6	0,99%	0,000
0,10	2	0,33%	0,000
0,09	4	0,66%	0,000
0,08	1	0,16%	0,000
0,07	3	0,49%	0,000
0,06	2	0,33%	0,000
0,05	1	0,16%	0,000
0,04	1	0,16%	0,000
0,03	2	0,33%	0,000
0,02	1	0,16%	0,000
0,01	0	0,00%	0,000
0,00	0	0,00%	0,000





PCH V

Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}
1,00	0,889	0,66	0,441	0,32	0,000
0,99	0,881	0,65	0,441	0,31	0,000
0,98	0,872	0,64	0,441	0,30	0,000
0,97	0,864	0,63	0,441	0,29	0,000
0,96	0,856	0,62	0,441	0,28	0,000
0,95	0,847	0,61	0,441	0,27	0,000
0,94	0,839	0,60	0,441	0,26	0,000
0,93	0,830	0,59	0,441	0,25	0,000
0,92	0,821	0,58	0,441	0,24	0,000
0,91	0,812	0,57	0,441	0,23	0,000
0,90	0,803	0,56	0,441	0,22	0,000
0,89	0,794	0,55	0,441	0,21	0,000
0,88	0,784	0,54	0,441	0,20	0,000
0,87	0,775	0,53	0,441	0,19	0,000
0,86	0,766	0,52	0,441	0,18	0,000
0,85	0,756	0,51	0,441	0,17	0,000
0,84	0,747	0,50	0,441	0,16	0,000
0,83	0,737	0,49	0,433	0,15	0,000
0,82	0,727	0,48	0,424	0,14	0,000
0,81	0,717	0,47	0,416	0,13	0,000
0,80	0,707	0,46	0,407	0,12	0,000
0,79	0,698	0,45	0,397	0,11	0,000
0,78	0,441	0,44	0,388	0,10	0,000
0,77	0,441	0,43	0,378	0,09	0,000
0,76	0,441	0,42	0,369	0,08	0,000
0,75	0,441	0,41	0,359	0,07	0,000
0,74	0,441	0,40	0,349	0,06	0,000
0,73	0,441	0,39	0,339	0,05	0,000
0,72	0,441	0,38	0,000	0,04	0,000
0,71	0,441	0,37	0,000	0,03	0,000
0,70	0,441	0,36	0,000	0,02	0,000
0,69	0,441	0,35	0,000	0,01	0,000
0,68	0,441	0,34	0,000	0,00	0,000
0,67	0,441	0,33	0,000		

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	2832	15,33%	0,136
0,99	68	0,37%	0,003
0,98	31	0,17%	0,001
0,97	50	0,27%	0,002
0,96	66	0,36%	0,003
0,95	53	0,29%	0,002
0,94	55	0,30%	0,002
0,93	102	0,55%	0,005
0,92	56	0,30%	0,002
0,91	56	0,30%	0,002
0,90	66	0,36%	0,003
0,89	53	0,29%	0,002
0,88	84	0,45%	0,004
0,87	51	0,28%	0,002
0,86	71	0,38%	0,003
0,85	69	0,37%	0,003
0,84	86	0,47%	0,003
0,83	49	0,27%	0,002
0,82	73	0,40%	0,003
0,81	98	0,53%	0,004
0,80	81	0,44%	0,003
0,79	62	0,34%	0,002
0,78	65	0,35%	0,002
0,77	96	0,52%	0,002
0,76	73	0,40%	0,002
0,75	100	0,54%	0,002
0,74	83	0,45%	0,002
0,73	108	0,58%	0,003
0,72	92	0,50%	0,002
0,71	92	0,50%	0,002
0,70	93	0,50%	0,002
0,69	123	0,67%	0,003
0,68	98	0,53%	0,002
0,67	90	0,49%	0,002
0,66	92	0,50%	0,002
0,65	105	0,57%	0,003
0,64	149	0,81%	0,004
0,63	114	0,62%	0,003
0,62	136	0,74%	0,003
0,61	140	0,76%	0,003
0,60	122	0,66%	0,003
0,59	88	0,48%	0,002
0,58	140	0,76%	0,003

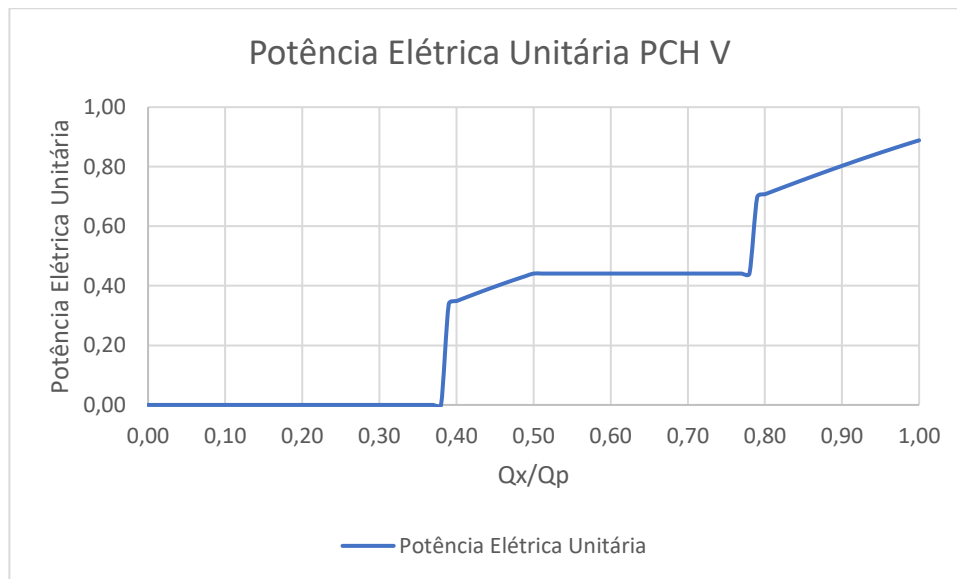
Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	100	16,47%	0,146
0,99	1	0,16%	0,001
0,98	2	0,33%	0,003
0,97	3	0,49%	0,004
0,96	1	0,16%	0,001
0,95	5	0,82%	0,007
0,94	2	0,33%	0,003
0,93	0	0,00%	0,000
0,92	3	0,49%	0,004
0,91	4	0,66%	0,005
0,90	3	0,49%	0,004
0,89	3	0,49%	0,004
0,88	0	0,00%	0,000
0,87	1	0,16%	0,001
0,86	2	0,33%	0,003
0,85	3	0,49%	0,004
0,84	1	0,16%	0,001
0,83	2	0,33%	0,002
0,82	2	0,33%	0,002
0,81	5	0,82%	0,006
0,80	4	0,66%	0,005
0,79	2	0,33%	0,002
0,78	3	0,49%	0,002
0,77	5	0,82%	0,004
0,76	1	0,16%	0,001
0,75	6	0,99%	0,004
0,74	4	0,66%	0,003
0,73	3	0,49%	0,002
0,72	2	0,33%	0,001
0,71	1	0,16%	0,001
0,70	6	0,99%	0,004
0,69	2	0,33%	0,001
0,68	4	0,66%	0,003
0,67	2	0,33%	0,001
0,66	5	0,82%	0,004
0,65	6	0,99%	0,004
0,64	4	0,66%	0,003
0,63	4	0,66%	0,003
0,62	4	0,66%	0,003
0,61	6	0,99%	0,004
0,60	2	0,33%	0,001
0,59	6	0,99%	0,004
0,58	4	0,66%	0,003

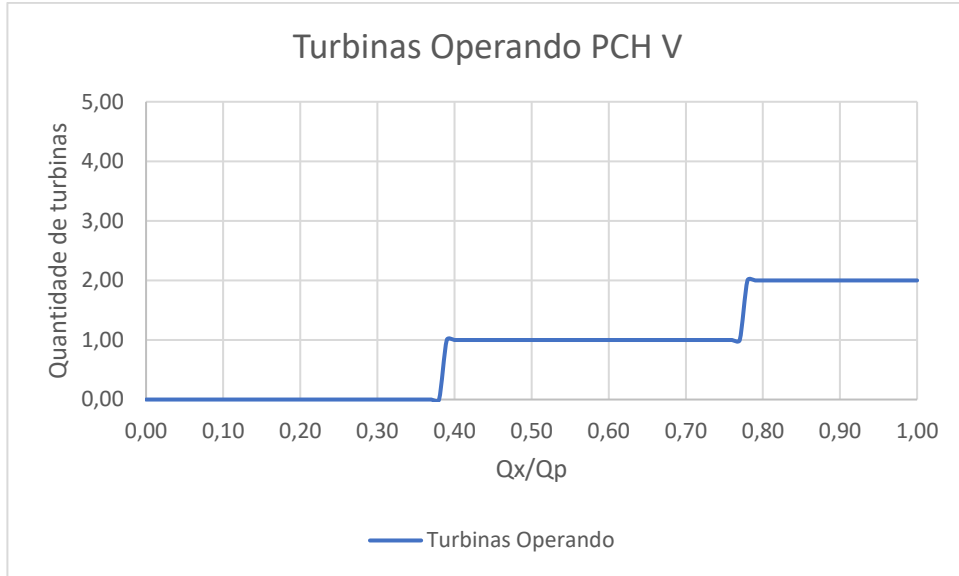
Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	154	0,83%	0,004
0,56	108	0,58%	0,003
0,55	204	1,10%	0,005
0,54	121	0,65%	0,003
0,53	206	1,11%	0,005
0,52	113	0,61%	0,003
0,51	141	0,76%	0,003
0,50	168	0,91%	0,004
0,49	118	0,64%	0,003
0,48	208	1,13%	0,005
0,47	152	0,82%	0,003
0,46	191	1,03%	0,004
0,45	169	0,91%	0,004
0,44	181	0,98%	0,004
0,43	248	1,34%	0,005
0,42	155	0,84%	0,003
0,41	232	1,26%	0,005
0,40	173	0,94%	0,003
0,39	209	1,13%	0,004
0,38	233	1,26%	0,000
0,37	206	1,11%	0,000
0,36	225	1,22%	0,000
0,35	242	1,31%	0,000
0,34	221	1,20%	0,000
0,33	186	1,01%	0,000
0,32	276	1,49%	0,000
0,31	234	1,27%	0,000
0,30	274	1,48%	0,000
0,29	307	1,66%	0,000
0,28	283	1,53%	0,000
0,27	307	1,66%	0,000
0,26	283	1,53%	0,000
0,25	311	1,68%	0,000
0,24	269	1,46%	0,000
0,23	282	1,53%	0,000
0,22	333	1,80%	0,000
0,21	332	1,80%	0,000
0,20	401	2,17%	0,000
0,19	296	1,60%	0,000
0,18	333	1,80%	0,000
0,17	329	1,78%	0,000
0,16	283	1,53%	0,000
0,15	335	1,81%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	7	1,15%	0,005
0,56	6	0,99%	0,004
0,55	6	0,99%	0,004
0,54	7	1,15%	0,005
0,53	8	1,32%	0,006
0,52	6	0,99%	0,004
0,51	9	1,48%	0,007
0,50	0	0,00%	0,000
0,49	3	0,49%	0,002
0,48	2	0,33%	0,001
0,47	4	0,66%	0,003
0,46	5	0,82%	0,003
0,45	7	1,15%	0,005
0,44	15	2,47%	0,010
0,43	5	0,82%	0,003
0,42	9	1,48%	0,005
0,41	4	0,66%	0,002
0,40	8	1,32%	0,005
0,39	5	0,82%	0,003
0,38	10	1,65%	0,000
0,37	2	0,33%	0,000
0,36	7	1,15%	0,000
0,35	5	0,82%	0,000
0,34	9	1,48%	0,000
0,33	5	0,82%	0,000
0,32	6	0,99%	0,000
0,31	5	0,82%	0,000
0,30	13	2,14%	0,000
0,29	9	1,48%	0,000
0,28	6	0,99%	0,000
0,27	12	1,98%	0,000
0,26	8	1,32%	0,000
0,25	12	1,98%	0,000
0,24	8	1,32%	0,000
0,23	13	2,14%	0,000
0,22	17	2,80%	0,000
0,21	9	1,48%	0,000
0,20	9	1,48%	0,000
0,19	9	1,48%	0,000
0,18	10	1,65%	0,000
0,17	8	1,32%	0,000
0,16	12	1,98%	0,000
0,15	13	2,14%	0,000

