

FABRICIO STRÖHER DA SILVA

**PERFIL DA GERAÇÃO HIDRELETRICA NO OESTE E SUDOESTE DO
PARANA**

**CASCADEL
PARANA – BRASIL
2017**

FABRICIO STRÖHER DA SILVA

**PERFIL DA GERAÇÃO HIDRELETRICA NO OESTE E SUDOESTE DO
PARANA**

Dissertação Apresentada como requisito para a obtenção do título de mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura.

ORIENTADOR: Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

COORIENTADOR: Dr. Carlos Eduardo Nogueira

COORIENTADORA: Dra. Maritane Prior

**CASCADEL
PARANA – BRASIL
2017**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Silva, Fabricio Ströher da
Perfil da geração hidrelétrica no Oeste e Sudoeste do Paraná / Fabricio Ströher da Silva; orientador(a), Jair Antonio Cruz Siqueira; coorientador(a), Maritane Prior; coorientador(a), Carlos Eduardo Camargo Nogueira,

2018. 64 f.

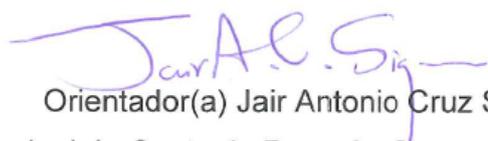
Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2018.

1. Potencial Hidroenergético. 2. Pequenas Centrais Hidrelétricas. 3. Energia Hidrelétrica. I. Siqueira, Jair Antonio Cruz. II. Prior, Maritane. III. Nogueira, Carlos Eduardo Camargo
IV. Título.

FABRÍCIO STRÖHER DA SILVA

**“PERFIL DA GERAÇÃO HIDRELÉTRICA NO OESTE E SUDOESTE
DO PARANÁ”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes renováveis e racionalização de energia na agroindústria e agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



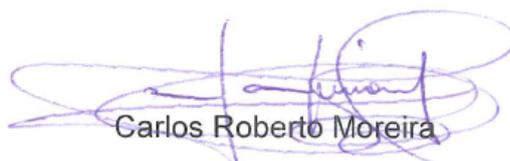
Orientador(a) Jair Antonio Cruz Siqueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Reginaldo Ferreira Santos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Carlos Roberto Moreira

Faculdade Assis Gurgacz – Cascavel (FAG)

Cascavel, 09 de março de 2018

Em especial a minha amada esposa Sandra Maira Bolzon pelo apoio e paciência e aos meus filhos Francisco Bolzon Ströher e Helena Bolzon Ströher...amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelas oportunidades que tem me dado nesta vida e pela sabedoria de não as ter deixado passar.

A todos professores que passaram pela minha vida, neste momento em especial aos professores Jair Antonio Cruz Siqueira, Maritane Prior e Carlos Eduardo Camargo Nogueira que além do auxílio nesta trajetória serviram e servirão de inspiração e referência para a minha vida profissional.

A professora Sandra Maira Bolzon por ser muito mais que uma esposa: ser a minha primeira influenciadora para que eu entrasse em uma sala de aula como professor. Pela paciência e abnegação de seus objetivos para que eu pudesse cumprir com este. E tantas outras coisas que poderia dissertar somente sobre isso.

Aos colegas e amigos do programa pela parceria principalmente nesta etapa final. Também ao aluno do mestrado em engenharia agrícola Isaque Souza Mendes pelo apoio fundamental na elaboração do mapa conceitual deste trabalho agregando muita qualidade ao mesmo.

A minha sogra Odila Carmin Bolzon por cuidar dos meus filhos para que eu pudesse me dedicar a elaboração deste trabalho.

Aos meus pais, filhos e esposa que são o motivo central disto tudo.

LISTA DE ABREVIações

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente Alternada

CGH – Central Geradora Hidrelétrica

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

IEA – *International Energy Agency*

MWh – Mega *Watt* Hora

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PNE – Plano Nacional de Energia

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

TWh – Terra *Watt* Hora

UHE – Usina Hidrelétrica

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Demanda de energia elétrica nacional 2050.....	4
Figura 2 - Demanda de Energia elétrica nacional com autoprodução 2050.....	4
Figura 3 - Forma de Onda Corrente Alternada.....	5
Figura 4 - Gerador de Corrente Alternada.....	6
Figura 5: Evolução da capacidade instalada de geração hidroelétrica.....	7
Figura 6 - Partes de uma Hidrelétrica.....	9
Figura 7 - Visão parcial do lago formado pela usina de Itaipú.....	10
Figura 8 - Usina hidrelétrica Chopim I.....	11
Figura 9 - PCH São Francisco.....	12
Figura 10 - Turbina do Tipo Francis de eixo horizontal instalado na PCH Moinho....	14
Figura 11 - Rotor Turbina da Usina de Itaipú.....	15
Figura 12 - Turbina Francis Eixo Vertical.....	15
Figura 13 - Ciclo Hidrológico.....	17
Figura 14 - Sistema de Compensação.....	19
Figura 15 - Expansão hidrelétrica 2015 a 2024.....	22
Figura 16 - Matriz energética região sul e Mato Grosso do Sul.....	23
Figura 17 - Paraná com destaque para a mesorregião geográficas do Oeste e Sudoeste do Paraná.....	25
Figura 18 - Paraná e suas Mesorregiões.....	25
Figura 19 - Região Oeste do Paraná dividida por microrregiões.....	26
Figura 20 - Bacias hidrográficas do estado Paraná.....	28
Figura 21 - Localização da bacia do Piquiri.....	29
Figura 22 - Localização da Bacia Parana 3.....	30
Figura 23 - Localização da Bacia do Rio Iguaçu.....	31
Figura 24 - Bacia do Rio Iguaçu.....	33
Figura 25 – Empreendimentos Hidro energéticos do Rio Iguaçu.....	33
Figura 26 - Bacia do Rio Piquiri.....	34
Figura 27 - Bacia Paraná 3.....	35

Figura 28 - Fluxograma do processo de tratamento dos dados SRTM da TOPODATA	38
Figura 29 - Processamento de dados para extração dos canais de drenagem.	41
Figura 30 - Divisão percentual dos tipos de empreendimentos hidroenergéticos no Oeste e Sudoeste do Paraná	42
Figura 31 - Distribuição das potências nas UHE e PCH	43
Figura 32 - Potência instalada em empreendimentos na região Oeste e Sudoeste do Paraná em relação ao total instalado no Brasil	44
Figura 33 - Divisão percentual dos empreendimentos de mini e micro geração distribuída se utilizando do potencial hidrelétrico	45
Figura 34 - Fachada CGH do Garcia.....	47
Figura 35 - Turbinas CGH do Garcia.....	47
Figura 36 - Gráfico de Pareto da vazão de afluência da usina de Salto Santiago	48
Figura 37 - Gráfico de <i>boxplot</i> da vazão de afluência da Usina de Salto Santiago em m ³ /s	49
Figura 38 - Histórico da vazão de afluência da usina hidrelétrica de salto Santiago no período de 2003 a 2017.	50
Figura 39 - <i>Boxplot</i> da produção da usina de Salto Santiago entre os anos de 2003 e 2017 em MWh por mês	51
Figura 40 - Histórico de Produção mensal de 2003 - 2017 da usina Salto Santiago em MWh.....	52
Figura 41 - Gráfico <i>bloxpot</i> dos dados de vazão de afluência diária da usina Melissa no período de 2003 a 2017	53
Figura 42 - Histórico vazão de afluência diárias em m ³ /s da usina Melissa e sua tendência linear	54
Figura 43 - Gráfico de <i>Boxplot</i> da produção histórica de 2003 a 2017 em MWh por mês	55
Figura 44 - Produção Usina Melissa entre 2003 e 2017 em MWh e sua tendência ..	56
Figura 45 - Mapa com a distribuição dos empreendimentos Hidro energéticos no Oeste e Sudoeste do Paraná juntamente com sua caracterização	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tendência da evolução Consumo Energia elétrica no Brasil para os anos de 2015, 2019 e 2024	3
Tabela 2 - Os dez maiores produtores de energia hidroelétrica do mundo em 2010 ..	7
Tabela 3 - Matriz Energética em 2005	20
Tabela 4 - Matriz Energética 2017	20
Tabela 5 - Empreendimentos hidrelétricos	21
Tabela 6 - Matriz energética do Paraná em 2017	23
Tabela 7 - Empreendimentos hidrelétricos no Paraná	24
Tabela 8 - Unidades Consumidoras com geração Distribuída	45

SILVA, Fabricio Ströher. **Perfil da geração hidrelétrica no Oeste e Sudoeste do Paraná.** Jair Antônio da Cruz Siqueira

RESUMO

A geração hidrelétrica é a principal fonte de energia elétrica no Brasil e do Oeste e Sudoeste do Paraná. Ano após ano a matriz energética vem se diversificando, sendo nela inseridas novas fontes, como por exemplo a eólica. Porém pela característica de acumulação de energia potência das hidrelétricas faz com que este tipo de fonte seja importante para a estabilidade do sistema elétrico. Nos dias atuais a energia hidrelétrica corresponde a pouco mais que 60% de toda potência instalada no Brasil. Em especial na região Oeste e Sudoeste do Paraná, este número aumenta e a participação do Paraná na matriz brasileira é de aproximadamente 16% de toda potência instalada. Para verificar como está a participação destas regiões na matriz hidroenergética e sua produção, foi realizado um levantamento do potencial instalado e do perfil construtivo dos empreendimentos hidroenergéticos. Além disto foi verificada a tendência das vazões e produção no período de 2003 a 2017 da hidrelétrica Salto Santiago na bacia do Rio Iguaçu e a hidrelétrica Melissa na bacia do rio Piquiri. Por fim, foi elaborado um mapa conceitual das regiões Oeste e Sudoeste do Paraná com o perfil da geração hidrelétrica. Concluiu-se pelo levantamento que as regiões do estudo têm grande participação na matriz hidrelétrica do Brasil e que sua produção e a vazão dos rios na entrada destas permanece praticamente inalterada no período do estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Potência hidroenergético, Pequenas Centrais Hidrelétricas, Energia Hidrelétrica

SILVA, Fabricio Ströher. **Profile of hydropower generation in the west and southwest of Paraná.** Jair Antônio da Cruz Siqueira

ABSTRACT

Hydroelectric generation is the main source of electricity in Brazil and also in the West and Southwest of Paraná. Year after year the energy matrix has been diversifying, including new sources, such as wind power. However, due to the power accumulation characteristic of hydroelectric plants, this type of source is important for the stability of the electric system. Currently, hydroelectric power corresponds to just over 60% of all power installed in Brazil. Particularly in the West and Southwest of Paraná, this number increases and Paraná's share in the Brazilian matrix is approximately 16% of all installed power. In order to verify the participation of these regions in the hydropower matrix and also their production, a survey was made of the installed potential and the constructive profile of the hydroenergy projects. In addition, the flow and production trends of the Salto Santiago hydroelectric plant in the Iguaçu River basin and the Melissa hydroelectric plant in the Piquiri river basin were verified in the 2003 to 2017 period. Finally, a conceptual map of the western and southwestern regions of Paraná was elaborated with the hydroelectric generation profile. It was noticed by the survey that the regions of the study have great participation in the hydroelectric matrix of Brazil and that its production and the flow of the rivers in the entrance of these remains practically unchanged in the studied period.

KEYWORDS: Hydropower, Small Hydroelectric Power Plants, Hydroelectric Power

SUMARIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVO GERAL.....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	3
2.1 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	3
2.2 GERAÇÃO ELÉTRICA	5
2.3 GERAÇÃO HIDROELÉTRICA.....	6
2.4 CONCEITOS BÁSICOS PARA GERAÇÃO HIDRELÉTRICA.....	8
2.5 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE UMA HIDRELÉTRICA	8
2.5.1 Barragens	9
2.6 TIPOS DE USINAS.....	9
2.6.1 Usinas de Acumulação	10
2.6.2 Usinas a fio d'água	10
2.6.3 Usinas de desvio	11
2.6.4 Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH.....	12
2.6.5 Central Geradora Hidrelétrica.....	13
2.7 TURBINAS HIDRÁULICAS	13
2.7.1 Turbinas Francis.....	13
2.7.2 Turbinas Pelton.....	16
2.7.3 Turbinas Kaplan.....	16
2.7.4 Turbinas tubulares.....	16
2.8 HIDROLOGIA	16
2.8.1 Vazão	18
2.8.2 Precipitação	18
2.9 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	18
2.10 Geração elétrica no Brasil	19

2.11	Geração Elétrica no Paraná	22
2.12	Geração hidrelétrica no Oeste e Sudoeste do Paraná	24
2.13	REGIÃO OESTE E SUDOESTE DO PARANÁ	24
2.13.1	Região Oeste do Paraná	26
2.13.2	Região Sudoeste do Paraná.....	27
2.14	Bacia Hidrográfica do Oeste e Sudoeste do Paraná	27
2.14.1	Bacia Piquiri.....	28
2.14.2	Bacia Paraná 3	29
2.14.3	Bacia Iguaçu.....	30
2.15	Sistemas de Informação Geográfica.....	31
3.	MATERIAL E MÉTODO.....	32
3.1	MATERIAL.....	32
3.1.1	Caracterização das regiões do trabalho de pesquisa	32
3.1.2	Aspectos hidrológicos das bacias.....	36
3.1.3	Dados da carga instalada em micro e mini geração nas regiões Oeste e Sudoeste do Paraná.....	36
3.1.4	Dados das características dos empreendimentos hidro energéticos do Oeste e Sudoeste do estado do Paraná	36
3.1.5	Geração de Energia Elétrica por meio de empreendimentos hidro energéticos	37
3.1.6	Mapa da distribuição dos empreendimentos hidro energéticos no Oeste e Sudoeste do Paraná.....	37
3.2	MÉTODOS	38
3.2.1	Determinação da quantidade de empreendimentos hidro energéticos na região Oeste e Sudoeste do Paraná	38
3.2.2	Determinação da carga instalada em empreendimentos hidro energéticos na Região Oeste e Sudoeste do Paraná.....	39
3.2.3	Determinação do percentual de mini e micro geração distribuída no Oeste e Sudoeste do estado do Paraná	39
3.2.4	Características dos empreendimentos hidroenergéticos do Oeste e Sudoeste do Paraná.....	40

3.2.5	Análise de geração de energia hidrelétrica nas regiões Oeste e Sudoeste do estado do Paraná	40
3.2.6	Elaboração de mapa conceitual	41
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	QUANTIDADE E A CARGA INSTALADA EM EMPREENDIMENTOS HIDRO ENERGÉTICOS NO OESTE E SUDOESTE DO PARANÁ.....	42
4.1.1	Quantidade de empreendimentos hidroenergéticos no Oeste e Sudoeste do Paraná 42	
4.1.2	Carga Instalada em empreendimentos hidro energéticos no Oeste e Sudoeste do Paraná.....	43
4.2	MICRO E MINI GERAÇÃO HIDROELÉTRICA NO OESTE E SUDOESTE DO PARANÁ.....	44
4.3	CARACTERÍSTICAS DOS EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS NA REGIÃO OESTE E SUDOESTE DO PARANÁ	46
4.4	PRODUÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS E SUAS TENDÊNCIAS	48
4.4.1	Bacia do Rio Iguaçu.....	48
4.4.2	Bacia do Rio Piquiri	52
4.5	MAPA CONCEITUAL DA DISTRIBUIÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS HIDROENERGÉTICOS.....	56
5.	CONCLUSÃO	59
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1. INTRODUÇÃO

A principal fonte de geração de energia elétrica no Brasil e no Paraná é a provinda de hidrelétricas. Outras fontes de geração de energia centralizada são utilizadas somente quando a hidráulica não consegue suprir tal demanda (FILHO, 2013).

Segundo a Agencia Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2017) é possível verificar que o Paraná apresenta um potencial hidrelétrico instalado de aproximadamente 16% do total no Brasil, considerando a parte brasileira da Itaipu binacional e considerando os empreendimentos futuros apresentados em Empresa de Pesquisa Energetica - EPE (2015). Com isto é possível verificar a importância de focar estes estudos no estado do Paraná em relação a suas vantagens e desvantagens.