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	222	1,20%	0,000
0,13	272	1,47%	0,000
0,12	267	1,45%	0,000
0,11	215	1,16%	0,000
0,10	184	1,00%	0,000
0,09	156	0,84%	0,000
0,08	132	0,71%	0,000
0,07	139	0,75%	0,000
0,06	129	0,70%	0,000
0,05	90	0,49%	0,000
0,04	70	0,38%	0,000
0,03	43	0,23%	0,000
0,02	51	0,28%	0,000
0,01	30	0,16%	0,000
0,00	33	0,18%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	9	1,48%	0,000
0,13	5	0,82%	0,000
0,12	2	0,33%	0,000
0,11	5	0,82%	0,000
0,10	6	0,99%	0,000
0,09	3	0,49%	0,000
0,08	3	0,49%	0,000
0,07	2	0,33%	0,000
0,06	4	0,66%	0,000
0,05	1	0,16%	0,000
0,04	1	0,16%	0,000
0,03	2	0,33%	0,000
0,02	1	0,16%	0,000
0,01	1	0,16%	0,000
0,00	0	0,00%	0,000





PCH VI

Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}
1,00	0,855	0,66	0,556	0,32	0,263
0,99	0,848	0,65	0,546	0,31	0,253
0,98	0,841	0,64	0,536	0,30	0,243
0,97	0,834	0,63	0,526	0,29	0,233
0,96	0,826	0,62	0,516	0,28	0,223
0,95	0,819	0,61	0,506	0,27	0,213
0,94	0,811	0,60	0,496	0,26	0,204
0,93	0,803	0,59	0,486	0,25	0,194
0,92	0,795	0,58	0,476	0,24	0,184
0,91	0,787	0,57	0,466	0,23	0,175
0,90	0,779	0,56	0,456	0,22	0,165
0,89	0,771	0,55	0,447	0,21	0,156
0,88	0,762	0,54	0,437	0,20	0,000
0,87	0,754	0,53	0,427	0,19	0,000
0,86	0,745	0,52	0,425	0,18	0,000
0,85	0,736	0,51	0,425	0,17	0,000
0,84	0,727	0,50	0,425	0,16	0,000
0,83	0,718	0,49	0,417	0,15	0,000
0,82	0,709	0,48	0,410	0,14	0,000
0,81	0,700	0,47	0,402	0,13	0,000
0,80	0,691	0,46	0,394	0,12	0,000
0,79	0,682	0,45	0,386	0,11	0,000
0,78	0,672	0,44	0,377	0,10	0,000
0,77	0,663	0,43	0,368	0,09	0,000
0,76	0,654	0,42	0,359	0,08	0,000
0,75	0,644	0,41	0,350	0,07	0,000
0,74	0,635	0,40	0,341	0,06	0,000
0,73	0,625	0,39	0,331	0,05	0,000
0,72	0,615	0,38	0,322	0,04	0,000
0,71	0,605	0,37	0,312	0,03	0,000
0,70	0,596	0,36	0,302	0,02	0,000
0,69	0,586	0,35	0,293	0,01	0,000
0,68	0,576	0,34	0,283	0,00	0,000
0,67	0,566	0,33	0,273		

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	6846	21,05%	0,180
0,99	110	0,34%	0,003
0,98	124	0,38%	0,003
0,97	65	0,20%	0,002
0,96	136	0,42%	0,003
0,95	67	0,21%	0,002
0,94	148	0,46%	0,004
0,93	1	0,00%	0,000
0,92	203	0,62%	0,005
0,91	57	0,18%	0,001
0,90	117	0,36%	0,003
0,89	107	0,33%	0,003
0,88	113	0,35%	0,003
0,87	98	0,30%	0,002
0,86	215	0,66%	0,005
0,85	20	0,06%	0,000
0,84	222	0,68%	0,005
0,83	1	0,00%	0,000
0,82	227	0,70%	0,005
0,81	140	0,43%	0,003
0,80	81	0,25%	0,002
0,79	185	0,57%	0,004
0,78	49	0,15%	0,001
0,77	179	0,55%	0,004
0,76	215	0,66%	0,004
0,75	80	0,25%	0,002
0,74	138	0,42%	0,003
0,73	108	0,33%	0,002
0,72	239	0,73%	0,005
0,71	141	0,43%	0,003
0,70	78	0,24%	0,001
0,69	192	0,59%	0,003
0,68	209	0,64%	0,004
0,67	61	0,19%	0,001
0,66	205	0,63%	0,004
0,65	391	1,20%	0,007
0,64	71	0,22%	0,001
0,63	238	0,73%	0,004
0,62	193	0,59%	0,003
0,61	112	0,34%	0,002
0,60	204	0,63%	0,003
0,59	278	0,85%	0,004
0,58	90	0,28%	0,001

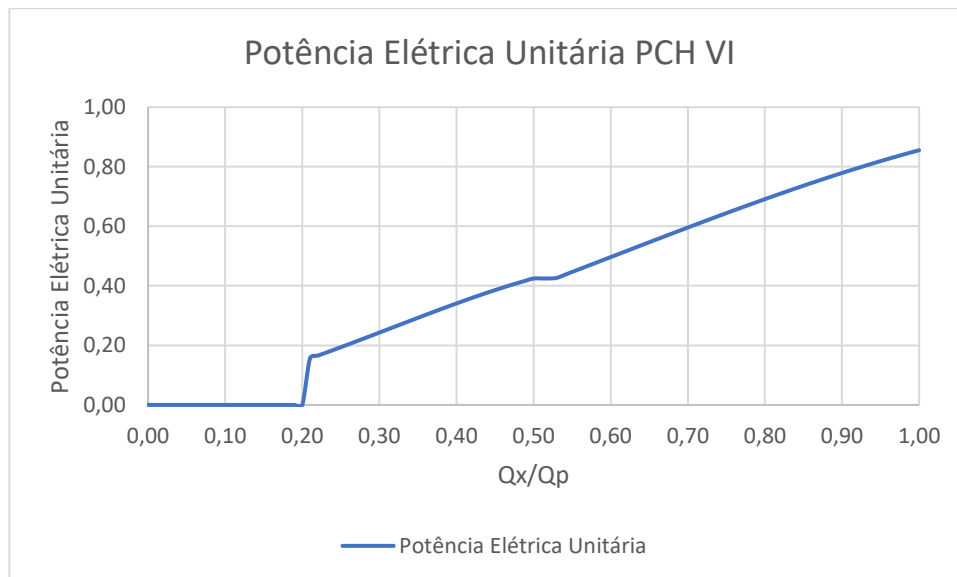
Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	242	22,43%	0,192
0,99	8	0,74%	0,006
0,98	3	0,28%	0,002
0,97	4	0,37%	0,003
0,96	4	0,37%	0,003
0,95	7	0,65%	0,005
0,94	3	0,28%	0,002
0,93	6	0,56%	0,004
0,92	7	0,65%	0,005
0,91	5	0,46%	0,004
0,90	2	0,19%	0,001
0,89	3	0,28%	0,002
0,88	2	0,19%	0,001
0,87	5	0,46%	0,003
0,86	3	0,28%	0,002
0,85	5	0,46%	0,003
0,84	9	0,83%	0,006
0,83	4	0,37%	0,003
0,82	3	0,28%	0,002
0,81	2	0,19%	0,001
0,80	3	0,28%	0,002
0,79	2	0,19%	0,001
0,78	9	0,83%	0,006
0,77	5	0,46%	0,003
0,76	4	0,37%	0,002
0,75	5	0,46%	0,003
0,74	6	0,56%	0,004
0,73	7	0,65%	0,004
0,72	10	0,93%	0,006
0,71	8	0,74%	0,004
0,70	4	0,37%	0,002
0,69	6	0,56%	0,003
0,68	6	0,56%	0,003
0,67	7	0,65%	0,004
0,66	7	0,65%	0,004
0,65	11	1,02%	0,006
0,64	8	0,74%	0,004
0,63	3	0,28%	0,001
0,62	5	0,46%	0,002
0,61	6	0,56%	0,003
0,60	6	0,56%	0,003
0,59	10	0,93%	0,005
0,58	5	0,46%	0,002

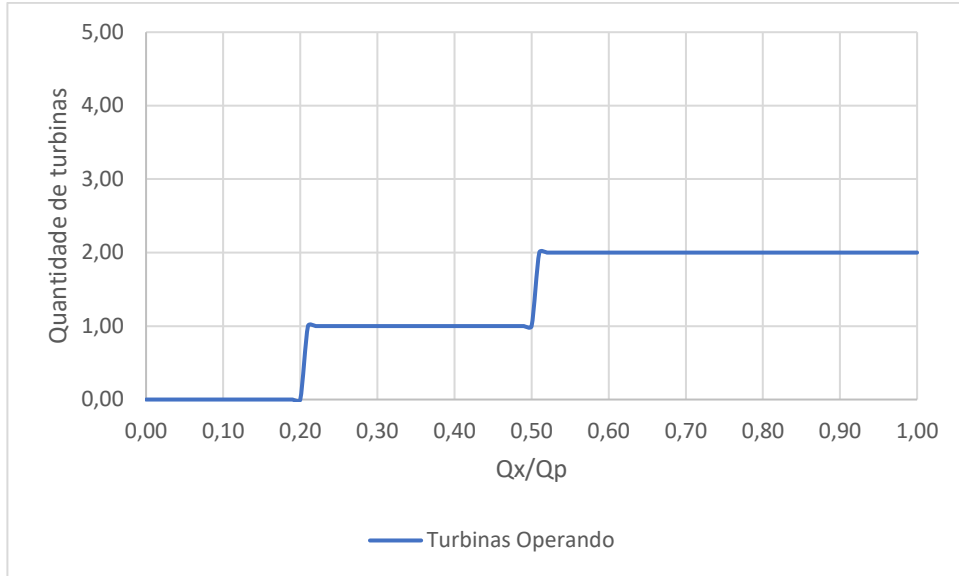
Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	261	0,80%	0,004
0,56	220	0,68%	0,003
0,55	93	0,29%	0,001
0,54	376	1,16%	0,005
0,53	242	0,74%	0,003
0,52	89	0,27%	0,001
0,51	289	0,89%	0,004
0,50	363	1,12%	0,005
0,49	347	1,07%	0,004
0,48	172	0,53%	0,002
0,47	211	0,65%	0,003
0,46	390	1,20%	0,005
0,45	181	0,56%	0,002
0,44	251	0,77%	0,003
0,43	335	1,03%	0,004
0,42	421	1,29%	0,005
0,41	150	0,46%	0,002
0,40	379	1,17%	0,004
0,39	452	1,39%	0,005
0,38	315	0,97%	0,003
0,37	293	0,90%	0,003
0,36	331	1,02%	0,003
0,35	398	1,22%	0,004
0,34	372	1,14%	0,003
0,33	551	1,69%	0,005
0,32	299	0,92%	0,002
0,31	218	0,67%	0,002
0,30	592	1,82%	0,004
0,29	470	1,45%	0,003
0,28	395	1,21%	0,003
0,27	428	1,32%	0,003
0,26	588	1,81%	0,004
0,25	341	1,05%	0,002
0,24	362	1,11%	0,002
0,23	564	1,73%	0,003
0,22	511	1,57%	0,003
0,21	442	1,36%	0,002
0,20	334	1,03%	0,000
0,19	620	1,91%	0,000
0,18	383	1,18%	0,000
0,17	629	1,93%	0,000
0,16	362	1,11%	0,000
0,15	602	1,85%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	4	0,37%	0,002
0,56	8	0,74%	0,003
0,55	4	0,37%	0,002
0,54	4	0,37%	0,002
0,53	7	0,65%	0,003
0,52	11	1,02%	0,004
0,51	8	0,74%	0,003
0,50	9	0,83%	0,004
0,49	12	1,11%	0,005
0,48	10	0,93%	0,004
0,47	6	0,56%	0,002
0,46	6	0,56%	0,002
0,45	11	1,02%	0,004
0,44	8	0,74%	0,003
0,43	11	1,02%	0,004
0,42	13	1,20%	0,004
0,41	15	1,39%	0,005
0,40	8	0,74%	0,003
0,39	12	1,11%	0,004
0,38	15	1,39%	0,004
0,37	15	1,39%	0,004
0,36	13	1,20%	0,004
0,35	11	1,02%	0,003
0,34	11	1,02%	0,003
0,33	10	0,93%	0,003
0,32	10	0,93%	0,002
0,31	19	1,76%	0,004
0,30	13	1,20%	0,003
0,29	10	0,93%	0,002
0,28	16	1,48%	0,003
0,27	19	1,76%	0,004
0,26	7	0,65%	0,001
0,25	18	1,67%	0,003
0,24	11	1,02%	0,002
0,23	20	1,85%	0,003
0,22	22	2,04%	0,003
0,21	13	1,20%	0,002
0,20	15	1,39%	0,000
0,19	11	1,02%	0,000
0,18	8	0,74%	0,000
0,17	21	1,95%	0,000
0,16	17	1,58%	0,000
0,15	12	1,11%	0,000

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	378	1,16%	0,000
0,13	485	1,49%	0,000
0,12	261	0,80%	0,000
0,11	495	1,52%	0,000
0,10	218	0,67%	0,000
0,09	386	1,19%	0,000
0,08	280	0,86%	0,000
0,07	299	0,92%	0,000
0,06	283	0,87%	0,000
0,05	176	0,54%	0,000
0,04	184	0,57%	0,000
0,03	154	0,47%	0,000
0,02	184	0,57%	0,000
0,01	123	0,38%	0,000
0,00	236	0,73%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	11	1,02%	0,000
0,13	8	0,74%	0,000
0,12	12	1,11%	0,000
0,11	9	0,83%	0,000
0,10	8	0,74%	0,000
0,09	6	0,56%	0,000
0,08	9	0,83%	0,000
0,07	7	0,65%	0,000
0,06	7	0,65%	0,000
0,05	5	0,46%	0,000
0,04	1	0,09%	0,000
0,03	3	0,28%	0,000
0,02	7	0,65%	0,000
0,01	3	0,28%	0,000
0,00	9	0,83%	0,000





PCH VII

Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}
1,00	0,884	0,66	0,439	0,32	0,000
0,99	0,876	0,65	0,439	0,31	0,000
0,98	0,868	0,64	0,439	0,30	0,000
0,97	0,860	0,63	0,439	0,29	0,000
0,96	0,852	0,62	0,439	0,28	0,000
0,95	0,844	0,61	0,439	0,27	0,000
0,94	0,835	0,60	0,439	0,26	0,000
0,93	0,827	0,59	0,439	0,25	0,000
0,92	0,818	0,58	0,439	0,24	0,000
0,91	0,809	0,57	0,439	0,23	0,000
0,90	0,800	0,56	0,439	0,22	0,000
0,89	0,791	0,55	0,439	0,21	0,000
0,88	0,782	0,54	0,439	0,20	0,000
0,87	0,773	0,53	0,439	0,19	0,000
0,86	0,764	0,52	0,439	0,18	0,000
0,85	0,754	0,51	0,439	0,17	0,000
0,84	0,745	0,50	0,439	0,16	0,000
0,83	0,735	0,49	0,431	0,15	0,000
0,82	0,726	0,48	0,423	0,14	0,000
0,81	0,716	0,47	0,414	0,13	0,000
0,80	0,706	0,46	0,405	0,12	0,000
0,79	0,697	0,45	0,396	0,11	0,000
0,78	0,687	0,44	0,387	0,10	0,000
0,77	0,439	0,43	0,377	0,09	0,000
0,76	0,439	0,42	0,368	0,08	0,000
0,75	0,439	0,41	0,358	0,07	0,000
0,74	0,439	0,40	0,348	0,06	0,000
0,73	0,439	0,39	0,338	0,05	0,000
0,72	0,439	0,38	0,000	0,04	0,000
0,71	0,439	0,37	0,000	0,03	0,000
0,70	0,439	0,36	0,000	0,02	0,000
0,69	0,439	0,35	0,000	0,01	0,000
0,68	0,439	0,34	0,000	0,00	0,000
0,67	0,439	0,33	0,000		

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	6761	20,76%	0,183
0,99	19	0,06%	0,001
0,98	175	0,54%	0,005
0,97	1	0,00%	0,000
0,96	189	0,58%	0,005
0,95	76	0,23%	0,002
0,94	76	0,23%	0,002
0,93	122	0,37%	0,003
0,92	78	0,24%	0,002
0,91	203	0,62%	0,005
0,90	0	0,00%	0,000
0,89	174	0,53%	0,004
0,88	98	0,30%	0,002
0,87	122	0,37%	0,003
0,86	95	0,29%	0,002
0,85	132	0,41%	0,003
0,84	106	0,33%	0,002
0,83	135	0,41%	0,003
0,82	88	0,27%	0,002
0,81	227	0,70%	0,005
0,80	0	0,00%	0,000
0,79	221	0,68%	0,005
0,78	185	0,57%	0,004
0,77	49	0,15%	0,001
0,76	179	0,55%	0,002
0,75	204	0,63%	0,003
0,74	91	0,28%	0,001
0,73	138	0,42%	0,002
0,72	108	0,33%	0,001
0,71	239	0,73%	0,003
0,70	141	0,43%	0,002
0,69	78	0,24%	0,001
0,68	192	0,59%	0,003
0,67	209	0,64%	0,003
0,66	61	0,19%	0,001
0,65	308	0,95%	0,004
0,64	288	0,88%	0,004
0,63	71	0,22%	0,001
0,62	238	0,73%	0,003
0,61	193	0,59%	0,003
0,60	112	0,34%	0,002
0,59	305	0,94%	0,004
0,58	177	0,54%	0,002

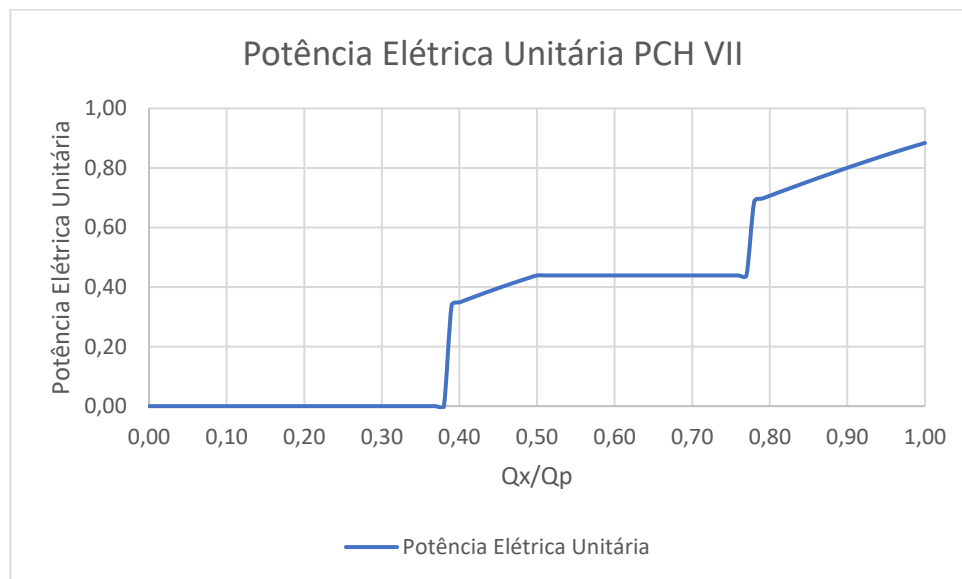
Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	234	21,69%	0,192
0,99	7	0,65%	0,006
0,98	5	0,46%	0,004
0,97	6	0,56%	0,005
0,96	4	0,37%	0,003
0,95	3	0,28%	0,002
0,94	6	0,56%	0,005
0,93	4	0,37%	0,003
0,92	5	0,46%	0,004
0,91	6	0,56%	0,004
0,90	8	0,74%	0,006
0,89	2	0,19%	0,001
0,88	3	0,28%	0,002
0,87	2	0,19%	0,001
0,86	5	0,46%	0,004
0,85	4	0,37%	0,003
0,84	5	0,46%	0,003
0,83	7	0,65%	0,005
0,82	5	0,46%	0,003
0,81	3	0,28%	0,002
0,80	3	0,28%	0,002
0,79	2	0,19%	0,001
0,78	3	0,28%	0,002
0,77	8	0,74%	0,003
0,76	6	0,56%	0,002
0,75	4	0,37%	0,002
0,74	5	0,46%	0,002
0,73	6	0,56%	0,002
0,72	6	0,56%	0,002
0,71	11	1,02%	0,004
0,70	8	0,74%	0,003
0,69	4	0,37%	0,002
0,68	6	0,56%	0,002
0,67	6	0,56%	0,002
0,66	7	0,65%	0,003
0,65	8	0,74%	0,003
0,64	13	1,20%	0,005
0,63	5	0,46%	0,002
0,62	3	0,28%	0,001
0,61	6	0,56%	0,002
0,60	5	0,46%	0,002
0,59	7	0,65%	0,003
0,58	10	0,93%	0,004