Kliemann e Delariva (2015) afirmam que a bacia do Iguaçu é a que mais apresenta empreendimentos do tipo PCH. Ainda segundo Kliemann e Delariva (2015), a bacia do Iguaçu e a bacia do rio Piquiri são as que apresentam maiores estimativas de implementação de PCH no estado do Paraná, onde, além das PCHs serão instalados nas bacias do rio Piquiri e rio Iguaçu um potencial de UHE de 809 MW, já considerando a Usina de Baixo Iguaçu (EPE, 2015).

World Bank Group (2009) afirma que ainda existe muito potencial hidrelétrico a ser explorado, porém, deve-se atentar para aos impactos que tais empreendimentos podem causar, seja no ambito ambiental ou social.

Outra questão relevante e que deve ser motivo de constantes estudos e avaliações é a produção dos empreendimentos hidrelétricos, bem como a tendência futura de produção considerando as alterações em regime de chuva e clima, onde segundo Majone et al. (2015), as alterações nas condições climáticas e o regime de chuvas afetam a produção de energia elétrica por meio dos empreendimentos hidrelétricos. E estas variações afetam diretamente no preço da energia, ocasionando em variações para mais e para menos (GUERRA et al., 2015).

Nos dias atuais, com a entrada das fontes sazonais, como a energia solar fotovoltaica na matriz energética, as usinas hidrelétricas são forçadas a melhorar seus processos operacionais, assim trabalhando com mais eficiência com a flexibilidade

que terão que ter para manter o sistema elétrico estável (GOYAL, GANDHI e CERVANTES, 2018).

Em função disto, se faz necessário estudos para avaliar o real aproveitamento dos recursos hídricos para, juntamente com as demais fontes da matriz energética brasileira poder atender a demanda que, segundo Blois et al. (2017), tende a aumentar juntamente com o crescimento econômico nacional.

1.1 OBJETIVO GERAL

Determinar o perfil da geração hidrelétrica no Oeste e Sudoeste do Paraná.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a quantidade e a carga instalada em empreendimentos hidro energéticos no Oeste e Sudoeste do Paraná.
- Determinar o percentual de micro e mini geração hidroelétrica no Oeste e Sudoeste do estado do Paraná.
- Caracterizar os tipos de empreendimentos hidrelétricos no Oeste e Sudoeste do Paraná.
- Avaliar a produção histórica dos empreendimentos hidrelétricos e suas tendências.
- Mapear a distribuição das pequenas centrais hidrelétricas por meio de georreferenciamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

O consumo de energia elétrica no país vem se elevando ano após ano em função das novas tecnologias e ao acesso mais fácil a equipamentos elétricos como eletrônicos e eletrodomésticos (EPE, 2016).

Na Tabela 1 está a estimativa do consumo de energia elétrica até o ano de 2024, onde a elevação em valores percentuais alcançará, segundo a estimativa, um aumento no consumo de energia elétrica na casa de 33%. Estes valores terão relação direta para as ações em relação geração de energia elétrica no país.

Tabela 1 – Tendência da evolução Consumo Energia elétrica no Brasil para os anos de 2015, 2019 e 2024

Ano	Consumo (TWh)
2015	524,6
2019	613,4
2024	790,4

Fonte: (EPE, 2015)

Este aumento no consumo de energia elétrica acontece de forma significativa, onde nas últimas três décadas foi registrado um aumento anual médio no consumo de energia elétrica de 7,8%. Este aumento, parte se deve ao acréscimo no número de unidades consumidoras, que no ano de 2013 teve uma elevação de 3,3%, o que corresponde a um aumento quase 2 milhões de unidades e também o consumo médio mensal por consumidor que no ano de 2013 teve uma elevação de 2,2% em relação ao ano anterior (OLIVEIRA e MOURA, 2015).

Outro estudo de EPE (2016) apresentado na Figura 1, indica a estimativa nacional de aumento do consumo de energia elétrica. Nele é visto uma previsão de aumento linear até o ano de 2050 e um comparativo com o estudo anterior.

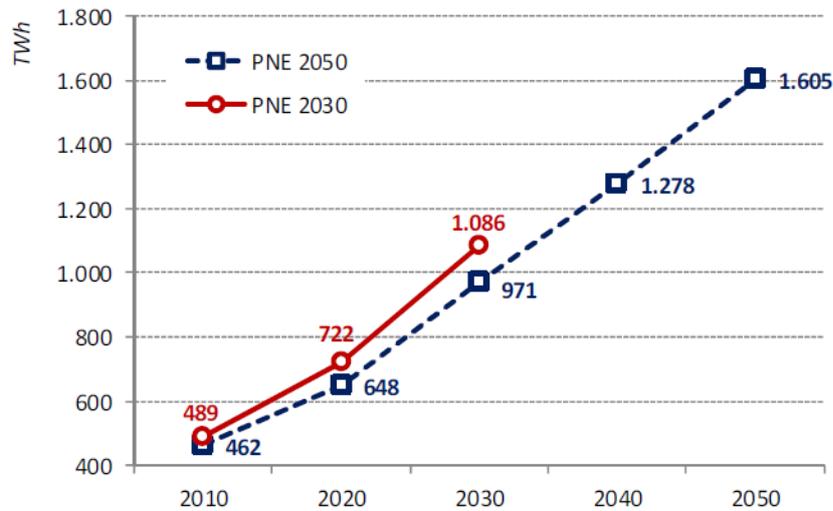


Figura 1 - Demanda de energia elétrica nacional 2050
Fonte: (EPE, 2016)

De acordo com EPE (2016) a autoprodução corresponderá a mais de 10% do total da energia consumida conforme apresentado Figura 2, este fato está fortemente relacionado às legislações que permitiram a conexão à rede de micro e mini geradoras elétricas (ANEEL, 2012).

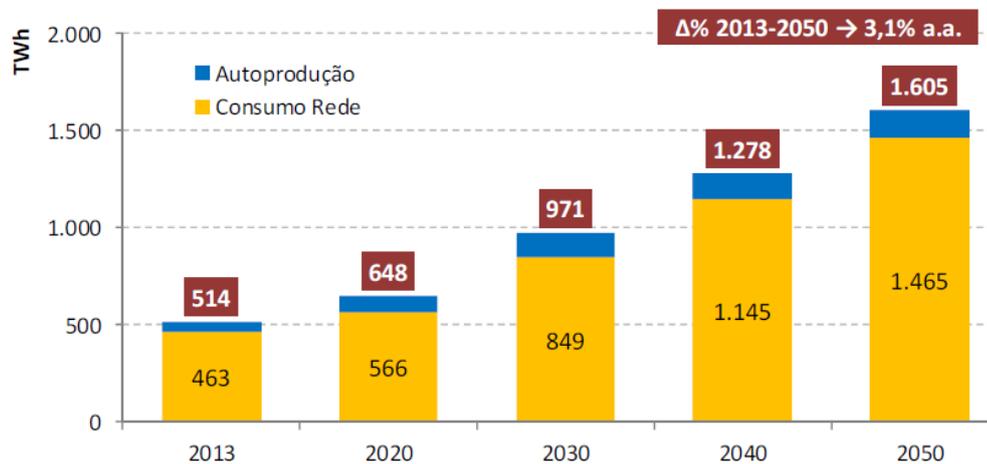


Figura 2 - Demanda de Energia elétrica nacional com autoprodução 2050
Fonte: (EPE, 2016)

2.2 GERAÇÃO ELÉTRICA

A geração elétrica é a conversão de alguma fonte de energia, normalmente mecânica, em circulação de corrente elétrica ou diferença de potencial.

Segundo Gusso (1997) a geração acontece a partir do momento que a espira condutora (armadura) gira interceptando um campo magnético, isto faz com que seja induzida uma tensão nos terminais da bobina que são transferidos para cabos externos ao gerador por meio de escovas.

Existem outras formas de geração de energia elétrica, sendo que quase em sua totalidade a energia elétrica provem da conversão da energia mecânica para a energia elétrica, com exceção da energia solar em que a energia primária provém dos raios solares.

Existem diversas fontes de energia mecânica para a geração elétrica, que podem ser renováveis e não renováveis. Dentre elas podemos citar a energia eólica, em que a força mecânica para a geração elétrica provém da energia cinética dos ventos, e a energia térmica, em que a energia mecânica para a movimentação de turbinas provem da pressão gerada pela queima de materiais.

A tensão CA é um tipo de sinal que seu módulo varia continuamente e é invertido periodicamente, conforme Figura 3 (GUSSO, 1997).

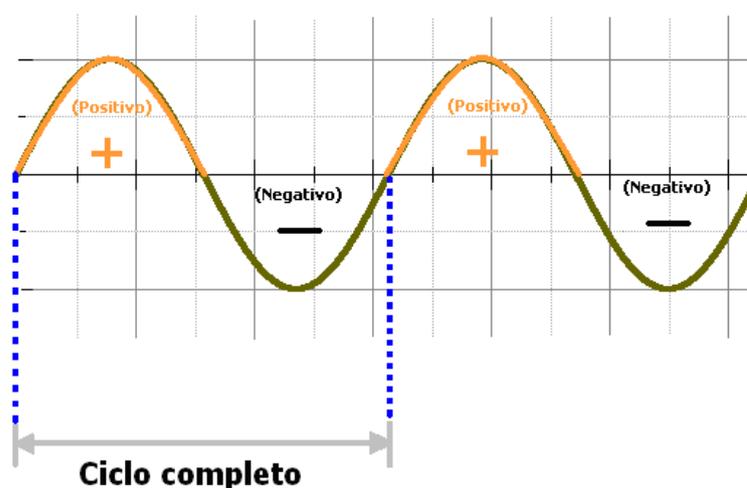


Figura 3 - Forma de Onda Corrente Alternada
Fonte: Adaptado de (GUSSO, 1997)

Este sinal é produzido por um gerador, chamado alternador. Na Figura 4 é possível verificar o funcionamento básico de um gerador, onde para a geração elétrica é necessária uma fonte de energia mecânica agindo no conjunto de espiras sobre um eixo.

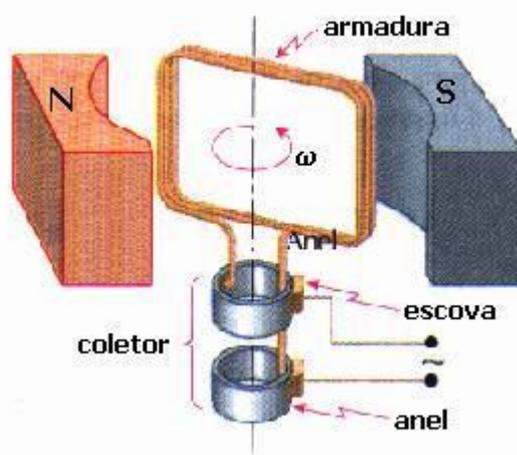


Figura 4 - Gerador de Corrente Alternada
Fonte: Adaptado de (GUSSOW, 1997)

2.3 GERAÇÃO HIDROELÉTRICA

Atualmente no Brasil, a matriz energética é predominantemente por potencial hidráulico, correspondendo a aproximadamente 61% sem considerar a energia importada de outros países como o Paraguai, que é de aproximadamente 5%. A segunda maior fonte de energia é a fóssil, com aproximadamente 16% (ANEEL, 2017).

Segundo Neto e Carvalho (2013), a utilização de potencial hídrico para geração de energia elétrica é privilégio de poucos países, onde condições geográficas, disponibilidade e extensão territorial são fatores primordiais.

Em 2010, conforme Tabela 2, o Brasil ocupava a segunda posição em geração de energia hidroelétrica, ficando atrás somente da China. A produção do Brasil apresentada desconsidera a parte de energia importada, como por exemplo a energia gerada pela Itaipu e comprada do Paraguai.

Tabela 2 - Os dez maiores produtores de energia hidroelétrica do mundo em 2010

Pais	Geração hidroelétrica (TWh)	Parte da geração elétrica (%)
China	694	14,8
Brasil	403	80,2
Canada	376	62,0
Estados Unidos	328	7,6
Rússia	165	15,7
Índia	132	13,1
Noruega	122	95,3
Japão	85	7,8
Venezuela	84	68,0
Suécia	67	42,2

Fonte: (IEA, 2012)

Embora o Brasil seja um dos principais produtores de energia hidroelétrica, seu potencial instalado não se alterou muito nos últimos anos. Esta afirmação pode ser evidenciada na Figura 5, onde é apresentada a produção hidrelétrica dos principais produtores mundiais, na qual o Brasil segue com a mesma faixa de produção (IEA, 2012).

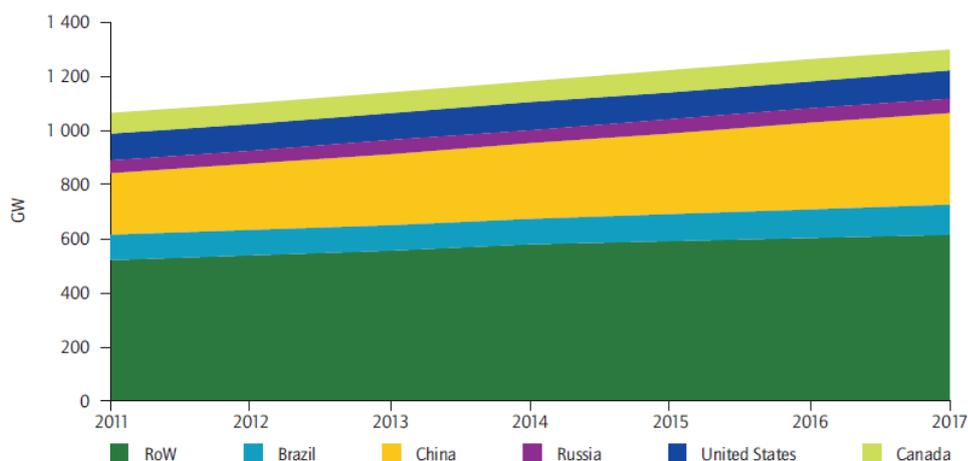


Figura 5: Evolução da capacidade instalada de geração hidroelétrica
Fonte: (IEA, 2012)

2.4 CONCEITOS BÁSICOS PARA GERAÇÃO HIDRELÉTRICA

Um gerador hidrelétrico funciona em função da força gerada por um líquido em escoamento. Este escoamento quando estrangulado aumenta sua velocidade, aumentando suas forças que fazem com que exista a movimentação de máquinas motrizes hidráulicas, produzindo o conjugado do motor. Estas forças se dividem em cinco (NETO e CARVALHO, 2013):

- Peso do Líquido;
- Força de pressão normal à seção de entrada;
- Força de pressão normal à seção de saída;
- Força resultante da velocidade aplicada na seção de entrada;
- Força resultante da velocidade aplicada na seção de saída (força de reação).

2.5 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE UMA HIDRELÉTRICA

As principais partes de uma central hidrelétrica são as barragens, os dutos de adução de água, a casa de força, onde ficam as turbinas e geradores e as galerias de restituição. Dentro destas partes existem componentes de fundamental importância que serão tratados posteriormente. Na Figura 6 é demonstrada uma representação de todos os processos da geração hidrelétrica.

Além das partes da usina apresentados na Figura 6, existe o lago que é responsável pelo represamento da água que é a grande questão das usinas hidrelétricas em função do impacto ambiental e social que estes lagos causam.

Segundo Campos e Silva (2012), a aceitação da população em relação a questão ambientais vem crescendo a cada dia, o que força o país a ter políticas públicas, em relação ao setor da hidroeletricidade, mais firmes, o que acarreta na demora e por vezes na não construção de empreendimentos hidroenergéticos em função do impacto ambientais e sociais causado e que não podem ser minimizados ou controlados.