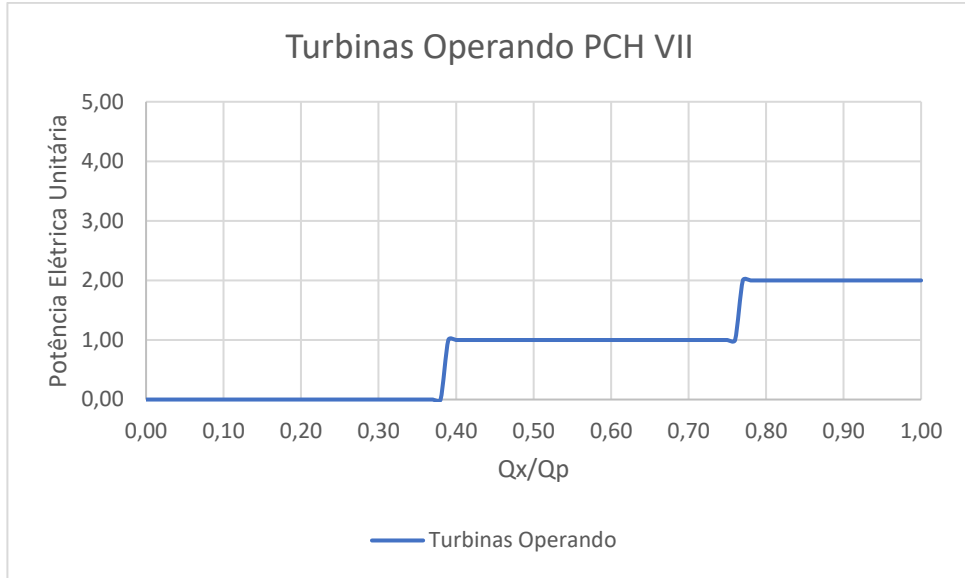
Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	107	0,33%	0,001
0,56	244	0,75%	0,003
0,55	220	0,68%	0,003
0,54	195	0,60%	0,003
0,53	274	0,84%	0,004
0,52	248	0,76%	0,003
0,51	254	0,78%	0,003
0,50	257	0,79%	0,003
0,49	232	0,71%	0,003
0,48	340	1,04%	0,004
0,47	172	0,53%	0,002
0,46	336	1,03%	0,004
0,45	268	0,82%	0,003
0,44	285	0,87%	0,003
0,43	263	0,81%	0,003
0,42	362	1,11%	0,004
0,41	305	0,94%	0,003
0,40	418	1,28%	0,004
0,39	308	0,95%	0,003
0,38	227	0,70%	0,000
0,37	476	1,46%	0,000
0,36	279	0,86%	0,000
0,35	410	1,26%	0,000
0,34	290	0,89%	0,000
0,33	348	1,07%	0,000
0,32	463	1,42%	0,000
0,31	435	1,34%	0,000
0,30	662	2,03%	0,000
0,29	343	1,05%	0,000
0,28	138	0,42%	0,000
0,27	623	1,91%	0,000
0,26	336	1,03%	0,000
0,25	569	1,75%	0,000
0,24	590	1,81%	0,000
0,23	564	1,73%	0,000
0,22	509	1,56%	0,000
0,21	280	0,86%	0,000
0,20	382	1,17%	0,000
0,19	664	2,04%	0,000
0,18	360	1,11%	0,000
0,17	524	1,61%	0,000
0,16	450	1,38%	0,000
0,15	501	1,54%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	5	0,46%	0,002
0,56	3	0,28%	0,001
0,55	9	0,83%	0,004
0,54	4	0,37%	0,002
0,53	3	0,28%	0,001
0,52	12	1,11%	0,005
0,51	9	0,83%	0,004
0,50	8	0,74%	0,003
0,49	13	1,20%	0,005
0,48	7	0,65%	0,003
0,47	10	0,93%	0,004
0,46	7	0,65%	0,003
0,45	7	0,65%	0,003
0,44	10	0,93%	0,004
0,43	9	0,83%	0,003
0,42	14	1,30%	0,005
0,41	12	1,11%	0,004
0,40	11	1,02%	0,004
0,39	13	1,20%	0,004
0,38	8	0,74%	0,000
0,37	20	1,85%	0,000
0,36	13	1,20%	0,000
0,35	14	1,30%	0,000
0,34	13	1,20%	0,000
0,33	8	0,74%	0,000
0,32	6	0,56%	0,000
0,31	16	1,48%	0,000
0,30	20	1,85%	0,000
0,29	11	1,02%	0,000
0,28	14	1,30%	0,000
0,27	17	1,58%	0,000
0,26	10	0,93%	0,000
0,25	16	1,48%	0,000
0,24	14	1,30%	0,000
0,23	17	1,58%	0,000
0,22	22	2,04%	0,000
0,21	16	1,48%	0,000
0,20	13	1,20%	0,000
0,19	13	1,20%	0,000
0,18	9	0,83%	0,000
0,17	21	1,95%	0,000
0,16	15	1,39%	0,000
0,15	14	1,30%	0,000

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	440	1,35%	0,000
0,13	440	1,35%	0,000
0,12	389	1,19%	0,000
0,11	578	1,77%	0,000
0,10	195	0,60%	0,000
0,09	429	1,32%	0,000
0,08	280	0,86%	0,000
0,07	271	0,83%	0,000
0,06	314	0,96%	0,000
0,05	165	0,51%	0,000
0,04	139	0,43%	0,000
0,03	210	0,64%	0,000
0,02	188	0,58%	0,000
0,01	124	0,38%	0,000
0,00	238	0,73%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	12	1,11%	0,000
0,13	7	0,65%	0,000
0,12	11	1,02%	0,000
0,11	10	0,93%	0,000
0,10	9	0,83%	0,000
0,09	6	0,56%	0,000
0,08	9	0,83%	0,000
0,07	7	0,65%	0,000
0,06	5	0,46%	0,000
0,05	8	0,74%	0,000
0,04	1	0,09%	0,000
0,03	3	0,28%	0,000
0,02	7	0,65%	0,000
0,01	2	0,19%	0,000
0,00	10	0,93%	0,000





PCH VIII

Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}
1,00	0,859	0,66	0,426	0,32	0,000
0,99	0,851	0,65	0,426	0,31	0,000
0,98	0,843	0,64	0,426	0,30	0,000
0,97	0,836	0,63	0,426	0,29	0,000
0,96	0,828	0,62	0,426	0,28	0,000
0,95	0,820	0,61	0,426	0,27	0,000
0,94	0,811	0,60	0,426	0,26	0,000
0,93	0,803	0,59	0,426	0,25	0,000
0,92	0,795	0,58	0,426	0,24	0,000
0,91	0,786	0,57	0,426	0,23	0,000
0,90	0,778	0,56	0,426	0,22	0,000
0,89	0,769	0,55	0,426	0,21	0,000
0,88	0,760	0,54	0,426	0,20	0,000
0,87	0,751	0,53	0,426	0,19	0,000
0,86	0,742	0,52	0,426	0,18	0,000
0,85	0,733	0,51	0,426	0,17	0,000
0,84	0,724	0,50	0,426	0,16	0,000
0,83	0,715	0,49	0,419	0,15	0,000
0,82	0,706	0,48	0,410	0,14	0,000
0,81	0,696	0,47	0,402	0,13	0,000
0,80	0,687	0,46	0,394	0,12	0,000
0,79	0,677	0,45	0,385	0,11	0,000
0,78	0,668	0,44	0,376	0,10	0,000
0,77	0,658	0,43	0,367	0,09	0,000
0,76	0,648	0,42	0,358	0,08	0,000
0,75	0,639	0,41	0,348	0,07	0,000
0,74	0,629	0,40	0,339	0,06	0,000
0,73	0,619	0,39	0,329	0,05	0,000
0,72	0,609	0,38	0,319	0,04	0,000
0,71	0,599	0,37	0,309	0,03	0,000
0,70	0,590	0,36	0,299	0,02	0,000
0,69	0,580	0,35	0,289	0,01	0,000
0,68	0,426	0,34	0,279	0,00	0,000
0,67	0,426	0,33	0,000		

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	2418	14,88%	0,128
0,99	12	0,07%	0,001
0,98	151	0,93%	0,008
0,97	228	1,40%	0,012
0,96	36	0,22%	0,002
0,95	219	1,35%	0,011
0,94	15	0,09%	0,001
0,93	232	1,43%	0,011
0,92	168	1,03%	0,008
0,91	27	0,17%	0,001
0,90	256	1,58%	0,012
0,89	235	1,45%	0,011
0,88	47	0,29%	0,002
0,87	311	1,91%	0,014
0,86	186	1,14%	0,008
0,85	47	0,29%	0,002
0,84	378	2,33%	0,017
0,83	189	1,16%	0,008
0,82	87	0,54%	0,004
0,81	375	2,31%	0,016
0,80	320	1,97%	0,014
0,79	130	0,80%	0,005
0,78	353	2,17%	0,015
0,77	261	1,61%	0,011
0,76	403	2,48%	0,016
0,75	111	0,68%	0,004
0,74	324	1,99%	0,013
0,73	358	2,20%	0,014
0,72	92	0,57%	0,003
0,71	279	1,72%	0,010
0,70	278	1,71%	0,010
0,69	289	1,78%	0,010
0,68	99	0,61%	0,003
0,67	387	2,38%	0,010
0,66	469	2,89%	0,012
0,65	369	2,27%	0,010
0,64	130	0,80%	0,003
0,63	223	1,37%	0,006
0,62	355	2,18%	0,009
0,61	374	2,30%	0,010
0,60	62	0,38%	0,002
0,59	296	1,82%	0,008
0,58	279	1,72%	0,007