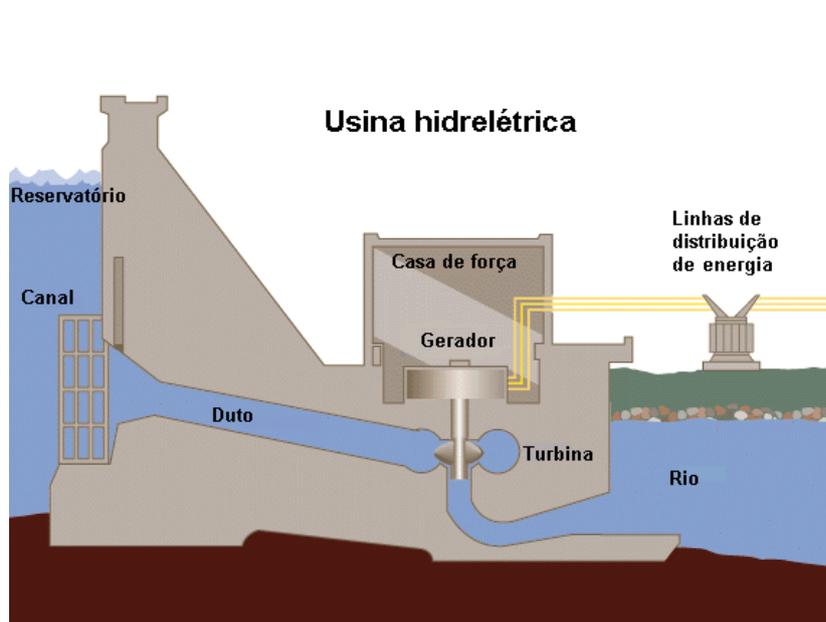


Figura 6 - Partes de uma Hidrelétrica
 Fonte: Adaptado de (MIRANDA, 2017)

2.5.1 Barragens

De acordo com Neto e Carvalho (2013), as barragens têm por finalidade represar, elevar o nível e formar reservatórios. O represamento serve para captação da água para formar o reservatório e a elevação tem por finalidade aumentar a pressão da água ou permitir a navegabilidade. A formação de reservatórios tem por principal finalidade regular as vazões.

2.6 TIPOS DE USINAS

Existem vários tipos de usinas, as quais são denominadas basicamente pela alteração que causam em relação aos rios que as mesmas utilizam para a produção da energia elétrica. Serão apresentados a seguir os modelos de usinas mais comuns de serem encontrados nas regiões estudadas.

2.6.1 Usinas de Acumulação

As usinas de acumulação possuem bacias de grande capacidade, permitindo uma operação contínua e regular.

O acúmulo da água permite uma vazão média de água superior àquela garantida apenas pelo comportamento natural do rio, e estas podem ser classificadas em usinas de derivação e de desvio.

Um exemplo de usina de acumulação é a de Itaipu, a qual tem um lago com área de 1.350 Km², sendo o sétimo maior lago do Brasil (ITAIPÚ, 2017).

O fato de ter um grande lago e um controle de nível, faz com que este tipo de usina possa responder rapidamente às flutuações na demanda de energia elétrica. Na Figura 7 é possível ver parcialmente o lago formado pela usina de Itaipu, o qual também é utilizado por banhistas, como ponto turístico em diversas cidades do Oeste paranaense, são as famosas "prainhas".



Figura 7 - Visão parcial do lago formado pela usina de Itaipú
Fonte: (ITAIPÚ, 2017)

2.6.2 Usinas a fio d'água

As usinas a fio d'água são as que operam sem reservatório, utilizando a vazão primária do rio, chamada de vazão disponível. (NETO e CARVALHO, 2013)

Como exemplo deste tipo de usina podemos citar a usina Chopim I, localizada no município de Tapejara do Oeste. A usina tem uma barragem de no máximo 7 metros, não interferindo no nível do rio, e em consequência disto não interfere também em seu fluxo e em seu volume (COPEL, 1999).



Figura 8 - Usina hidrelétrica Chopim I
Fonte: (COPEL)

2.6.3 Usinas de desvio

Nas usinas de desvio a água é conduzida por uma tubulação até uma chaminé de equilíbrio, da qual partem as tubulações para as turbinas, de onde a água segue até o outro lado do rio (NETO e CARVALHO, 2013).

Um exemplo deste tipo de usina é a PCH São Francisco, localizada no município de Toledo e apresentada na Figura 9, onde está em destaque o curso normal do rio São Francisco Verdadeiro e o desvio com a instalação da PCH.

Este tipo de usina pode causar a redução da vazão no curso normal do rio que foi desviado, porém como seu lago é muito menor que de usinas de grandes dimensões seus impactos são reduzidos e até eliminados, como por exemplo os impactos sociais que não existem.



Figura 9 - PCH São Francisco
Fonte: Adaptado de (Google.com)

2.6.4 Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH

Em 2015 a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) editou uma resolução que estabelece requisitos e procedimentos para a obtenção da outorga de autorização para exploração de aproveitamento de potencial hidráulico com características de Pequena Central Hidrelétrica (ANEEL, 2015).

Esta resolução define que, para ser considerada uma PCH ela deve ter potência instalada entre 3.000 kW e 30.000 kW e com área de reservatório não superior a 13 Km².

Caso o tamanho do reservatório seja superior a 13 Km², excluindo a área do leito regular do rio, será considerado como PCH se o reservatório for de regularização, no mínimo semanal ou cujo dimensionamento, comprovadamente, foi baseado em outros objetivos que não o de geração de energia elétrica.

2.6.5 Central Geradora Hidrelétrica

Ainda dentro da resolução da ANEEL (2015) existe um capítulo específico para centrais geradoras com capacidade reduzida, ou seja, em que a capacidade de geração seja igual ou inferior a 3.000 kW. Tais empreendimentos são considerados como Central Geradora Hidrelétrica (CGH). Estes estabelecimentos de geração elétrica tem maior facilidade em aprovação de projetos, principalmente no cunho ambiental, isso porque em tese não são tão onerosos ao meio ambiente em função da pequena alteração que fazem no nível e vazão dos rios.

2.7 TURBINAS HIDRÁULICAS

A turbina hidráulica é o equipamento no qual a energia hidráulica se transforma em energia mecânica, fazendo girar um eixo conectado a um rotor, o qual produz a energia elétrica (FLÓREZ, 2014).

Uma turbina é projetada para atender a valores prefixados da descarga, da queda disponível e do número de rotação por minuto (RPM) para ter um rendimento máximo (NETO e CARVALHO, 2013).

Segundo Elbatran et al. (2015) existem duas classificações para as turbinas hidráulicas: as de ação ou impulso; e as turbinas de reação.

As turbinas de ação ou impulso têm o projeto mais simples e são mais baratas. Dentre as principais turbinas desta classificação podemos citar a Pelton e Turgo. Já as turbinas de reação são geralmente maiores, porém têm um melhor desempenho em quedas d'água menores. Destas são exemplo a turbina do tipo Francis.

2.7.1 Turbinas Francis

Desenvolvidas pelo engenheiro inglês James Bicheno Francis, em 1847, é constituída de caixa espiral, distribuidor, roda e tubo de sucção (NETO e CARVALHO, 2013).

As turbinas do tipo Francis podem ser com o eixo vertical ou horizontal e são aplicáveis a quedas de 10 metros até uma altura de 250 metros (COSTA, 2003).

Na Figura 10 é apresentado um exemplo de turbina Francis de eixo horizontal, instalada na PCH Moinho, no município de Marechal Cândido Rondon.



Figura 10 - Turbina do Tipo Francis de eixo horizontal instalado na PCH Moinho

Fonte: (cercar.com)

Na região Oeste e Sudoeste do Paraná, todas UHE (Usina Hidrelétrica) e PCH (Pequena Central Hidrelétrica) utilizam as turbinas do tipo Francis, como é possível verificar na sequência.

Na Figura 11 é apresentado o rotor de uma das 20 turbinas do tipo Francis, utilizado na Usina de Itaipu, em Foz do Iguaçu.

As turbinas do tipo Francis são as mais utilizadas para a produção da hidroeletricidade, isto pode se dar em função da sua pouca variação da eficiência quando esta é submetida a uma variação de vazão. Ficando a variação da eficiência desta turbina inferior a 10%, em quanto que uma turbina do tipo Kaplan, por exemplo tem uma variação de eficiência superior a 10% quando submetida a diferentes vazões (VIANA e ALENCAR, 2017).



Figura 11 - Rotor Turbina da Usina de Itaipú
Fonte: (ITAIPÚ, 2017)

Já na Figura 12 é apresentada uma turbina Francis de eixo vertical, instalada na Usina de Salto Caxias.



Figura 12 - Turbina Francis Eixo Vertical
(COPEL)

2.7.2 Turbinas Pelton

Desenvolvidas pelo engenheiro norte-americano Laster Allen Pelton em 1880, as turbinas Pelton podem ser de um, dois e seis jatos; o aumento dos jatos se dá em função da necessidade de elevar a potência (NETO e CARVALHO, 2013).

2.7.3 Turbinas Kaplan

Desenvolvidas pelo engenheiro Victor Kaplan em 1912, possui uma turbina axial a hélice, contrapondo a possibilidade de variar o passo das pás. Projetado para quedas pequenas, médias e grandes descargas (NETO e CARVALHO, 2013).

2.7.4 Turbinas tubulares

Nas turbinas tubulares, o receptor de pás fixas ou orientáveis, é colocado num tubo por onde a água escoar e o eixo, horizontal ou inclinado, aciona um gerador colocado externamente ao tubo (NETO e CARVALHO, 2013).

Estas turbinas são novidade no país. Em hidrelétricas de grande porte são adequadas para quedas d'água inferiores a 25 metros, significando que, apesar do rendimento inferior, as turbinas de eixo vertical denotam um menor represamento de água para seu funcionamento, reduzindo os impactos provenientes da formação de lagos. (PIMENTA, 2010).

2.8 HIDROLOGIA

A Hidrologia trata do estudo das águas. Dentro da engenharia, este conceito é utilizado para a elaboração de projetos de controle e uso da água e na operação destes, no caso específico deste trabalho, da utilização da água para o aproveitamento hidrelétrico (LIMA, 2017).

O ciclo hidrológico é o movimento contínuo e fechado da água. Este movimento é impulsionado pela força da gravidade e pela energia proveniente do sol, sendo o sol responsável pela evaporação da água para a atmosfera e a força da

gravidade faz com que esta desça condensada e caia em forma de precipitação. Uma vez estando na superfície esta água pode estar nos rios ou infiltrada no solo (COIMBRA e TIBÚRCIO, 1995).

Na Figura 13 é possível entender o ciclo hidrológico, no qual para projetos hidrelétricos, o mais importante de se monitorar é a precipitação e o escoamento superficial das águas.

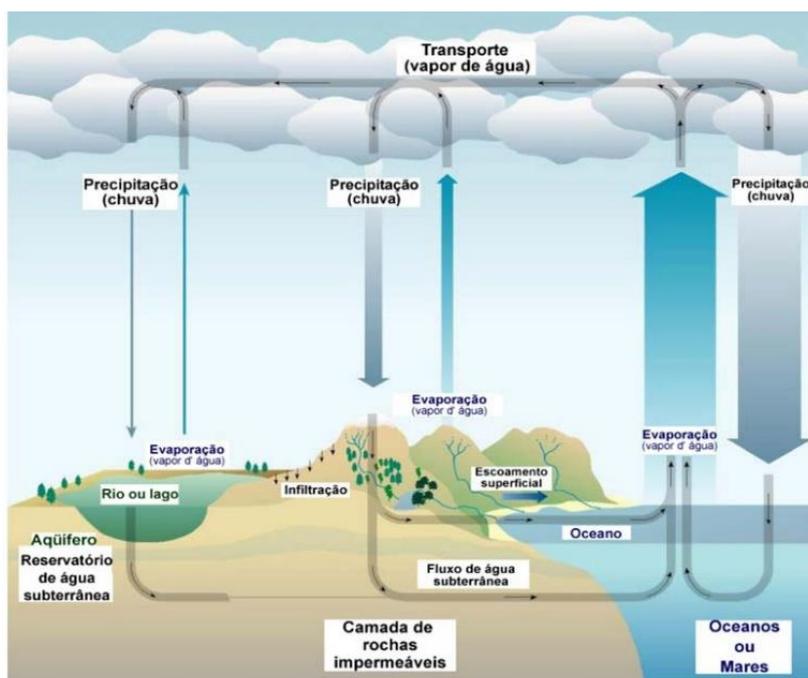


Figura 13 - Ciclo Hidrológico
Fonte: Adaptado de (LIMA, 2017)

O fator mais importante dentro do ciclo hidrológico na manutenção e conservação dos lagos que servem de armazenadores de energia para as usinas hidrelétricas é a conservação e preservação da vegetação em torno dos rios e lagos, pois isto faz com que a vazão dos mesmos se mantem constantes no período estacional (LIKENS, 2013). Além disto o desmatamento altera a qualidade da água que entra nos empreendimentos hidroenergéticos (TUNDISI e TUNDISI, 2010).

2.8.1 Vazão

O escoamento superficial gera uma certa vazão das águas em um determinado sentido. A potência gerada por uma usina hidrelétrica é proporcional a vazão da água disponível para as turbinas, este fato faz esta variável ser tão importante.

Referente às vazões, estas podem ser divididas segundo Lima (2017) em:

- Vazão Afluente: é a vazão que chega a um aproveitamento hidrelétrico;
- Vazão de defluência: é a vazão que sai de um aproveitamento hidrelétrico;
- Vazão vertida: é a vazão liberada por um reservatório que não é aproveitado para a produção de energia elétrica;
- Vazão turbinada: é a vazão que passa através das turbinas de um gerador hidrelétrico;
- Vazão natural: é medida quando a montante não existe aproveitamentos hídricos para outros fins e tão pouco a regulação por lagos de usinas por exemplo.

2.8.2 Precipitação

A medição das precipitações em uma determinada bacia também é muito importante para um aproveitamento hidrelétrico, como visto na Figura 13, a água escoada da montante para a jusante de um rio é proveniente das precipitações naquele local.

2.9 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída é caracterizada pela instalação de geradores de pequeno porte próximo aos centros de consumo, esta geração é normalmente a partir de fontes renováveis (ANEEL, 2016).

Segundo ANEEL (2016), este tipo de geração tem inúmeras vantagens, como por exemplo a elevação de tensão na rede em momentos de autoconsumo e a redução de investimentos em redes de distribuição. Porém existem desvantagens e uma delas é referente ao aumento da complexidade para se operar o sistema elétrico.

Em 2012 a ANEEL publicou a resolução normativa 482, a qual dispunha sobre o acesso à rede de micro e mini geradores, regulamentando o que é uma micro e mini geração, as formas de acesso, dentre outros (ANEEL, 2012).

Em 2015, em função de algumas adequações necessárias, foi feita a publicação de outra normativa, a 687 que alterou alguns pontos da resolução 482, como por exemplo, o aumento do tempo para que um consumidor possa utilizar a energia injetada na rede aumentando de 36 para 60 meses (ANEEL, 2015).

Na Figura 14 é apresentado uma imagem que apresenta o funcionamento da geração distribuída, onde o gerador pode tanto consumir da rede como injetar energia na rede, sendo que a diferença entre energia injetada e consumida é o que o consumidor final paga ou gera créditos (ANEEL, 2015).

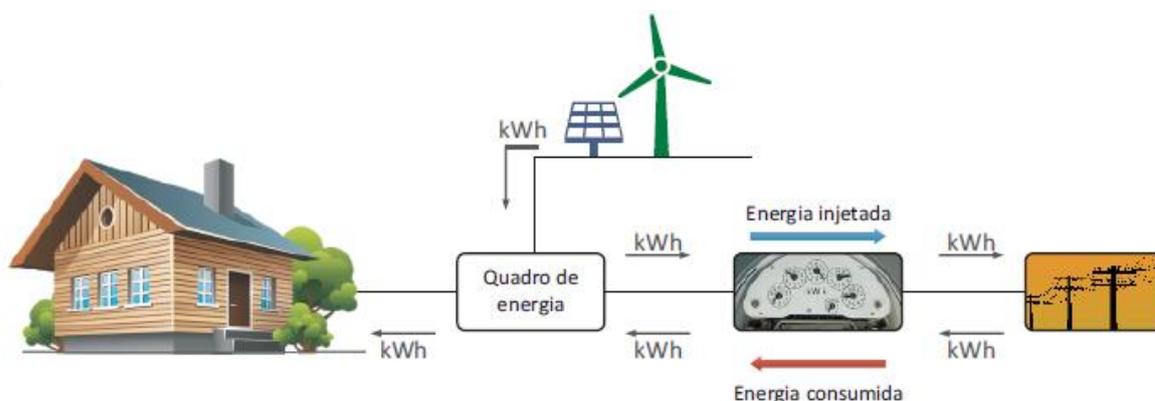


Figura 14 - Sistema de Compensação
Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2016)

2.10 Geração elétrica no Brasil

Conforme Tabela 3, em 2005 a potência instalada para geração elétrica no Brasil era de aproximadamente 93 GW, destes 71 GW eram oriundos da fonte hidráulica, o que equivale a 76,5% da potência instalada.

Tabela 3 - Matriz Energética em 2005

Fonte	Capacidade Instalada (MW)
Hidráulica	70.943
Termelétrica	19.770
Nuclear	2.007
Total	92.720

Fonte: (EPE, 2006)

Já em 2017, conforme Tabela 4, é possível observar um crescimento da potência instalada no Brasil de quase 60 GW, o que corresponde a uma elevação de mais de 60%.

Também na Tabela 4 é possível observar o aumento das fontes na matriz energética e uma redução no aproveitamento hídrico em mais de 10% em relação as demais fontes.

Tabela 4 - Matriz Energética 2017

Fonte	Capacidade Instalada (MW)
Hidráulica	98.739
Termelétrica	40.632
Eólica	10.702
Nuclear	1.990
Solar	24
Total	152.147

Fonte: (ANEEL, 2017)

Atualmente este valor de aproveitamento hídrico se encontra em 99 GW, com empreendimentos futuros que somam uma potência de 4,7 GW. Este percentual de novos empreendimentos está dividido em 156 PCH com potencial de geração de 2,1 GW, 14 UHE com potencial de geração de 2,7 GW e 43 CGH com potência de geração de 35,9 MW (ANEEL, 2017).

Cabe ressaltar que alguns destes empreendimentos futuros estão em construção, e outros com construção ainda não iniciada.

Na Tabela 5 é possível evidenciar a tendência na preferência por utilizar de PCH's para o aproveitamento hídrico. Isto tem relação direta com o impacto ambiental que usinas hidrelétricas causam, principalmente com a formação do lago e também pela possibilidade de PCH's poderem ser utilizadas para a geração distribuída (NETO; CARVALHO, 2013).

Tabela 5 - Empreendimentos hidrelétricos

Status	Tipo	Número de Empreendimentos	Potência outorgada (MW)	Potência fiscalizada (MW)
Em funcionamento	PCH	434	4.987,7	4.976,2
	CGH	613	544,5	546,5
	UHE	219	101.138,3	93.216,3
Em construção	PCH	28	370,8	
	CGH	5	8,4	
	UHE	6	1922,1	
Prevista	PCH	128	1681,2	
	CGH	38	27,5	
	UHE	8	731,5	

Fonte: Dados (ANEEL, 2017)

A tendência de crescimento para o número de empreendimentos do tipo CGH se dá em função da possibilidade, a partir da REN 481, da conexão de empreendimentos deste tipo no sistema de mini e micro geração distribuída.

Na Figura 15, retirada de EPE (2015), estão os empreendimentos hidrelétricos propostos no projeto de expansão, onde 6 das 22 usinas hidrelétricas (UHE) propostas para entrar em funcionamento até 2024, estão na bacia do Rio Piquiri e do Rio Iguçu.

Entrada em Operação		Projeto	Rio	Potência ^(a) (MW)	UF
Ano ^(b)					
2015		UHE Teles Pires	Teles Pires	1.820	PA
2016		UHE Belo Monte ^(c)	Xingu	11.233	PA
		UHE Colider	Teles Pires	300	MT
		UHE Salto Apiacás	Apiacás	45	MT
		UHE São Roque	Canoas	135	SC
2017		UHE Cachoeira Caldeirão	Araguari	219	AP
		UHE Baixo Iguaçu	Iguaçu	350	PR
2018		UHE São Manoel	Teles Pires	700	PA
		UHE Sinop	Teles Pires	400	MT
2019		UHE Itaocara I	Paraíba do Sul	150	RJ
2021		UHE São Luiz do Tapajós ^(c)	Tapajós	8.040	PA
		UHE Tabajara	Jiparaná	350	RO
		UHE Apertados	Piquiri	139	PR
2022		UHE Foz Piquiri	Piquiri	93	PR
		UHE Telêmaco Borba	Tibagi	118	PR
		UHE Ercilândia	Piquiri	87	PR
2023		UHE Comissário	Piquiri	140	PR
		UHE Paranhos	Chopim	67	PR
		UHE Jatobá	Tapajós	2.338	PA
2024		UHE Castanheira	Arinos	192	MT
		UHE Bem Querer	Branco	708	RR
		UHE Itapiranga	Uruguai	725	SC/RS
				28.349	

Figura 15 - Expansão hidrelétrica 2015 a 2024
Fonte: (EPE, 2015)

2.11 Geração Elétrica no Paraná

No ano de 2005, conforme Figura 16, o Paraná foi o maior produtor de energia elétrica da região sul e Mato Grosso do Sul, com mais de 16 MW de potência instalada. Isso se dá pelo grande potencial hidrelétrico aproveitado, tendo como principal fonte o Rio Iguaçu e Paraná. (EPE, 2006)

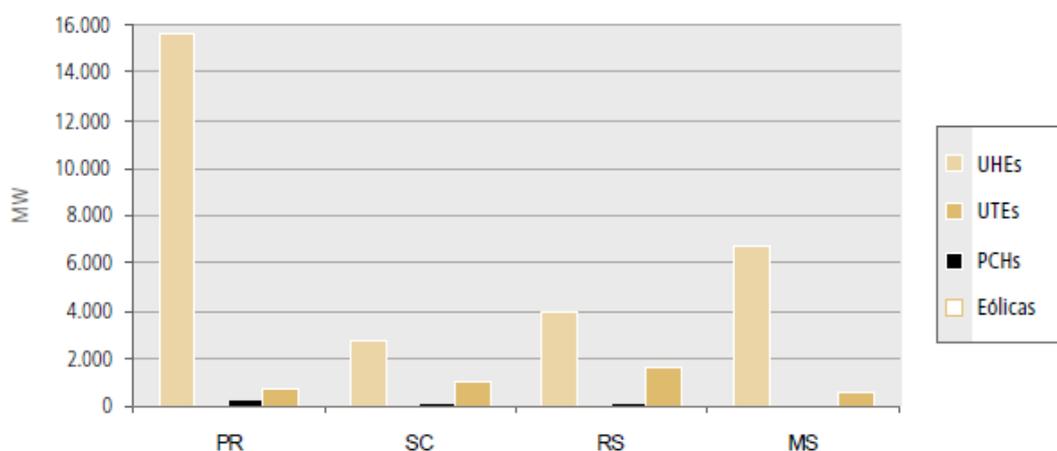


Figura 16 - Matriz energética região sul e Mato Grosso do Sul
Fonte: (EPE, 2006)

Atualmente o Paraná é responsável por 16% da geração de fonte hidráulica do país e em sua matriz a produção por fontes hidráulicas representa 90% de toda sua capacidade instalada, conforme observa-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Matriz energética do Paraná em 2017

Fonte	Capacidade Instalada (MW)
Hidráulica	15.964
Termelétrica	1.648
Eólica	2
Total	17.615

Fonte: Dados (ANEEL, 2017)

Conforme Tabela 7, é possível evidenciar que o Paraná irá dobrar o número de empreendimentos do tipo PCH, dobrando sua produção com este tipo de empreendimento hidro energético.

Tabela 7 - Empreendimentos hidrelétricos no Paraná

Status	Tipo	Número de Empreendimentos	Potência outorgada (MW)	Potência fiscalizada (MW)
Em funcionamento	PCH	29	266	274
	CGH	56	55	57
	UHE	18	15.644	15646
Em construção	PCH	3	20	
	UHE	1	350	
Prevista	PCH	16	246	
	CGH	5	5	
	UHE	4	199	

Fonte: (ANEEL, 2017)

2.12 Geração hidrelétrica no Oeste e Sudoeste do Paraná

Os rios que fazem parte das bacias do Oeste e Sudoeste do Paraná têm grande potencial energético. Nestas regiões, além dos empreendimentos já existentes, ainda há outros em processo de inicialização. (PARANÁ, 2015; ANEEL, 2017). Nestes empreendimentos futuros, se destacam principalmente de PCHs, conforme apresentado na Tabela 7.

.

.

2.13 REGIÃO OESTE E SUDOESTE DO PARANÁ

Na Figura 17 é possível ver o estado do Paraná dividido por suas mesorregiões, com destaque para o Oeste e o Sudoeste paranaense.

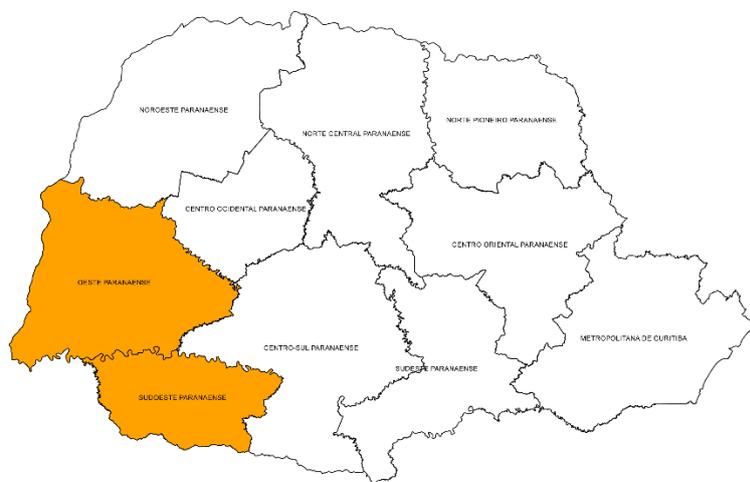


Figura 17 - Paraná com destaque para a mesorregião geográficas do Oeste e Sudoeste do Paraná

Na Figura 18 foi destacada a área de abrangência das bacias: Paraná 3, Piquiri e Iguaçu; ambas no estado do Paraná.



Figura 18 - Paraná e suas Mesorregiões
Fonte: Adaptado de (IBGE, 1990)

O impacto da produção de energia elétrica em relação ao alagamento de áreas é bastante expressivo. Considerando somente a Usina de Itaipu Binacional, esta alaga mais de 4% de toda a região Oeste, uma área de aproximadamente 1.000 Km² dos 22.800 Km² de toda a região (CASAGRANDE e SOUZA, 2013).

Ainda segundo Casagrande e Souza (2013), a redução do impacto causado pelo alagamento das áreas da região é compensada por pagamento de *royalties*, aumentando a receita da região.

2.13.1 Região Oeste do Paraná

Segundo Magalhães (1998), o Oeste do Paraná foi a última região do estado a ser colonizada, sendo este processo iniciado a partir da segunda metade da década de 1940.

Nos anos 2000, o perfil da região passou a ser mais urbano e consolidou Cascavel, Toledo e Foz do Iguaçu como as cidades pólos da região, sendo estas as microregiões do Oeste do Paraná (RIPPEL, 2005).



Figura 19 - Região Oeste do Paraná dividida por microrregiões
Fonte: sites-do-brasil.com

Ainda em relação ao desenvolvimento da região Oeste do Paraná, Rippel (2005) cita que a construção da Usina de Itaipu interferiu de modo decisivo na distribuição do espaço e da população na região, principalmente em função do lago por ela formado.

2.13.2 Região Sudoeste do Paraná

A colonização oficial (lembrando que antes era uma região já habitada pelos povos nativos, indígenas) da região sudoeste do Paraná se deu a partir de 1943, com a criação da CANGO (Colônia agrícola General Ozório), a qual tinha o objetivo de instalar famílias de agricultores na região, os quais provinham principalmente dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (ZATTA, 2016).

Um dos fatos históricos mais relevantes ocorridos no Sudoeste do Paraná ficou conhecido como Revolta dos Posseiros, de 1957. Nesta ocasião houve um embate entre colonos e jagunços para tomar posse das terras (PEGORARO, 2008).

2.14 Bacia Hidrográfica do Oeste e Sudoeste do Paraná

De acordo com a Figura 20 é possível notar que as mesorregiões paranaenses do Oeste e Sudoeste estão nas bacias hidrográficas Piquiri, Paraná 3 e Iguaçu, sendo que Cascavel é o município onde as três bacias se encontram.

A bacia do rio Paraná 3, Rio Piquiri e a bacia do rio Iguaçu somada suas áreas elas ocupam um total de 44% do território do estado do Paraná e são responsáveis por atender em 26% da demanda de recursos hídricos do estado. Esta demanda está concentrada no abastecimento humano, na indústria, na pecuária e na agricultura (SEMA, 2010).



Figura 20 - Bacias hidrográficas do estado Paraná
Fonte: (SEMA, 2010)

2.14.1 Bacia Piquiri

O rio Piquiri tem 485 quilômetros de extensão e tem como principal afluente os rios Cantu, Goio-Bang e Goioerê em sua margem direita e o rio Cobre em sua margem esquerda (SEMA, 2010).

O rio Piquiri faz a divisa da região Oeste com as regiões Noroeste e centro ocidental, sendo que na região Oeste do Paraná estão os afluentes da margem esquerda do rio Piquiri.

O uso do solo na região da bacia do rio Piquiri está concentrado principalmente na atividade agropecuária segundo SEMA (2010) e a utilização de recursos hídricos para fins de irrigação deve-se ter cuidado em relação a qualidade da água que segundo Orsatto, Hermes e Boas (2009) pode apresentar contaminantes prejudiciais principalmente para a irrigação de hortaliças.

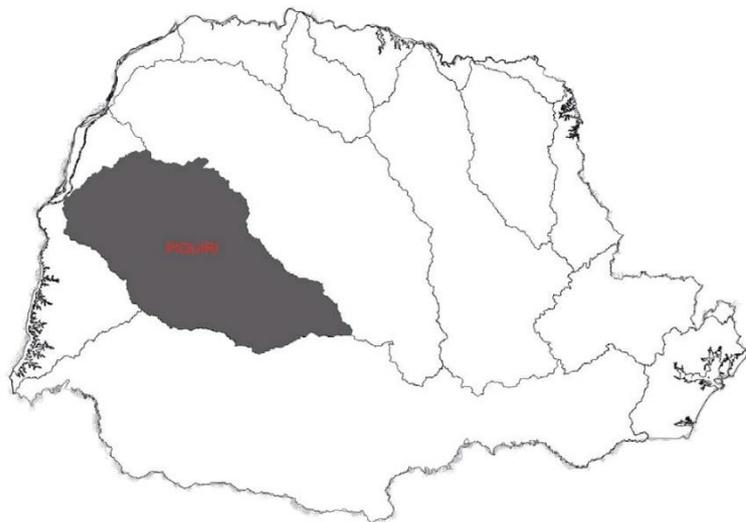


Figura 21 - Localização da bacia do Piquirí
Fonte: Adaptado de (SEMA, 2010)

2.14.2 Bacia Paraná 3

A bacia do Paraná 3 destaca-se pela usina de Itaipu na cidade de Foz do Iguaçu. Seus principais afluentes são o Rio São Francisco Verdadeiro que nasce em Cascavel, o Guaçu que nasce em Toledo, o São Francisco Falso que nasce em Céu Azul e o Ocoí que nasce em Matelândia. (SEMA, 2010).

Vale ressaltar que a bacia Paraná 3 é sequência da Bacia do Rio Paraná que tem como afluentes o Rio Tietê, Paranaíba e Paranapanema, dando grande vazão a este rio.

As margens do rio Paraná, principalmente na região delimitada da bacia do Paraná 3, sofreu grandes alterações após a inundação causada pela construção da usina hidrelétrica de Itaipu, necessitando adaptações no meio físico, social e biológico.

A maior área da bacia do rio Paraná 3 é ocupado com a classe de agricultura intensiva, sendo a cultura da soja, do trigo e do milho as principais, seguido por pastagens para criatórios de bovinos (SEMA, 2010).