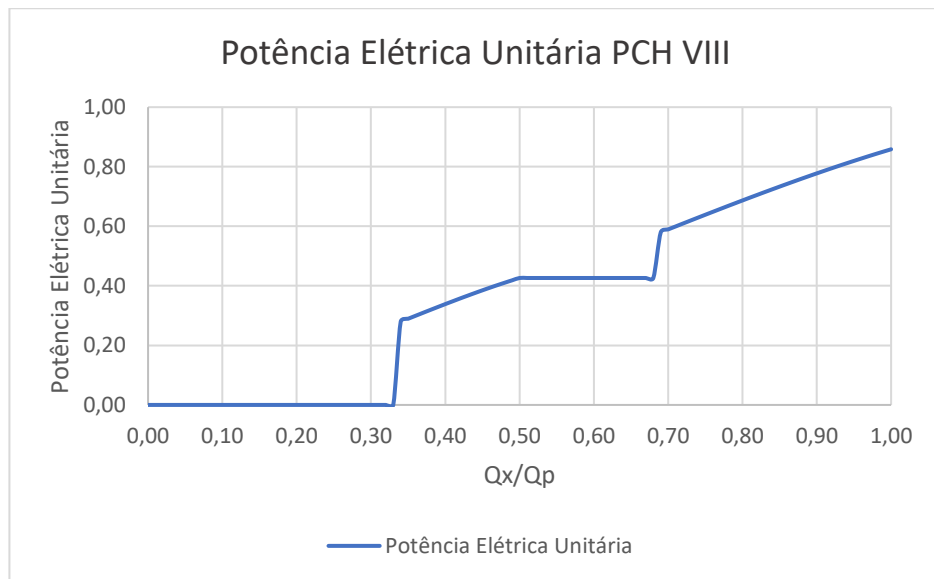
Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	78	14,61%	0,125
0,99	5	0,94%	0,008
0,98	5	0,94%	0,008
0,97	3	0,56%	0,005
0,96	1	0,19%	0,002
0,95	4	0,75%	0,006
0,94	5	0,94%	0,008
0,93	6	1,12%	0,009
0,92	7	1,31%	0,010
0,91	10	1,87%	0,015
0,90	5	0,94%	0,007
0,89	2	0,37%	0,003
0,88	5	0,94%	0,007
0,87	7	1,31%	0,010
0,86	5	0,94%	0,007
0,85	9	1,69%	0,012
0,84	9	1,69%	0,012
0,83	10	1,87%	0,013
0,82	8	1,50%	0,011
0,81	11	2,06%	0,014
0,80	11	2,06%	0,014
0,79	11	2,06%	0,014
0,78	7	1,31%	0,009
0,77	10	1,87%	0,012
0,76	6	1,12%	0,007
0,75	9	1,69%	0,011
0,74	4	0,75%	0,005
0,73	11	2,06%	0,013
0,72	6	1,12%	0,007
0,71	10	1,87%	0,011
0,70	9	1,69%	0,010
0,69	6	1,12%	0,007
0,68	12	2,25%	0,010
0,67	8	1,50%	0,006
0,66	13	2,43%	0,010
0,65	10	1,87%	0,008
0,64	11	2,06%	0,009
0,63	6	1,12%	0,005
0,62	7	1,31%	0,006
0,61	8	1,50%	0,006
0,60	11	2,06%	0,009
0,59	9	1,69%	0,007
0,58	6	1,12%	0,005

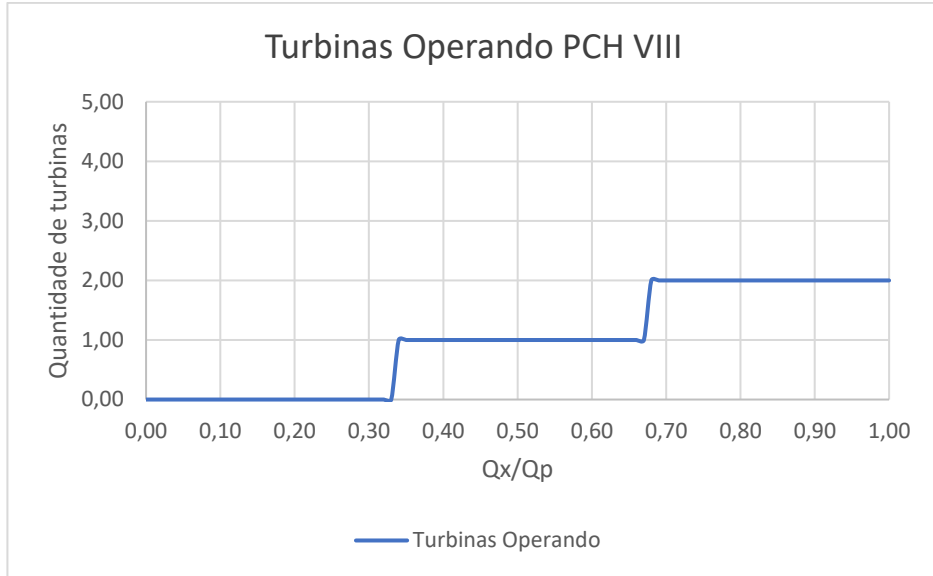
Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	251	1,54%	0,007
0,56	79	0,49%	0,002
0,55	282	1,74%	0,007
0,54	173	1,06%	0,005
0,53	224	1,38%	0,006
0,52	334	2,06%	0,009
0,51	118	0,73%	0,003
0,50	336	2,07%	0,009
0,49	296	1,82%	0,008
0,48	262	1,61%	0,007
0,47	187	1,15%	0,005
0,46	200	1,23%	0,005
0,45	150	0,92%	0,004
0,44	93	0,57%	0,002
0,43	131	0,81%	0,003
0,42	117	0,72%	0,003
0,41	96	0,59%	0,002
0,40	88	0,54%	0,002
0,39	44	0,27%	0,001
0,38	95	0,58%	0,002
0,37	61	0,38%	0,001
0,36	33	0,20%	0,001
0,35	72	0,44%	0,001
0,34	82	0,50%	0,001
0,33	93	0,57%	0,000
0,32	88	0,54%	0,000
0,31	80	0,49%	0,000
0,30	83	0,51%	0,000
0,29	65	0,40%	0,000
0,28	73	0,45%	0,000
0,27	56	0,34%	0,000
0,26	24	0,15%	0,000
0,25	8	0,05%	0,000
0,24	2	0,01%	0,000
0,23	3	0,02%	0,000
0,22	3	0,02%	0,000
0,21	8	0,05%	0,000
0,20	2	0,01%	0,000
0,19	1	0,01%	0,000
0,18	0	0,00%	0,000
0,17	0	0,00%	0,000
0,16	0	0,00%	0,000
0,15	1	0,01%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	6	1,12%	0,005
0,56	3	0,56%	0,002
0,55	5	0,94%	0,004
0,54	11	2,06%	0,009
0,53	6	1,12%	0,005
0,52	7	1,31%	0,006
0,51	13	2,43%	0,010
0,50	10	1,87%	0,008
0,49	8	1,50%	0,006
0,48	1	0,19%	0,001
0,47	12	2,25%	0,009
0,46	8	1,50%	0,006
0,45	3	0,56%	0,002
0,44	7	1,31%	0,005
0,43	2	0,37%	0,001
0,42	1	0,19%	0,001
0,41	2	0,37%	0,001
0,40	2	0,37%	0,001
0,39	2	0,37%	0,001
0,38	3	0,56%	0,002
0,37	4	0,75%	0,002
0,36	0	0,00%	0,000
0,35	3	0,56%	0,002
0,34	1	0,19%	0,001
0,33	5	0,94%	0,000
0,32	2	0,37%	0,000
0,31	3	0,56%	0,000
0,30	2	0,37%	0,000
0,29	2	0,37%	0,000
0,28	2	0,37%	0,000
0,27	1	0,19%	0,000
0,26	0	0,00%	0,000
0,25	0	0,00%	0,000
0,24	1	0,19%	0,000
0,23	0	0,00%	0,000
0,22	0	0,00%	0,000
0,21	0	0,00%	0,000
0,20	0	0,00%	0,000
0,19	0	0,00%	0,000
0,18	0	0,00%	0,000
0,17	0	0,00%	0,000
0,16	0	0,00%	0,000
0,15	0	0,00%	0,000

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	0	0,00%	0,000
0,13	0	0,00%	0,000
0,12	0	0,00%	0,000
0,11	0	0,00%	0,000
0,10	0	0,00%	0,000
0,09	0	0,00%	0,000
0,08	0	0,00%	0,000
0,07	0	0,00%	0,000
0,06	0	0,00%	0,000
0,05	0	0,00%	0,000
0,04	0	0,00%	0,000
0,03	0	0,00%	0,000
0,02	0	0,00%	0,000
0,01	0	0,00%	0,000
0,00	0	0,00%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	0	0,00%	0,000
0,13	0	0,00%	0,000
0,12	0	0,00%	0,000
0,11	0	0,00%	0,000
0,10	0	0,00%	0,000
0,09	0	0,00%	0,000
0,08	0	0,00%	0,000
0,07	0	0,00%	0,000
0,06	0	0,00%	0,000
0,05	0	0,00%	0,000
0,04	0	0,00%	0,000
0,03	0	0,00%	0,000
0,02	0	0,00%	0,000
0,01	0	0,00%	0,000
0,00	0	0,00%	0,000





PCH IX

Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}	Q_x/Q_P	P_{ele_unit}
1,00	0,855	0,66	0,564	0,32	0,269
0,99	0,848	0,65	0,557	0,31	0,260
0,98	0,840	0,64	0,548	0,30	0,251
0,97	0,832	0,63	0,540	0,29	0,242
0,96	0,824	0,62	0,531	0,28	0,233
0,95	0,816	0,61	0,523	0,27	0,223
0,94	0,807	0,60	0,514	0,26	0,214
0,93	0,799	0,59	0,505	0,25	0,204
0,92	0,790	0,58	0,496	0,24	0,194
0,91	0,782	0,57	0,486	0,23	0,185
0,90	0,773	0,56	0,477	0,22	0,175
0,89	0,764	0,55	0,467	0,21	0,165
0,88	0,755	0,54	0,458	0,20	0,155
0,87	0,746	0,53	0,448	0,19	0,145
0,86	0,737	0,52	0,439	0,18	0,000
0,85	0,728	0,51	0,428	0,17	0,000
0,84	0,719	0,50	0,419	0,16	0,000
0,83	0,710	0,49	0,409	0,15	0,000
0,82	0,700	0,48	0,399	0,14	0,000
0,81	0,691	0,47	0,389	0,13	0,000
0,80	0,681	0,46	0,379	0,12	0,000
0,79	0,672	0,45	0,368	0,11	0,000
0,78	0,662	0,44	0,359	0,10	0,000
0,77	0,652	0,43	0,348	0,09	0,000
0,76	0,643	0,42	0,339	0,08	0,000
0,75	0,633	0,41	0,328	0,07	0,000
0,74	0,623	0,40	0,319	0,06	0,000
0,73	0,613	0,39	0,308	0,05	0,000
0,72	0,604	0,38	0,299	0,04	0,000
0,71	0,594	0,37	0,285	0,03	0,000
0,70	0,584	0,36	0,285	0,02	0,000
0,69	0,574	0,35	0,285	0,01	0,000
0,68	0,572	0,34	0,285	0,00	0,000
0,67	0,572	0,33	0,277		