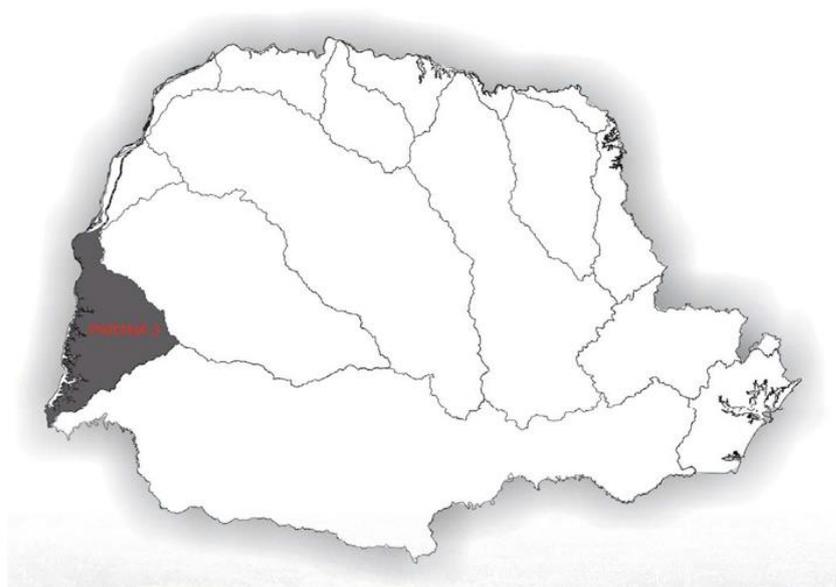


Figura 22 - Localização da Bacia Parana 3
Fonte: (SEMA, 2010)

2.14.3 Bacia Iguaçu

O aproveitamento hidrelétrico da bacia se destaca pelas usinas de Salto Santiago, de Segredo, de Salto Caxias e de Salto Osório.

O rio Iguaçu é formado pelo encontro dos rios Irai e Atuba em Curitiba, seguindo por 1320 quilômetros até desaguar no Rio Paraná. Seus principais contribuintes são o rio Atuba, Passaúna, Barigui, Verde, Passa Dois, da Várzea, Chopin, Palmital, Cavernoso, Adelaide, Gonçalves Dias, Castro Alves, Ampére e Silva Jardim (SEMA, 2010).

A bacia do Rio Iguaçu tem uma altitude de 900 metros, desde sua nascente até o Rio Paraná; e 1000 Km de extensão. Dentro do perímetro do Oeste do Paraná esta altitude cai para aproximadamente 300 metros (BAUMGARTNER, *et al.*, 2012).

A ocupação do solo é bastante diversificada, estando na área referente ao baixo Iguaçu utilização mista e uma grande faixa de cobertura florestal, sendo esta principalmente ocupada pelo parque nacional do Iguaçu sendo um dos principais atrativos turísticos do mundo (ORTIZ, MOTTA e FERRAZ, 2000).

Conforme Figura 23, a bacia do rio Iguaçu se divide em três: Alto Iguaçu, Médio e baixo Iguaçu.

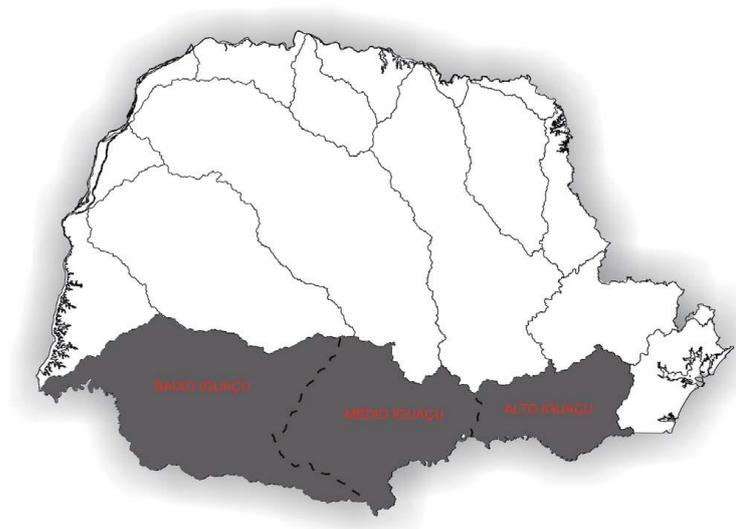


Figura 23 - Localização da Bacia do Rio Iguaçu
Fonte: (SEMA, 2010)

2.15 Sistemas de Informação Geográfica

Os sistemas de informação geográfica (SIG) são instrumentos computacionais de geoprocessamento, sendo este termo uma disciplina que denota sobre técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas (CAVALLARI, TAMAE e ROSA, 2007).

Com a utilização de tais sistemas e informações de sensoriamento remoto é possível, por exemplo, definir as bacias hidrográficas do país e as áreas de drenagem de cada bacia que é o foco principal deste trabalho.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 MATERIAL

3.1.1 Caracterização das regiões do trabalho de pesquisa

O trabalho de pesquisa foi realizado no Oeste e Sudoeste do Paraná, onde estão inseridas bacias do Rio Iguaçu, Piquiri e Paraná III.

A bacia do Rio Iguaçu é a que mais concentra empreendimentos hidrelétricos do tipo PCH's juntamente com a Bacia do Rio Ivaí. Sendo que a bacia do Rio Iguaçu é maior que a do Rio Ivaí, se levado em consideração o potencial de geração elétrica e a área repesada (KLIEMANN e DELARIVA, 2015).

A Bacia do Iguaçu é dividida em três unidades hidrográficas (PARANÁ, 2006):

A Unidade do Alto Iguaçu, que está localizada nas regiões metropolitana, sudeste e centro-oriental do Paraná.

A Unidade do Médio Iguaçu, que compreende o trecho à jusante da confluência do Rio Iguaçu e Rio Negro, no município de São Mateus do Sul, até imediatamente à jusante da foz do Rio Jordão, no município de Foz do Jordão.

A unidade do Baixo Iguaçu, que compreende o trecho à jusante da foz do Rio Jordão, até a sua foz no Rio Paraná.

Na Figura 24 é possível verificar a bacia do Rio Iguaçu e, em destaque com cor mais escura, a parte da bacia pertencente as mesorregiões do Oeste e Sudoeste do Paraná.



Figura 24 - Bacia do Rio Iguazu
Fonte: Adaptado de (SEMA, 2010)

Para este trabalho considerou-se as usinas hidrelétricas, conforme apresentado na Figura 25 que estão inseridas nas regiões Oeste e Sudoeste do estado do Paraná.

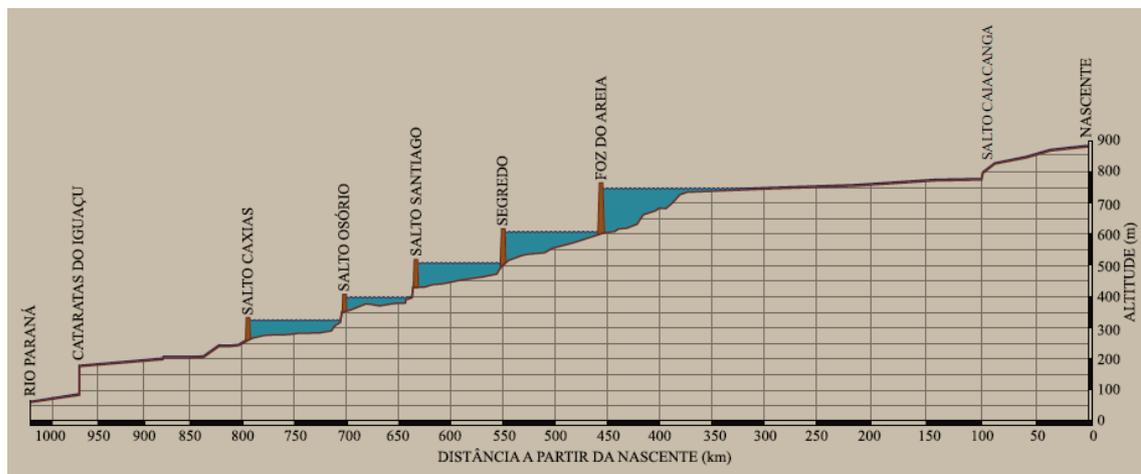


Figura 25 – Empreendimentos Hidro energéticos do Rio Iguazu
Fonte: (BAUMGARTNER, *et al.*, 2012)

Dentre os empreendimentos hidro energéticos apresentados na Figura 25, apenas a hidrelétrica Salto Caxias e Salto Santiago estão dentro das mesorregiões Oeste e Sudoeste do Paraná em operação no período considerado neste estudo.

Além das duas hidrelétricas no Rio Iguaçu e dos 10 empreendimentos de menor porte, existem pelo menos mais cinco empreendimentos para geração hidrelétrica para serem construídos ou colocados em operação, onde se destaca a construção da usina hidrelétrica do Baixo Iguaçu (COMITÊ DOS AFLUENTES DO BAIXO IGUAÇU, 2012).

A bacia do Rio Piquiri tem uma área de drenagem de 24.156 Km² no quadrilátero formado pelas coordenadas 23°38' e 25°19' de latitude sul e 51°37' e 54°07' de longitude oeste (SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HIDRICOS, 2008).

Da nascente do Rio Piquiri, entre os municípios de Turvo e Guarapuava até sua foz no rio Paraná, a diferença de altura é de 820 metros.

Dentro dos limites da região Oeste do Paraná existem apenas dois empreendimentos de geração hidro energética, que são as CGH's do Garcia e Melissa, que juntas tem uma potência instalada de 1736 KW (ANEEL, 2017).

Na Figura 26 é apresentada a bacia do Rio Piquiri com destaque para a área pertencente ao Oeste do Paraná. É possível verificar que os principais rios da Bacia não pertencem ao Oeste do Paraná e que o Rio Piquiri faz a divisa da Região Oeste com as regiões circunvizinhas.



Figura 26 - Bacia do Rio Piquiri
Fonte: Adaptado de (SEMA, 2010)

A bacia Paraná 3 está completamente inserida na mesorregião Oeste do Paraná entre as latitudes 24°01' S e 25°35' S e as longitudes 53°26' O e 54°37' O (INSTITUTO DAS AGUAS DO PARANÁ, 2014).

O lago da usina hidrelétrica de Itaipu abrange toda a bacia Paraná 3 e em função disto não existe diferença de altura da sua nascente até a barragem de Itaipu. Sendo que somente após a barragem o rio Paraná tem uma diferença de altura de 120 m (DAFTLOGIC, 2018).

Em relação à Usina de Itaipu, destaca-se o acordo internacional para a produção de energia elétrica e o aproveitamento dos recursos hídricos do rio Paraná (SEMA, 2010).



Figura 27 - Bacia Paraná 3
Fonte: (SEMA, 2010)

Além da Usina de Itaipu, existe na bacia Paraná 3 mais três empreendimentos hidro energéticos, sendo eles: a PCH Moinho, localizada no arroio Guaçu, no município de Marechal Candido Rondon; a CGH Toledo Energia Renovável; e a PCH

São Francisco, ambas localizadas no rio São Francisco Verdadeiro, no município de Toledo.

3.1.2 Aspectos hidrológicos das bacias

Os dados hidrológicos dos rios Piquiri e rio Iguaçu foram levantados através de dados das estações pluviométricas e fluviométricas que estão sobre a responsabilidade das empresas COPEL Geração e Transmissão S.A, Itaipu Binacional e ENGIE Brasil Energia, as quais forneceram os dados de suas estações próximas dos empreendimentos hidro energéticos que fazem parte do escopo deste trabalho.

Também foram utilizados dados da ANA (Agência Nacional das Águas), referente a nível e vazão do reservatório da usina de Salto Santiago.

3.1.3 Dados da carga instalada em micro e mini geração nas regiões Oeste e Sudoeste do Paraná

Os dados das cargas instaladas e demais aspectos de geração dos sistemas de micro e mini geração hidroelétrica nas regiões Oeste e Sudoeste do Paraná foram determinados por meio dos dados da Companhia Paranaense de Energia (COPEL) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Na pesquisa, não foram encontrados empreendimentos cadastrados no sistema de micro e mini geração distribuída nas regiões em questão, porém foi avaliado como está, a nível estadual e federal, a utilização de aproveitamentos hidrelétricos para a utilização no sistema de compensação de energia.

3.1.4 Dados das características dos empreendimentos hidro energéticos do Oeste e Sudoeste do estado do Paraná

Os dados referentes aos aspectos construtivos dos empreendimentos hidrelétricos do Oeste e Sudoeste do Paraná foram obtidos junto à empresa Flessak eletro industrial S/A, por meio de sua divisão de geração de energia e por empresas

proprietárias de empreendimentos hidroelétricos. Estas forneceram dados relacionados ao tipo de turbina e potência instalada. Algumas empresas não permitiram o acesso a tais informações e estas informações ficaram fora do mapa conceitual, onde estão expostas todas as informações recebidas na pesquisa.

3.1.5 Geração de Energia Elétrica por meio de empreendimentos hidroenergéticos

Sobre a geração de energia elétrica por meio de empreendimentos hidroenergéticos, foi realizado um levantamento da produção histórica de dois empreendimentos hidrelétricos dos últimos 15 anos.

Os dados levantados foram da Usina Hidrelétrica de Salto Santiago, município de Saudade do Iguaçu, na região Sudoeste do estado do Paraná, tendo como coordenadas geográficas 25°37'44"S de latitude e 52°36'52"W de longitude, estando na bacia do Rio Iguaçu. A hidrelétrica tem a segunda maior capacidade de geração do estado, com 1.420 MW de potência instalada e pertence à empresa Engie Brasil Energia S.A., a qual forneceu todos os dados para elaboração desta pesquisa.

Também foram levantados os dados da Central Geradora Hidrelétrica de Melissa, localizada no município de Nova Aurora, na Região Oeste do Paraná, tendo como coordenadas geográficas 24°35'53"S de latitude e 53°13'46"W de longitude, estando localizada na Bacia do Rio Piquiri.

Os dados da geração apresentado nos resultados e discussões deste trabalho são em MWh.

3.1.6 Mapa da distribuição dos empreendimentos hidroenergéticos no Oeste e Sudoeste do Paraná

Para a elaboração do mapa conceitual dos empreendimentos hidroenergéticos do Oeste e Sudoeste do Paraná, foi utilizado o *software* QGIS, com o auxílio de ferramentas nativas ao *software* Qgis para a inclusão das áreas de drenagem ao quadro conceitual.

A área de drenagem apresentada no mapa conceitual foi gerada a partir do processamento de cartas obtidas no banco de dados geomorfométrico do Brasil, conhecido como TOPODATA. Estas cartas são o resultado de processamento apresentado na Figura 28 e tem resolução de 30 m.

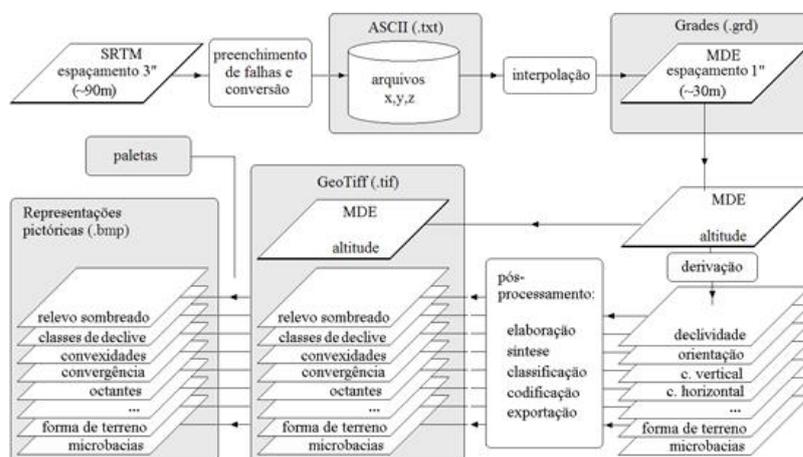


Figura 28 - Fluxograma do processo de tratamento dos dados SRTM da TOPODATA

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Determinação da quantidade de empreendimentos hidro energéticos na região Oeste e Sudoeste do Paraná

A quantificação de empreendimentos hidroelétricos na região Oeste e Sudoeste do Paraná foi apresentada dividindo-se as mesmas em seus respectivos tipos e apresentado em um gráfico de pizza, contendo o percentual de cada tipo em relação ao total.

Os dados foram extraídos em ANEEL (2017) para que os gráficos pudessem ser construídos com o auxílio do *software* Excel.

3.2.2 Determinação da carga instalada em empreendimentos hidro energéticos na Região Oeste e Sudoeste do Paraná

De forma similar ao subcapítulo 3.2.1, a potência instalada dos empreendimentos hidroenergéticos foi apresentada em um gráfico de pizza, no qual em sua parte principal estão as fatias referentes às UHE e PCHs.

Pela pequena representatividade no potencial instalado das PCHs, o percentual das mesmas foi apresentado em outro gráfico de pizza, ao lado do gráfico principal, com sua respectiva participação no total de potencial instalado. No gráfico não foi apresentado a participação percentual na carga instalada das CGHs em função de sua participação muito pequena, sendo de aproximadamente 0,1% do total de carga instalada em empreendimentos hidrelétricos nas regiões Oeste e Sudoeste do estado do Paraná.

Ainda em relação à carga instalada, foi apresentado graficamente a representatividade das cargas instaladas nos empreendimentos hidroenergéticos, por tipo, em relação ao instalado no restante do país.

3.2.3 Determinação do percentual de mini e micro geração distribuída no Oeste e Sudoeste do estado do Paraná

Sobre a determinação percentual de mini e micro geração distribuída, foi realizada uma verificação da participação de cada fonte de geração elétrica na geração distribuída e apresentado na forma de tabela.

Em relação aos dados de geração distribuída utilizando como fonte o potencial hidrelétrico, foi apresentado um gráfico de pizza com a divisão por estado da participação percentual do número de empreendimentos conectados e liberados pela ANEEL.

3.2.4 Características dos empreendimentos hidroenergéticos do Oeste e Sudoeste do Paraná

As características dos empreendimentos hidroenergéticos estão relacionadas ao tipo de turbina que o empreendimento utiliza para a geração da energia elétrica. Neste tópico foi apresentado uma relação dos empreendimentos hidroenergéticos e suas respectivas turbinas.

3.2.5 Análise de geração de energia hidrelétrica nas regiões Oeste e Sudoeste do estado do Paraná

Para a análise de geração de energia hidrelétrica, foi elaborada uma confrontação da geração de energia elétrica em relação aos aspectos hidrológicos dos rios que contribuem para o potencial hidráulico de geração das usinas pesquisadas.

O objetivo desta análise é gerar uma estimativa da geração futura ou de vida do empreendimento hidrelétrico, utilizando o Método dos Mínimos Quadrados (MMC) para determinação da tendência de geração dos empreendimentos hidrelétricos nos locais da análise. Para isso utilizou-se da metodologia proposta por Klein, et al.(2011), o qual afirma que o MMC é o método matemático mais utilizado para o ajustamento de informações.

Por ter uma grande dispersão de dados em função da sazonalidade das variáveis hidrológicas que por consequência gera dispersão nos dados de produção, realizou-se um filtro de dados, utilizando somente para a apresentação gráfica de tendências, os que ficam dentro do segundo e quarto quartil do gráfico de bloxplot são os valores que representam a dispersão (NETO, *et al.*, 2017).

Após a análise gráfica dos dados utilizando o gráfico bloxpot, foi gerado um gráfico de linha com os valores válidos (entre o segundo e quarto quartil), gerando assim a linha de tendência tanto no gráfico da produção, como no gráfico das variáveis hidrológicas.

3.2.6 Elaboração de mapa conceitual

Para a determinação da rede de drenagem foram utilizados Modelos Digitais de Elevação (MDE) de trinta metros de resolução espacial, obtidos da base de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio da plataforma TOPODATA. Todo o processamento de dados foi realizado no *software* QGIS 2.14. Inicialmente as cenas passaram por um processo de união, de modo a abranger toda a área de interesse. Em seguida foram convertidas para uma projeção plana, a fim de dar continuidade no processamento destas. Posteriormente foram submetidas a um processo de filtragem, para remover depressões espúrias do MDE, utilizando o processo *r.fill.dir*, do módulo GRASS. Em seguida foram extraídos os canais de drenagem com o processo *r.watershed*, sendo estes posteriormente convertidos para o formato vetorial (*shapefile*) para após se proceder com a confecção do mapa, utilizando o compositor de impressão, contendo os demais dados apresentados, como a localização geográfica dos empreendimentos hidrelétricos. A Figura 29 apresenta o fluxograma correspondente às etapas do processamento de dados para obtenção da rede de drenagem.

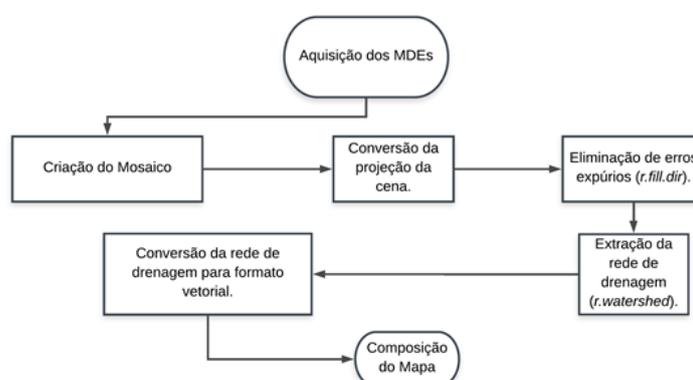


Figura 29 - Processamento de dados para extração dos canais de drenagem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 QUANTIDADE E A CARGA INSTALADA EM EMPREENDIMENTOS HIDROENERGÉTICOS NO OESTE E SUDOESTE DO PARANÁ

4.1.1 Quantidade de empreendimentos hidroenergéticos no Oeste e Sudoeste do Paraná

A partir da pesquisa dos dados disponibilizados pela ANEEL, verificou-se que em operação na região Oeste e Sudoeste do Paraná existem dezoito empreendimentos hidroenergéticos. Destes, três são do tipo UHE, quatro são PCH's e onze são CGH.

Na Figura 30 é possível verificar que nas regiões Oeste e Sudoeste do Paraná existe uma predominância de empreendimentos de menor porte (CGH) com 61% do total de empreendimentos sendo deste tipo. As UHE's são as menos representativas em relação ao número de empreendimentos com apenas 16,7% do total de empreendimentos hidroenergéticos e estas estão situadas nos rios principais das bacias, seguido pelas PCHs com 22,2% dos empreendimentos em operação nas regiões.

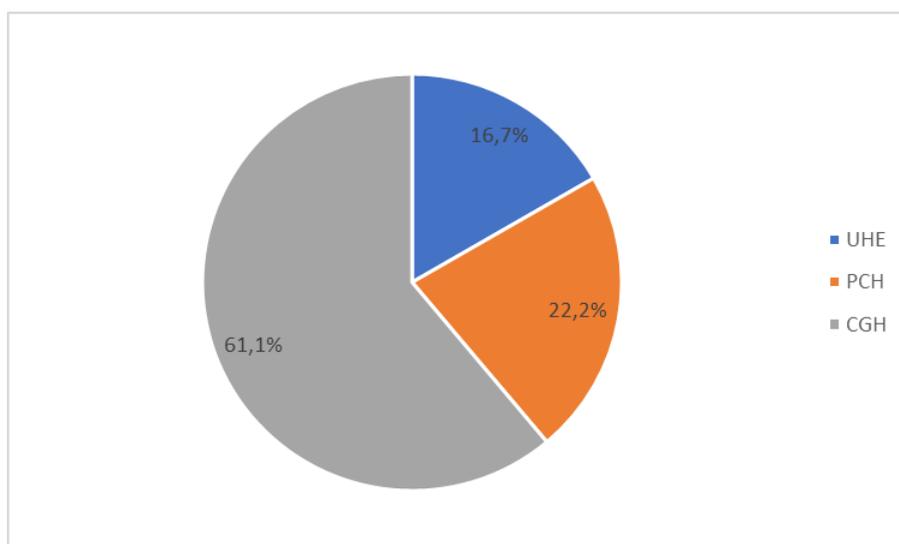


Figura 30 - Divisão percentual dos tipos de empreendimentos hidroenergéticos no Oeste e Sudoeste do Paraná

4.1.2 Carga Instalada em empreendimentos hidro energéticos no Oeste e Sudoeste do Paraná

As cargas instaladas nestes empreendimentos somam 16.722 MW, sendo que 99,6% desta potência está instalada em empreendimentos do tipo UHE.

A Figura 31 apresenta a divisão percentual das UHE e PCH existentes nas regiões Oeste e Sudoeste do Paraná, onde é perceptível que a Usina de Itaipu é a que tem a maior representatividade em relação ao potencial instalado, com 83,77% do total instalado, seguido pela usina de Salto Santiago com 8,5% e Governador José Richa com 7,42%.

As usinas do tipo PCH representam apenas 0,3% da potência instalada e estão separadas do gráfico principal da Figura 31 para que possam ser melhor visualizados.

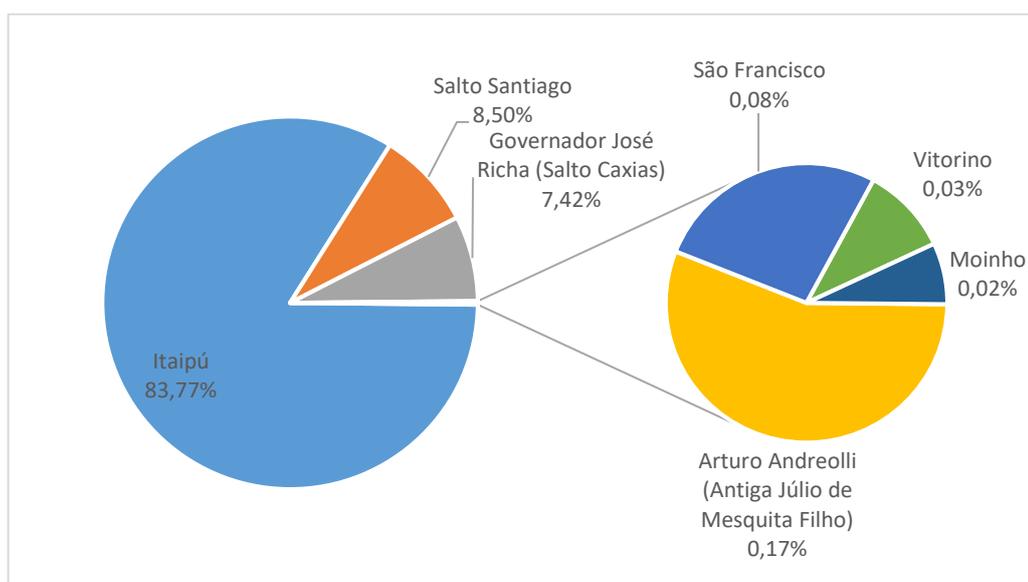


Figura 31 -Distribuição das potências nas UHE e PCH

A potência instalada nos empreendimentos hidrelétricos do Oeste e Sudoeste do estado do Paraná representam 16,6% de toda potência instalada para aproveitamento dos recursos hídricos para geração de energia elétrica no Brasil.

Na Figura 32 são apresentados os percentuais da potência instalada nas regiões Oeste e Sudoeste do Paraná em relação aos demais empreendimentos

instalados no restante do país. Vale lembrar que a representatividade do território do Oeste e Sudoeste do Paraná em relação ao restante do país é de 0,4%.

Conforme apresenta a Figura 32, nas regiões Oeste e Sudoeste do Paraná está instalado 17,6% de todo potencial instalado no Brasil em UHE. O principal empreendimento que contribui para este número é a usina de Itaipu que tem sua área de drenagem bastante grande tendo como rios contribuintes por exemplo o Rio Tietê que praticamente cruza de leste a oeste o estado de São Paulo.

Em relação as PCHs e CGHs este percentual cai bastante, porém em relação a representatividade das regiões Oeste e Sudoeste e o restante do país faz com que ainda estas regiões estejam acima da média em relação a empreendimentos em operação, sendo 1,7% em CGHs e 1% em PCHs.

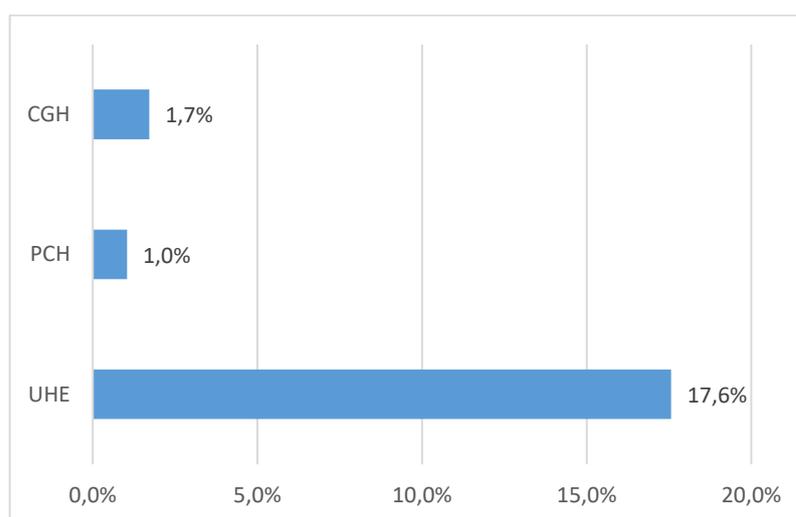


Figura 32 - Potência instalada em empreendimentos na região Oeste e Sudoeste do Paraná em relação ao total instalado no Brasil

4.2 MICRO E MINI GERAÇÃO HIDROELÉTRICA NO OESTE E SUDOESTE DO PARANÁ

A utilização de potencial hidroelétrico para geração distribuída é algo bastante recente, sendo a modalidade com menor número de conexões até o ano de 2017, conforme

Tabela 8. Os dados foram extraídos do site da ANEEL, geração distribuída no dia 22 de fevereiro de 2018.

Tabela 8 - Unidades Consumidoras com geração Distribuída

Tipo	Quantidade	Quantidade de UCs que recebem créditos	Potência Instalada (kW)
CGH	40	6.160	40.691
EOL	53	96	10.286
UFV	22.844	26.152	196.081
UTE	82	224	24.271

Apesar de já existirem 40 conexões de geração distribuída no Brasil se utilizando de aproveitamentos hidrelétricos, nenhuma destas está localizada no estado do Paraná, sendo que a grande maioria das conexões, 55%, se deu no estado de Minas Gerais, seguido pelo estado do Mato Grosso com 15% e Santa Catarina com 10%, conforme apresentado na Figura 33. Ainda segundo a Figura 33 dos 26 estados brasileiros apenas sete estados têm empreendimentos de pequeno porte conectados à rede seguindo a resolução 418 da ANEEL.

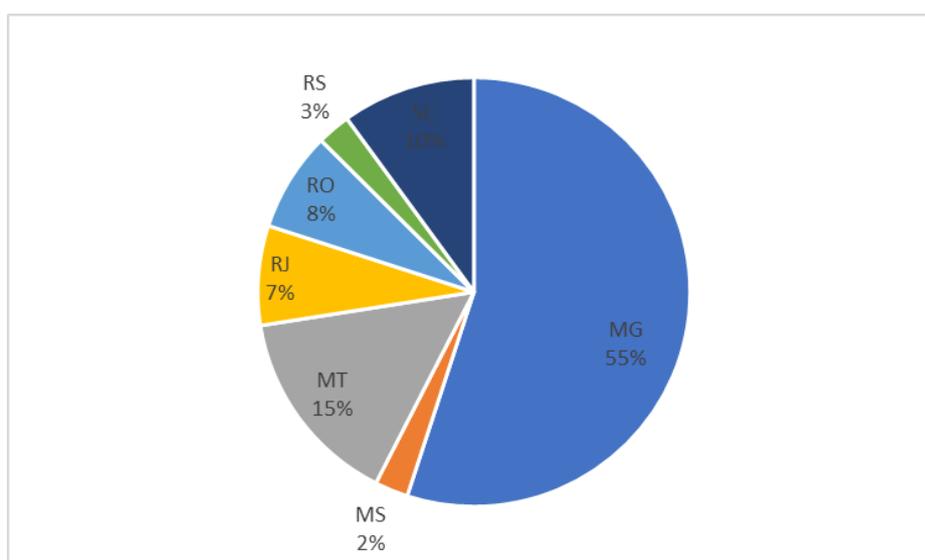


Figura 33 - Divisão percentual dos empreendimentos de mini e micro geração distribuída se utilizando do potencial hidrelétrico

4.3 CARACTERÍSTICAS DOS EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS NA REGIÃO OESTE E SUDOESTE DO PARANÁ

As turbinas utilizadas nas UHE de Itaipu, Salto Santiago e Salto Caxias são do tipo Francis. A Usina de Itaipu utiliza 20 unidades de 700 MW cada.

Uma unidade geradora instalada na usina de Itaipu é capaz de atender a necessidade de energia elétrica para cerca de 1,5 milhões de pessoas (ITAIPÚ, 2017).

As usinas de Salto Santiago e de Salto Caxias utilizam as mesmas turbinas da usina de Itaipu, porém com aproximadamente a metade da potência individual, sendo 355 e 310 MW respectivamente. As duas usinas têm 4 unidades de geração cada uma.