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	2427	14,90%	0,127
0,99	43	0,26%	0,002
0,98	30	0,18%	0,002
0,97	28	0,17%	0,001
0,96	51	0,31%	0,003
0,95	39	0,24%	0,002
0,94	47	0,29%	0,002
0,93	28	0,17%	0,001
0,92	33	0,20%	0,002
0,91	20	0,12%	0,001
0,90	40	0,25%	0,002
0,89	30	0,18%	0,001
0,88	87	0,53%	0,004
0,87	43	0,26%	0,002
0,86	50	0,31%	0,002
0,85	49	0,30%	0,002
0,84	59	0,36%	0,003
0,83	51	0,31%	0,002
0,82	61	0,37%	0,003
0,81	52	0,32%	0,002
0,80	48	0,29%	0,002
0,79	72	0,44%	0,003
0,78	57	0,35%	0,002
0,77	55	0,34%	0,002
0,76	111	0,68%	0,004
0,75	46	0,28%	0,002
0,74	63	0,39%	0,002
0,73	36	0,22%	0,001
0,72	119	0,73%	0,004
0,71	76	0,47%	0,003
0,70	58	0,36%	0,002
0,69	98	0,60%	0,003
0,68	67	0,41%	0,002
0,67	81	0,50%	0,003
0,66	104	0,64%	0,004
0,65	88	0,54%	0,003
0,64	82	0,50%	0,003
0,63	125	0,77%	0,004
0,62	92	0,56%	0,003
0,61	87	0,53%	0,003
0,60	102	0,63%	0,003
0,59	88	0,54%	0,003
0,58	110	0,68%	0,003

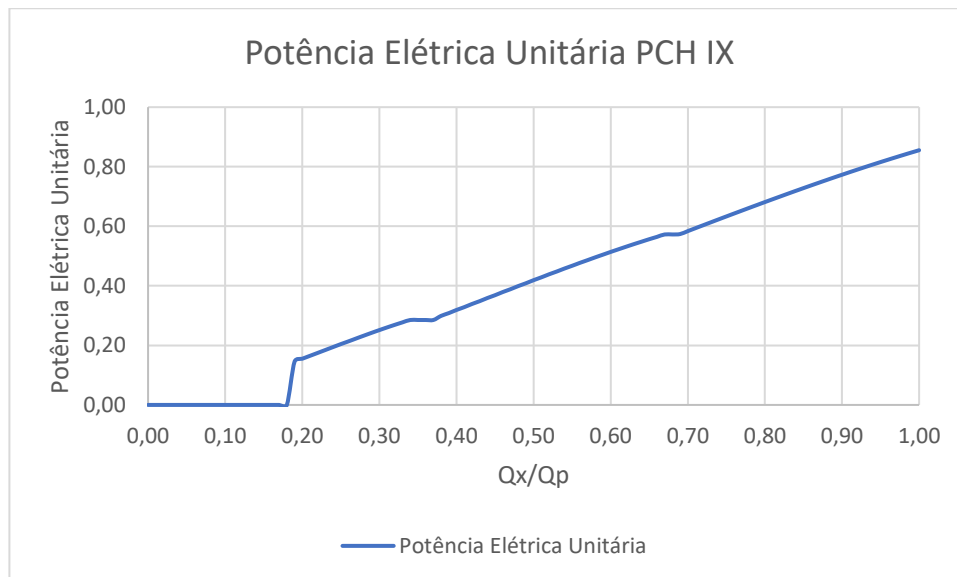
Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
1,00	93	17,38%	0,149
0,99	3	0,56%	0,005
0,98	2	0,37%	0,003
0,97	1	0,19%	0,002
0,96	2	0,37%	0,003
0,95	2	0,37%	0,003
0,94	1	0,19%	0,002
0,93	2	0,37%	0,003
0,92	1	0,19%	0,001
0,91	3	0,56%	0,004
0,90	4	0,75%	0,006
0,89	1	0,19%	0,001
0,88	0	0,00%	0,000
0,87	4	0,75%	0,006
0,86	1	0,19%	0,001
0,85	1	0,19%	0,001
0,84	2	0,37%	0,003
0,83	2	0,37%	0,003
0,82	0	0,00%	0,000
0,81	3	0,56%	0,004
0,80	2	0,37%	0,003
0,79	1	0,19%	0,001
0,78	1	0,19%	0,001
0,77	4	0,75%	0,005
0,76	3	0,56%	0,004
0,75	0	0,00%	0,000
0,74	1	0,19%	0,001
0,73	2	0,37%	0,002
0,72	2	0,37%	0,002
0,71	2	0,37%	0,002
0,70	3	0,56%	0,003
0,69	1	0,19%	0,001
0,68	2	0,37%	0,002
0,67	6	1,12%	0,006
0,66	2	0,37%	0,002
0,65	4	0,75%	0,004
0,64	1	0,19%	0,001
0,63	4	0,75%	0,004
0,62	4	0,75%	0,004
0,61	2	0,37%	0,002
0,60	4	0,75%	0,004
0,59	9	1,68%	0,008
0,58	4	0,75%	0,004

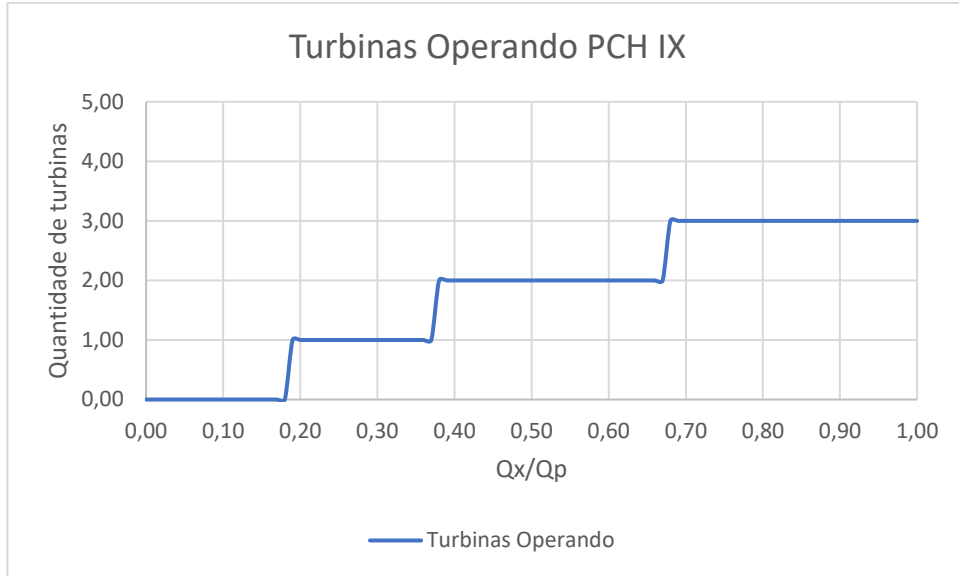
Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	143	0,88%	0,004
0,56	192	1,18%	0,006
0,55	117	0,72%	0,003
0,54	159	0,98%	0,004
0,53	203	1,25%	0,006
0,52	137	0,84%	0,004
0,51	227	1,39%	0,006
0,50	206	1,26%	0,005
0,49	203	1,25%	0,005
0,48	188	1,15%	0,005
0,47	188	1,15%	0,004
0,46	325	2,00%	0,008
0,45	287	1,76%	0,006
0,44	311	1,91%	0,007
0,43	437	2,68%	0,009
0,42	231	1,42%	0,005
0,41	503	3,09%	0,010
0,40	413	2,54%	0,008
0,39	442	2,71%	0,008
0,38	694	4,26%	0,013
0,37	655	4,02%	0,011
0,36	651	4,00%	0,011
0,35	519	3,19%	0,009
0,34	564	3,46%	0,010
0,33	501	3,08%	0,009
0,32	540	3,32%	0,009
0,31	504	3,09%	0,008
0,30	403	2,47%	0,006
0,29	288	1,77%	0,004
0,28	183	1,12%	0,003
0,27	160	0,98%	0,002
0,26	110	0,68%	0,001
0,25	140	0,86%	0,002
0,24	109	0,67%	0,001
0,23	80	0,49%	0,001
0,22	35	0,21%	0,000
0,21	31	0,19%	0,000
0,20	22	0,14%	0,000
0,19	13	0,08%	0,000
0,18	15	0,09%	0,000
0,17	12	0,07%	0,000
0,16	4	0,02%	0,000
0,15	1	0,01%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,57	7	1,31%	0,006
0,56	6	1,12%	0,005
0,55	8	1,50%	0,007
0,54	5	0,93%	0,004
0,53	5	0,93%	0,004
0,52	6	1,12%	0,005
0,51	2	0,37%	0,002
0,50	6	1,12%	0,005
0,49	6	1,12%	0,005
0,48	4	0,75%	0,003
0,47	6	1,12%	0,004
0,46	10	1,87%	0,007
0,45	14	2,62%	0,010
0,44	7	1,31%	0,005
0,43	16	2,99%	0,010
0,42	9	1,68%	0,006
0,41	22	4,11%	0,014
0,40	10	1,87%	0,006
0,39	16	2,99%	0,009
0,38	18	3,36%	0,010
0,37	18	3,36%	0,010
0,36	17	3,18%	0,009
0,35	18	3,36%	0,010
0,34	21	3,93%	0,011
0,33	14	2,62%	0,007
0,32	15	2,80%	0,008
0,31	16	2,99%	0,008
0,30	10	1,87%	0,005
0,29	7	1,31%	0,003
0,28	8	1,50%	0,003
0,27	5	0,93%	0,002
0,26	6	1,12%	0,002
0,25	2	0,37%	0,001
0,24	1	0,19%	0,000
0,23	2	0,37%	0,001
0,22	0	0,00%	0,000
0,21	0	0,00%	0,000
0,20	0	0,00%	0,000
0,19	0	0,00%	0,000
0,18	0	0,00%	0,000
0,17	0	0,00%	0,000
0,16	0	0,00%	0,000
0,15	0	0,00%	0,000

Vazões Médias Diárias - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	4	0,02%	0,000
0,13	0	0,00%	0,000
0,12	0	0,00%	0,000
0,11	1	0,01%	0,000
0,10	1	0,01%	0,000
0,09	0	0,00%	0,000
0,08	0	0,00%	0,000
0,07	0	0,00%	0,000
0,06	0	0,00%	0,000
0,05	0	0,00%	0,000
0,04	0	0,00%	0,000
0,03	0	0,00%	0,000
0,02	0	0,00%	0,000
0,01	0	0,00%	0,000
0,00	0	0,00%	0,000

Vazões Médias Mensais - Série Histórica			
Q_x/Q_P	Quantidade	Frequência	$E_{ele\ unit}$
0,14	0	0,00%	0,000
0,13	0	0,00%	0,000
0,12	0	0,00%	0,000
0,11	0	0,00%	0,000
0,10	0	0,00%	0,000
0,09	0	0,00%	0,000
0,08	0	0,00%	0,000
0,07	0	0,00%	0,000
0,06	0	0,00%	0,000
0,05	0	0,00%	0,000
0,04	0	0,00%	0,000
0,03	0	0,00%	0,000
0,02	0	0,00%	0,000
0,01	0	0,00%	0,000
0,00	0	0,00%	0,000





REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, T. M. **Proposta de Metodologia para Definição de Quantidade de Grupos Geradores de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2008.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Nota Técnica 068/2013-SRG-SGH/ANEEL de 6 de setembro de 2013**. ANEEL, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa N° 394 de 04 de Dezembro de 1998**. ANEEL, 1998.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa N° 673 de 04 de Agosto de 2015**. ANEEL, 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa N° 682 de 09 de Dezembro de 2003**. ANEEL, 2003.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa N° 872 de 10 de Março de 2020**. ANEEL, 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Sistema de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL**. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaNjc4OGYyYjQtYWWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSI9ImMiOjR9>>. Acesso em: 19 nov. 2022.
- AL-HABAIBEH, A. et. al. Solar energy in Jordan: investigating challenges and opportunities of using domestic solar energy systems. **World Development Sustainability**, [s.l.], v. 18, [s.n.], 100077, 2023.
- ALBUQUERQUE, R. B. F. **Centrais Hidrelétricas**. Material de apoio à disciplina EME 907: Centrais Hidrelétricas do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Itajubá. 2019.
- ALENCAR, C. A.; STEDILE, R.; URBANETZ JUNIOR, J. Estudo da complementariedade da geração de energia entre as fontes solar e hidráulica. **Revista Brasileira de Energia Solar**, [s.l.], v. 9, n. 1, p. 58-67, 2018.
- ALFAICA, A. O. **Comparação do emprego de turbinas hidráulicas no Brasil e em Moçambique**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energias) 0 Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Acarape, 2020.
- ALVES, A. R. D. C. et. al. A radiação solar é efetiva o ano inteiro para geração de energia solar fotovoltaica em Santarém-PA, Amazônia, Brasil?. **Conjecturas**, [s.l.], v. 21, n. 5, 2021.
- AMARAL, C. Z. **Identificação e mapeamento de regiões potenciais à instalação de turbinas hidrocinéticas na bacia hidrográfica do rio São Francisco Verdadeiro – oeste do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2021.
- AMORIN, G. N. S. **Agência Nacional de Energia Elétrica e a Crise Energética de 2014**. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade de Marília, Marília, 2016.
- AMPAH, J. D. et. al. A 3E, hydrogen production, irrigation, and employment potential assessment of a hybrid energy system for tropical weather conditions – combination of

HOMER software, shannon entropy, and TOPSIS. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s.l.], v. 47, [s.n.], 31073-31097, 2022.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Manual de Estudos de Disponibilidade Hídrica para Aproveitamento Hidrelétricos**: Manual do Usuário. Brasília: ANA, 2010.

ANDRADE, J. S. de O. **Pequenas Centrais Hidrelétricas**: Análise das causas que impedem a rápida implantação de um programa de PCH no Brasil. 2006. Dissertação (Mestrado em Regulação da Indústria de Energia) – Universidade Salvador, Salvador.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6445: Turbinas Hidráulicas, Turbinas-Bombas e Bombas de Acumulação**. Rio de Janeiro, 2016.

AZEVEDO, T. M. **Validação Numérica-Experimental do Comportamento Hidrodinâmico de uma Turbina Hélice em Escala Reduzida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2020.

BEZERRA, F. D. **Energia solar**. Caderno Setorial ETENE, ano 6, n. 174, 2021. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2021.

BAJPAI, P.; DASH, V. Hybrid renewable energy systems for power Generation in stand-alone applications: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 16, [s.n.], p. 2926-2939, 2012.

BARDELIN, C. E. A. **Os efeitos do Racionamento de Energia Elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no Consumo de Energia Elétrica**. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BOLL, L. L. **Influência do tipo de turbina e tomada d'água na capacidade de geração das usinas hidrelétricas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2022.

BONILLA-CAMPOS, I.; SORBET, F. J.; ASTRAIN, D. Radical change in the Spanish grid: renewable energy Generation profile and electric energy excess. **Sustainable Energy, Grids and Networks**, [s.l.], v. 32, [s.n.], 100941, 2022.

BONZI, R. S. **A dimensão infraestrutural da paisagem: uma estratégia para a “crise hídrica” da Grande São Paulo**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

BORGES, L.; OLIVEIRA, D.; LEITE NETO, P. B. Estudo Comparativo da Implantação e Operação de Usinas Maremotrizes. **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricas**, Santa Maria, v. 2, n. 1, 2022.

BORGES NETO, M. R.; CARVALHO, P. **Geração de Energia Elétrica**: Fundamentos. Saraiva Educação S. A., 2012.

BRAN, R.; DE SOUZA, Z. **Máquinas de Fluxo**: turbinas, bombas, ventiladores. Rio de Janeiro: AO LIVRO TÉCNICO, 1980.

BRASIL. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, , 11 jul. 2004.

BOTAN, A. C. B. **Desenvolvimento de uma Turbina de Fluxo Reversível para uso em Usina Maremotriz com Operação em Duplo Efeito**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.

CALMON, M. S.; FERREIRA, V. O. A crise hídrica verificada entre 2013 e 2015 em São Paulo e suas consequências: os prejudicados e os beneficiados pela gestão das águas. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22 ed., 2017, **Anais[...]**. Florianópolis: 2017.

CAMARGO NETO, L. **A crise hídrica da região metropolitana de São Paulo e o jornal Folha de S. Paulo**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2018.

CAMPOS, A. F. et. al. Um Panorama sobre a Energia Geotérmica no Brasil e no Mundo: Aspectos Ambientais e Econômicos. **Revista Espacios**, [s.l.], v. 38, n. 1, p. 8-24, 2017.

CANALES, F. A.; BELUCO, A.; MENDES, C. A. B. Usinas Hidrelétricas Reversíveis no Brasil e no Mundo: Aplicação e Perspectivas. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1230-1249, 2015.

CEPEL-CRESESB. **Manual da Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2014.

CLAUBERG, A. P. C.; HENKES, J. A.; BECEGATTO, V. A. Fontes Hídricas: Setor Energético Brasileiro e o Incremento das Pequenas Centrais Hidrelétricas. **Revista Brasileira de Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Florianópolis, v. 1, n. 4, p. 134-174, 2021.

CHISALE, S. W.; ELIYA, S.; TAULO, J. Optimization and design of hybrid power system using HOMER pro and integrated CRITIC-PROMETHEE II approaches. **Green Technologies and Sustainability**, [s.l.], v. 1; [s.n.], 100005, 2023.

COLLAÇO, F. M. A. **Sinergias entre o planejamento energético e o planejamento urbano: estudo de caso do sistema de energia urbano da megacidade de São Paulo**. Tese (doutorado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

COLLISCHONN, Walter et. al. Da vazão ecológica ao hidrograma ecológico. In: Congresso da Água, 8 ed., 2006, Figueira da Foz. **Anais[...]**. Figueira da Foz, 2006.

CONFESSOR, S. L. M.; SILVA, B. R. A.; DE SOUZA, L. G. V. M. Avaliação do Potencial de Produção dos Recursos Geotermiais: um Estudo de Caso no Município de Mossoró. Congresso Brasileiro de Energia Solar, 8 ed., 2020. **Anais[...]**. Fortaleza: 2020.

CONTE, L. M. **Dimensionamento da Geometria das Pás do Rotor de uma Turbina Francis**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, Pato Branco, 2020.

CORTEZ, M. C.; ANDRADE, N.; SILVA, F. The environmental and financial performance of green energy investments: European evidence. **Ecological Economic**, [s.l.], v.197, [s.n.], 107327, Jul. 2022.

CUNHA, L. Memória da eletricidade. **O setor elétrico**, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DNAEE. **Portaria Nº 136 de 06 de Outubro de 1987**. DNAEE, 1987.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#:~:text=Enquanto%20a%20matriz%20energ%C3%A9tica%20representa,a%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20el%C3%A9trica.>>. Acesso em: 11 jul. 2022a.

ELETROBRAS. **Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. ELETROBRAS, 2000.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2022**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>>. Acesso em: 25 nov. 2022b.

ESCOBAR, R. M. **Estudo de Usina Geotérmica a Vapor, Eficiência e Custos no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2014.

ENERGY SECTOR MANAGEMENT ASSISTANCE PROGRAM – ESMAP. **Implementing power rationing in a sensible way: lessons learned and international best practices**. Washington: UNDP and World Bank: 2005.

FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, Nova Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-16, Jan./Jun. 2011.

FERNANDES, P. I. C. **Estudo da Biomassa Florestal Residual Consumida em Centrais Termoelétricas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) – Faculdade de Ciências – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

FERREIRA, R. M. Exploração de Energia Maremotriz para Geração de Eletricidade: Aspectos Básicos e Principais Tendências. **Revista Chilena de Ingeniería**, [s.l.], v. 19, n. 2, p. 219-232, 2011.

FLORÊNCIO, M.; TRIGOSO, F. B. M. Pesquisas e Projetos Desenvolvidos no Brasil para o Aproveitamento do Potencial de Geração de Energia Elétrica com Ondas e Marés. Congresso Brasileiro de Energia Solar, 8 ed., 2020. **Anais[...]**. Fortaleza: 2020.

FONTES, G. A.; XAVIER, Y. M. A.; GUIMARÃES, P. B. V. Princípio fundamental ao meio ambiente: Pequenas Centrais Hidrelétricas na matriz energética brasileira. **Revista Digital Constituição e Garantia de Direitos**, [s.l.], v. 3, n.1, 2013.

FRIEDRICH, P. G. **Benefícios Econômicos e Sociais das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)**. Trabalho de Conclusão de Curso, Ciências Econômicas – Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

GALVÃO, J.; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 29, n. 84, p. 43-68, 2015

GUIMARÃES, A. M. C.; MESSIAS, A. L. B.; NETTO, C. C. A. L. A resolução 954/2021 e as vantagens, desvantagens e desafios para o desenvolvimento de usinas híbridas e associadas no Brasil. **Revista Relações Internacionais no Mundo Atual**, Curitiba, v. 2, n. 35, p. 121-146, 2022.

HAZAN, S. S. et al. Pequenas Usinas Hidrelétricas: O Caso da Usina de Marmelos. **História e Economia**, [s.l.], v. 9, n. 22, p. 19-31, 2011.