As quatro PCHs em funcionamento nas regiões Oeste e Sudoeste do Paraná da mesma forma que as UHE utilizam turbinas do tipo Francis.

Em relação as CGH que tem quedas d'água bem menores que as UHE e PCH, já utilizam predominantemente as turbinas do tipo Kaplan. A única exceção em relação a isto é a CGH Melissa, a qual tem uma queda bruta de 15,2 metros.

Em bora este trabalho tenha se baseado nos empreendimentos operacionais apresentados pela ANEEL, em um deles, o qual foi visitado, não se encontra em operação a alguns anos. Em entrevista a populares moradores da vizinhança da CGH do Garcia, localizada no município de Assis Chateaubriand, com coordenadas geográficas 24°25'6"S de latitude e 53°29'44"W de longitude. Este fato demonstra que para que se tenha dados confiáveis deve-se além de procurar no banco de dados da ANEEL se faz necessário uma visita aos empreendimentos hidrelétricos para verificar se os mesmos apresentam as características apresentadas pela ANEEL.

Na Figura 34 é perceptível o estado de abandono da CGH do Garcia com fotos feitas no momento da visita no mês de fevereiro de 2018.



Figura 34 - Fachada CGH do Garcia

Na Figura 35 foi feita uma imagem onde é possível visualizar as duas turbinas do tipo Francis de eixo horizontal instaladas na usina do Garcia na cidade de Assis Chateaubriand.



Figura 35 - Turbinas CGH do Garcia

4.4 PRODUÇÃO DOS EMPRENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS E SUAS TENDÊNCIAS

4.4.1 Bacia do Rio Iguaçu

Na bacia do Rio Iguaçu foi avaliado a usina de Salto Santiago em relação a sua produção e dados hidrológicos.

Na Figura 36 é possível perceber que em aproximadamente 60% de todo período de janeiro de 2003 a dezembro de 2017 a vazão de afluência do Rio Iguaçu manteve valores entre 500 e 750 m³/s.

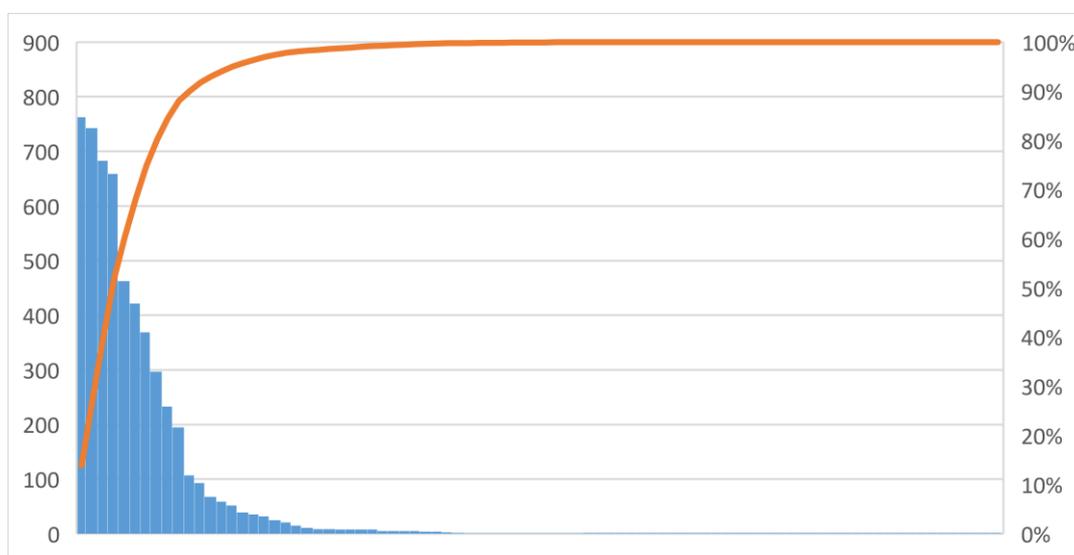


Figura 36 - Gráfico de Pareto da vazão de afluência da usina de Salto Santiago

Na Figura 37 é apresentado o gráfico *boxplot* com os valores válidos (entre o segundo e o quarto quartil) para gerar o gráfico da vazão de afluência histórica da usina de Salto Santiago que está apresentado Figura 38.

Percebe-se que existem muitos valores acima do limite superior, conhecidos como *outliers* e representam valores atípicos, possivelmente gerados pelo excesso de chuvas na bacia em um curto período. Dentro os *outliers* o valor mais elevado ocorreu no dia 08/06/2014 com uma vazão de 15397,06 m³/s.

Os valores entre o terceiro e o primeiro quartil que foram utilizados para a definição da tendência das vazões, conhecidos como intervalo interquartil, são de

1354,06 m³/s e 662 m³/s. Os valores interquartílicos são os valores que podem ser utilizados para a representação do intervalo estudado. Estes valores são superiores ao apresentado por SEMA (2010) que apresenta a vazão do Rio Iguaçu com média de vazão de 291 m³/s.

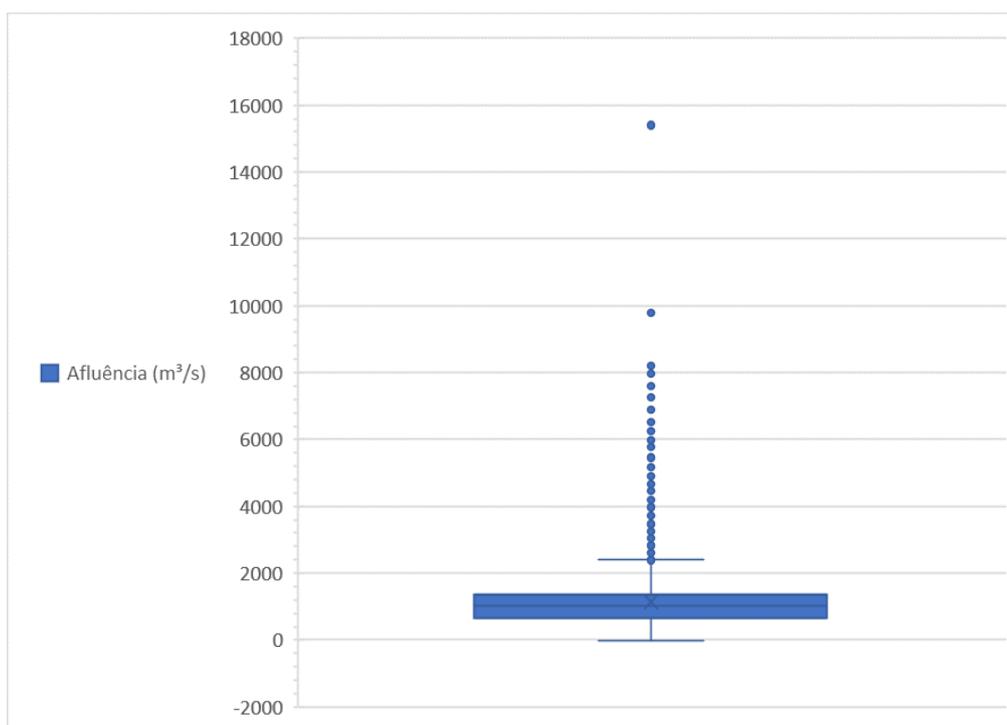


Figura 37 - Gráfico de *boxplot* da vazão de afluência da Usina de Salto Santiago em m³/s

A Figura 38 é a apresentação gráfica da vazão de afluência histórica da usina de Salto Santiago considerando somente os valores interquartílicos apresentados na Figura 37. Nela é perceptível, pela linha de tendência, uma elevação gradual da vazão no Rio Iguaçu. O valor mediano da vazão é de 1026,95 m³/s.

A elevação da vazão pode ser considerada desprezível, pois o fator multiplicativo da expressão da linha de tendência (R^2) na Figura 38 é de 0,0616, ou seja, para que a expressão apresentada na figura represente a variação da vazão deveria ter um valor de R^2 próximo a 1.

Outro fator que permite desconsiderar a tendência do aumento da vazão é que na metade direita da Figura 38 vazão se mantém por várias amostras acima de

uma vazão de 1.000 m³/s, diferente do que acontece se observada a parte esquerda da figura.

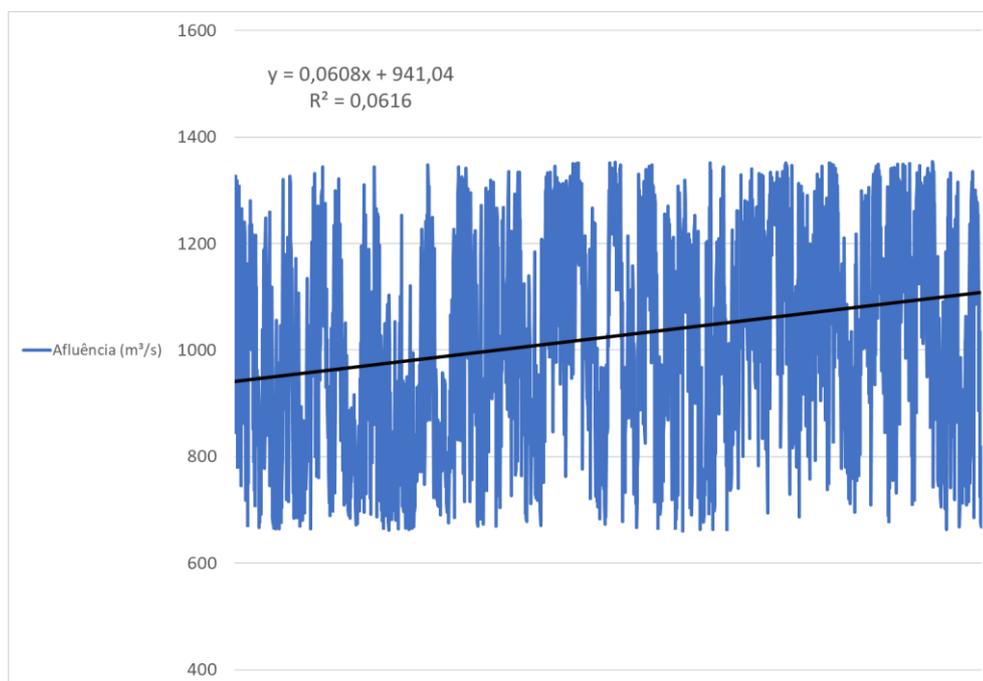


Figura 38 - Histórico da vazão de afluência da usina hidrelétrica de salto Santiago no período de 2003 a 2017.

Na Figura 39 é apresentado o gráfico de *boxplot* da produção mensal da energia elétrica da usina de Salto Santiago entre os anos de 2003 e 2017. Para que no momento de análise da produção histórica se tenha uma menor dispersão dos dados, foram utilizados somente os valores que estão entre 756.796 MWh e 458.781 MWh por mês, que é o intervalo interquartilico e representa os valores válidos.

Na Figura 39, diferente da Figura 37, não existem *outliers* em função de processo operacionais da usina que permite que a mesma produza com mais regularidade, sendo sua oscilação na produção menor que a oscilação da vazão da água na entrada do empreendimento hidrelétrico, que é um dos grandes pontos positivos deste tipo de geração de energia elétrica.

Em bora os valores que representam a variação da produção estão entre 756.796 MWh e 458.781 MWh por mês a produção real teve uma variação de 63.042,01 MWh até 990.126,91 MWh por mês.

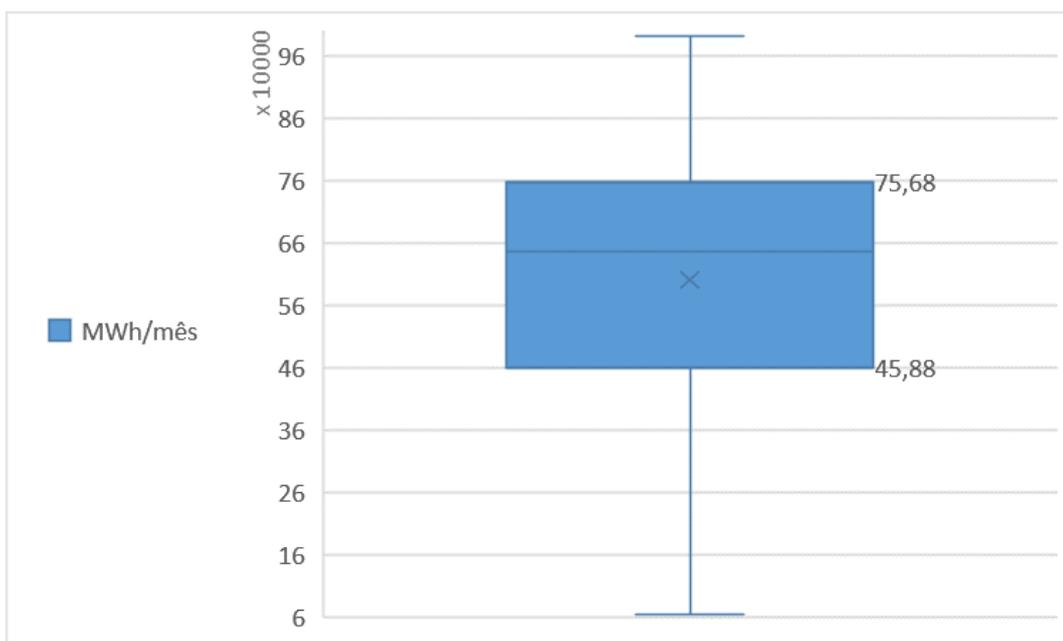


Figura 39 - *Boxplot* da produção da usina de Salto Santiago entre os anos de 2003 e 2017 em MWh por mês

Na Figura 40 é perceptível uma tendência de aumento da produção de energia elétrica da usina Salto Santiago, seguindo a tendência de aumento das vazões do rio Iguaçu, apresentado na Figura 38.

Similar ao apresentado na Figura 38, na Figura 40 é exibida uma produção de energia elétrica com maior regularidade e acima do valor mediano de 645.250 MWh na metade direita do gráfico.

O fato da vazão de afluência e da produção histórica da usina de Salto Santiago ter se mantido acima da média nos últimos sete anos é um fator que fez com que as linhas de tendência das duas estimativas fossem positivas. Está maior média de produção e vazão de afluência se deu principalmente entre os anos de 2010 e 2013. E em função disto realizando uma análise mais crítica dos valores históricos de vazão e produção de energia elétrica é possível verificar uma manutenção tanto da vazão do Rio Iguaçu como da produção da usina de Salto Santiago, tendo médias maiores e menores em diferentes anos.

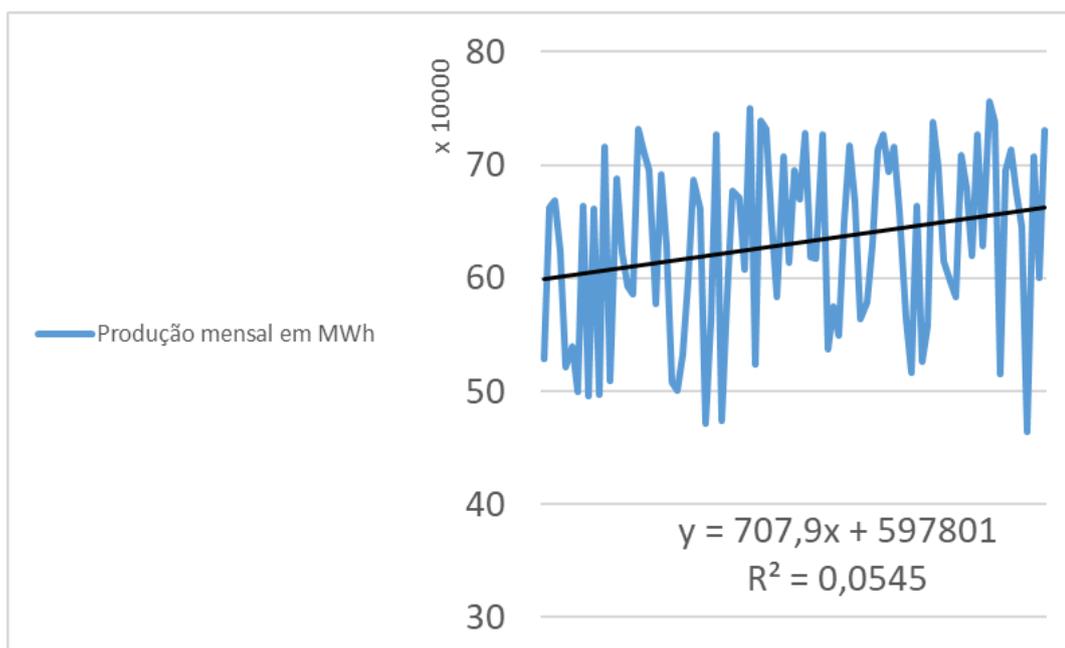


Figura 40 - Histórico de Produção mensal de 2003 - 2017 da usina Salto Santiago em MWh

A usina de Salto Santiago está mais próxima da foz do rio Iguaçu do que a sua nascente, em função disto as vazões de afluência da usina sofrem influência de toda área de drenagem da bacia do Alto Iguaçu e médio Iguaçu o que nos permite estimar que as vazões a jusante da usina do rio Iguaçu são mantidas nos últimos 15 anos.