HENN, E. A. L. **Máquinas de Fluido**. Santa Maria: UFSM, 2012.

HUNT, J. D. et. al. Energy crisis in brazil: Impact of hydropower reservoir level on the river flow. **Energy**, [s.l.], v.239, [s.n.], 121927, Jan. 2022.

HUNT, J. D.; STILPEN, D.; FREITAS, M. A. V. A review of the causes, impacts and solutions for electricity supply crises in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 88, [s.n.], p. 208-222, Mai. 2018.

JAHANGIR, M. H.; ALIMOHAMADI, R.; MONTAZERI, M. Performance comparison of pelamis, wavestar, langley, oscillating water column and Aqua Buoy wave energy demands. **Energy Reports**, [s.l.], v. 9, [s.n.], p. 5111-5124, 2023.

- JAHID, A. et. al. Renewable energy assisted cost aware sustainable off-grid base stations with energy cooperation. **IEEE Access**, [s.l.], v. 6, [s.n.], p. 60900-60920, 2018.
- KAHN, I. et. al. Analysis of Jamrao canal for potential of hybrid photovoltaic/hydrokinetic turbine system. **Energy Reports**, [s.l.], v. 10, [s.n.], p. 419-430, 2023.
- KHAN, M. J. et al. Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: a technology status review. **Applied Energy**, v. 86, n. 10, p. 1823-1835, fev. 2009.
- KAPEN, P. T. et. al. Techno-economic feasibility of a PV/Battery/fuel cell/electrolyzer/biogás hybrid system for energy and hydrogen production in the far north region of cameroon by using HOMER pro. **Energy Strategy Reviews**, [s.l.], v. 44, [s.n.], 100988, 2022.
- KUMAR, P.; SINGAL, S. K.; GOHIL, P. P. A technical review on combined effect of cavitation and silt erosion on Francis turbine. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 190, 114096, 2024.
- LARA, J. D. C. **Modelación y simulación en CFD de una turbina Kaplan**. Universidad de Los Andes, Bogotá, 2018.
- LEVI, E. M. et al. Usinas hidroelétricas reversíveis e sua relação com a eficiência energética na hidroeletricidade. *In: Seminário Interdisciplinar de Energia*, ed. 2, 2022. **Anais [...]**, São Paulo: IEE-USP, 2023.
- LIMA, I. B. **Mapeamento da APP do lado de uma pequena central hidrelétrica no noroeste do RS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2023.
- MAGRI JÚNIOR, C. E. **Verificação de Roteiro de Cálculos para Dimensionamento de Rotor para Turbina Tipo Francis**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2016.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências Hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 20, n. 2, p. 215-226, 2005.
- MELO, L. B. et. al. Impacts of the hydrological potential change on the energy matrix of the Brazilian State of Minas Gerais: A case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 110, [s.n.], p. 415-422, Ago. 2019.
- MENDES, L. A. **Análise dos Critérios de Outorga de Direito de Usos Consuntivos dos Recursos Hídricos Baseados em Vazões Mínimas e em Vazões de Permanência**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- MENDES, L. F. R.; SHEL, M. S. Analysis of the hydrological cycle and its impacts on the sustainability of the electric matrix in the state of Rio de Janeiro/Brazil. **Energy Strategy Reviews**, [s.l.], v. 22, [s.n.], p. 119-126, Nov. 2018.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Nota Técnica N° 65/2019/DPE/SPE**. MME, 2019.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Portaria N° 101, de 22 de março de 2016**. MME, 2016.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Portaria N° 376, de 5 de agosto de 2015**. MME, 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Portaria Nº 463, de dezembro de 2009.** MME, 2009.

MIRANDA, A. R. S. **Sistema Modular de Acionamento, Controle e Monitoramento de Ensaio de Turbinas de Eixo Horizontal.** Dissertação (Mestrado em Sistema Mecatrônicos) – Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

MIRANDA, L. F. **Estudo de turbina hidrocínética para operação em regime de marés em estuários.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2021.

OLIVEIRA, B. A. **Conhecendo os componentes de uma usina hidrelétrica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

PEREIRA, E. B. et. al. Estudo do perfil de complementariedade entre a geração eólica e solar no semiárido brasileiro. *In: XII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético – CBPE, 2020. Anais [...]*, Cuiabá: SBPE, 2020.

PEREIRA, G. M. **Projeto de Usinas Hidrelétricas Passo a Passo.** São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

PEREZ, N. P. **Notas de Aula de Sistemas Fluidomecânicos.** Guaratinguetá: UNESP, 2014.

PERIUS, M. R.; CARREGARO, J. B. Pequenas Centrais Hidrelétricas como Forma de Redução de Impactos Ambientais e Crises Energéticas. **Ensaio e Ciência – Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, [s.l.], v. 16, n. 2, 2012.

PINTO, G. M. **Análise Termoeconômica de uma Central de Ciclo Combinado de 826 MW:** Estudo de Caso Utilizando um Simulador Full-Scope. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2020.

PIRES, A. L. G. et. al. Environmental and Financial Multi-objective Optimization: Hybrid Wind-photovoltaic Generation with Battery Energy Storage Systems. **Journal of Energy Storage**, [s.l.], v. 66, [s.n.], 107425, 2023.

QUEIROZ, F. R. **Avaliação de Cavitação em Turbinas Hidráulicas por Emissão Acústica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

RABELO, J. L. et. al. Aproveitamento da Energia Geotérmica do Sistema Aquífero Guarani: Estudo de Caso. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12 ed., 2002, [s.l.]. **Anais[...]**. 2002

RENEWABLE FIRST. **Kaplan Turbines.** Disponível em: <<https://www.renewablesfirst.co.uk/home/renewable-energy-technologies/hydropower/hydropower-learning-centre/kaplan-turbines/>>. Acesso em: 23 jul. 2023.

ROCHA, B. C. C. A. **Análise Exergética de Processos de Produção Geotérmica de Potência.** 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

RODRIGUES, G. G. **Avaliação da Potência Gerada por Área Ocupada entre Usinas Termelétricas a Gás Natural e Usina Termosolar.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

RODRIGUES, G. I. **Ciclos Combinados e de Cogeração: Aplicações para o Brasil a Partir do Gás Natural e Biogás**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia Mackenzie, Higienópolis, 2021.

ROSA, L. G. O. **Influência das vazões diárias no cálculo de garantia física de PCH's**. Trabalho de conclusão de Curso (MBA) – FGV Management, Curitiba, 2017.

SACCARDO, R. R. et. al. Investment in photovoltaic energy: an attempt to frame Brazil within the 2030 passage target of the Paris agreement. **Clear Energy System**, [s.l.], v. 5, [s.n.], 100070, Aug. 2023.

SAEED, M. A. et. al. An optimal approach of wind power assessment using Chebyshev metric for determining the Weibull distribution parameters. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, [s.l.], v. 37, [s.n.], 100612, 2020.

SALAM, A. et. al. Comparison of six different methods of Weibull distribution for wind power assessment: A case study for a site in the Northern region of Pakistan. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, [s.l.], v. 36, [s.n.], 100541, 2019.

SAMATAR, A. M. et. al. The utilization and potential of solar energy in Somalia: Current state and prospects. **Energy Strategy Reviews**, [s.l.], v. 48, [s. n.], 101108, 2023.

SANTOS, I. F. S. TIAGO FILHO, G. L. BARROS, R. M. FERNANDES, G. L. Optimization and Financial Risk Analysis of Small Hydro Power (SHPs) Dimensioning, Considering the CDM Benefits. **American Journal of Hydropower, Water and Environment Systems**, [s.l.], v.4, [s.n.], 2017.

SCHREIBER, G. P. **Usinas Hidrelétricas**. São Paulo: Edgar Blücher; Rio de Janeiro: ENGEVIX, 1977.

SILVA, J. M. et. al. Correlação entre o índice padronizado de precipitação e geração de centrais hidrelétricas de pequeno porte. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [s.l.], v. 5, n. 3, p. 317-329, 2016.

SILVA, M. L. B. **Análise da Metodologia do MME/ANEEL para o Cálculo dos Montantes de Energia Assegurada e Garantia Física de Energia de PCHs: Estudo de Caso de uma PCH**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SILVEIRA, Carlos A. C.; GUERRA, Hélio N. A crise Energética e o monitoramento de reservatórios hidrelétricos. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 14 ed., 2001, Aracaju. **Anais[...]**. Aracaju, 2001.

SOARES, F. A. S.; MADEIRA, J. G. F.; CLARA, M. L. P. Análise Energética de uma Usina Nuclear com Reator BWR e Estudo Comparativo com a Usina Nuclear Angra 2 do Modelo PWT. **Revista Brasileira de Energia**, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 26-42, 2019.

SOUZA, G. R. M. **Abordagem Investigativa sobre o Acidente de Chernobyl**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

SOUZA, Z.; SANTOS, A. H. M.; BORTONI, E. C. **Centrais Hidrelétricas: implantação e comissionamento**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

TIAGO FILHO, G. L. et. al. Análise da atual metodologia de cálculo e da revisão da garantia física de centrais hidrelétricas não despachadas centralizadamente no Sistema interligado nacional. **PCH NOTÍCIAS & SHP NEWS**, Itajubá, v. 70, n. 3, p. 17-21, Set. 2016a.

- TIAGO FILHO, G. L. et. al. Energia hidrocínética: aproveitamento em correntes de baixas velocidades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 10 ed., 2016, Gramado. **Anais**[...]. Gramado: 2016b.
- TIAGO FILHO, G. L.; SANTOS, I. F. S.; BARROS, R. M. Cost estimate of small hydroelectric power plants based on the aspect factor. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 77, [s.n.], p. 229-239, 2017.
- TORTELLI, O. L. et. al. Estimativa da Garantia Física de Usinas Hidrelétricas com Despanho Não Centralizado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 10 ed., 2016, Gramado. **Anais**[...]. Gramado: 2016b.
- TOLMASQUIM, M. As origens da crise energética brasileira. **Ambiente & Sociedade**, [s.l.], ano III, n. 6-7, p. 179-183, 2000.
- VASCONCELLOS, B. T. C. **Análise da garantia física das usinas hidrelétricas despachadas não centralizadamente e do potencial de complementação híbrido**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.
- VEIGA, J. E. **Energia Nuclear: do anátema ao diálogo**. 1. ed. São Paulo: SENAC SÃO PAULO, 2011.
- XAVIER, C. A. **Relação entre Consumo de energia Elétrica e Crescimento Econômico no Nordeste Brasileiro**. Dissertação (Mestre em Políticas Públicas e Desenvolvimento Rural Sustentável) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013.
- ZHOU, B. et. al. Power Generation and wave attenuation of a hybrid system involving a heaving cylindrical wave energy converter in front a parabolic breakwater. **Energy**, [s.l.], [s.n.], 128364, 2023.
- WHITE, F. M. **Mecânica dos Fluidos**. AMGH Editora: Rio Grande do Sul, 2011.