4.4.2 Bacia do Rio Piquiri

Em relação à vazão de afluência da usina Melissa, localizada na cidade de Nova Aurora, foi realizado o mesmo processo para obtenção da linha de tendência da utilizada na usina de Salto Santiago.

Na Figura 41 é possível verificar alguns *outliers* ou valores atípicos que chegaram até uma vazão de 67,41 m³/s e os valores que foram utilizados para a geração da tendência da vazão que estarão entre 14,5 e 8,96 m³/s que são os valores obtidos através da Figura 41.

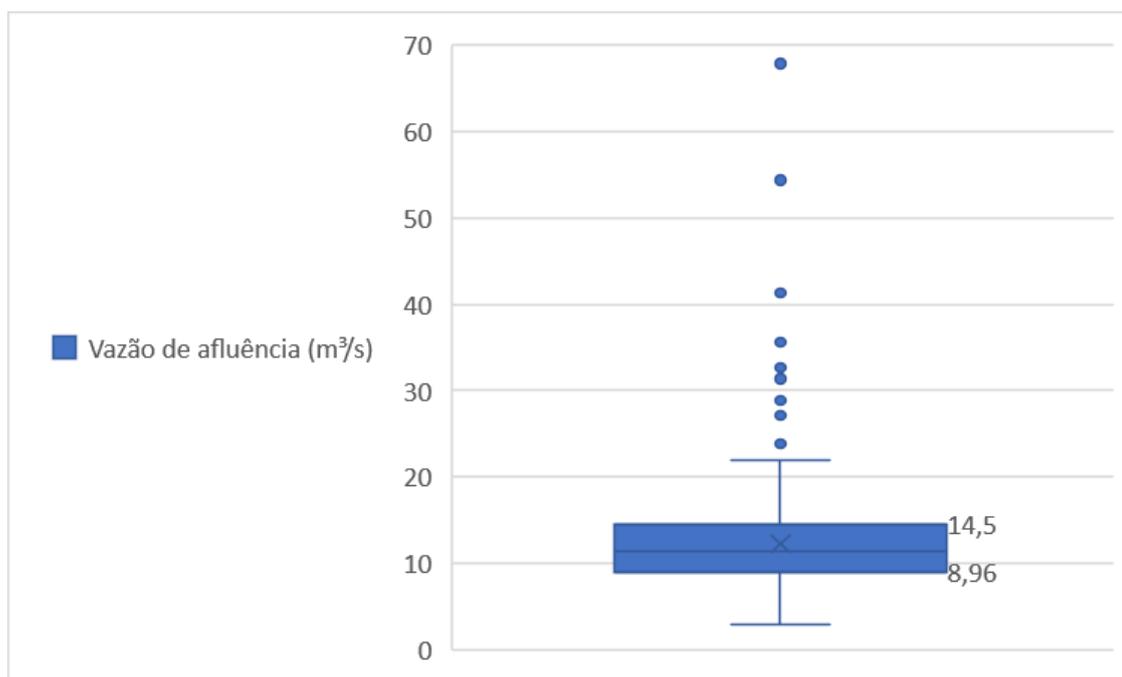


Figura 41 - Gráfico *boxpot* dos dados de vazão de afluência diária da usina Melissa no período de 2003 a 2017

É notável uma pequena na vazão de afluência queda quando avaliado em função da regressão linear apresentado na Figura 42. Embora exista uma tendência de redução na vazão de afluência da usina Melissa, a expressão que representa esta tendência tem fator multiplicativo de 0,084 tornando desprezível esta variação de vazão considerando uma vazão na entrada da usina Melissa constante durante o período de 2003 a 2017.

A distância linear da usina de Melissa até o início da sua área de drenagem no município de Cascavel, é de aproximadamente 46 km e isto pode ser o motivo da grande sazonalidade na vazão em função da pequena área de contribuição para a vazão do rio.

O histórico das vazões é apresentado na Figura 42 e tem como valor mediano 11,4 m³/s e variando entre máxima e mínima vazão nos valores de 8,96 m³/s e 14,5 m³/s.

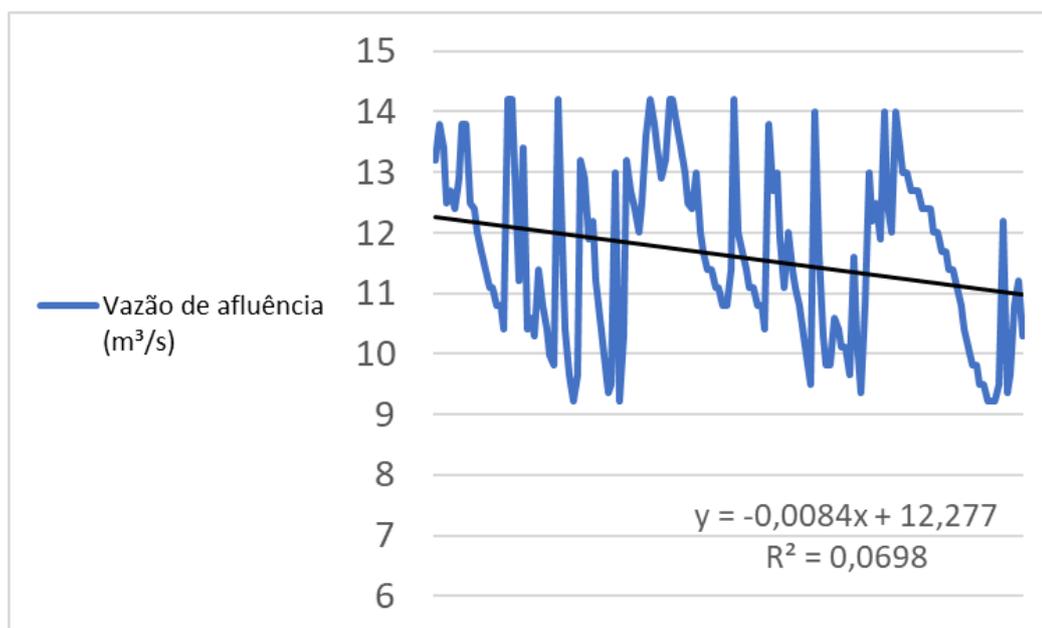


Figura 42 - Histórico vazão de afluência diárias em m³/s da usina Melissa e sua tendência linear

Na Figura 43 é apresentado o gráfico de *boxplot* da produção histórica da usina Melissa em MWh por mês do período de 2003 a 2017.

É perceptível na Figura 43 alguns *outliers* que apresentam valores muito baixos e até um negativo que pode ter sido gerado por algum erro aleatório ou grosseiro conforme define a metrologia, no momento da leitura dos mesmos ou até mesmo no momento de transferi-los para a planilha eletrônica.

Os *outliers* apresentados na figura são quatro: -6,55, 22,43, 71,083 e 136,156 MWh em um universo de 180 medidas.

Para o restante do estudo da produção da usina de salto Melissa serão utilizados como referência os valores de produção entre 408,236 MWh/mês até 567,547 MWh/mês que são os valores interquartílico e representam a variação de produção histórica da usina.

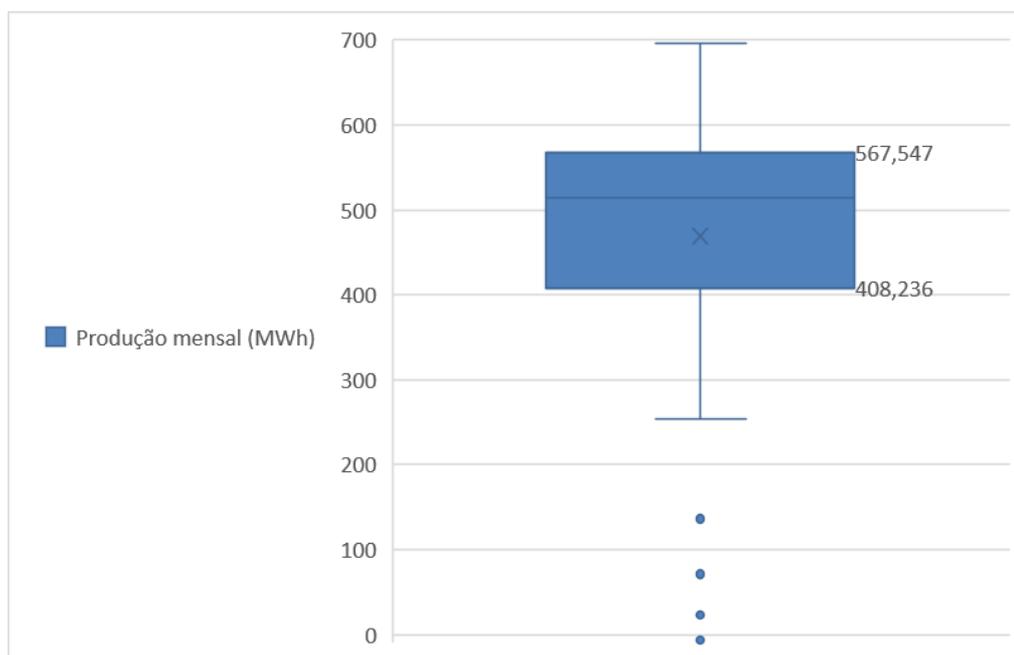


Figura 43 - Gráfico de *Boxplot* da produção histórica de 2003 a 2017 em MWh por mês

A produção em MWh por mês na usina Melissa de propriedade da Copel, segue uma tendência de crescimento utilizando como referência uma linha de tendência linear apresentada na Figura 44. Embora o valor apresentado na figura seja baixo (0,2355) é positivo, diferente do fator apresentado na Figura 42 que é negativo. Isto pode se dar ao fato da usina Melissa utilizar turbinas do tipo Francis que mantem uma eficiência praticamente constante com a variação da vazão e faz um aproveitamento melhor da energia cinética da água em movimento para a produção da energia elétrica.

Mesmo a tendência sendo positiva em relação a produção histórica de energia elétrica e negativa no que diz respeito a vazão de afluência da usina Melissa, as mesmas mostram uma inclinação muito pequena. Isto demonstra que as variações históricas de vazão e produção permanecem praticamente constantes durante o período de amostragem.

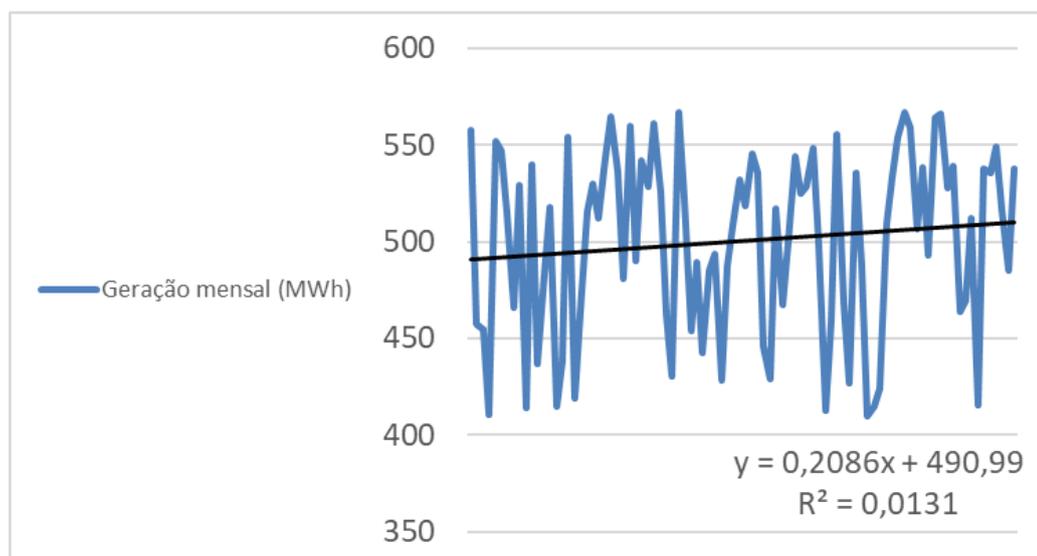


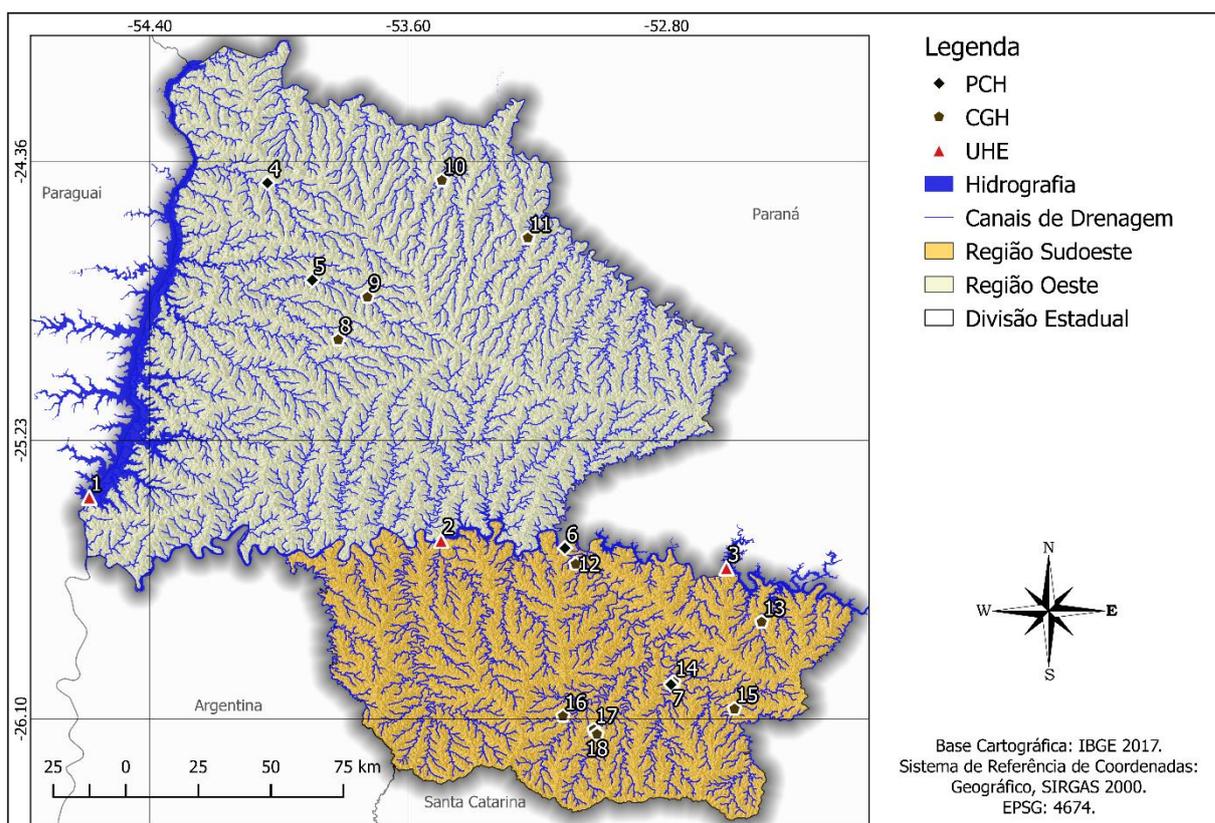
Figura 44 - Produção Usina Melissa entre 2003 e 2017 em MWh e sua tendência

4.5 MAPA CONCEITUAL DA DISTRIBUIÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS HIDROENERGÉTICOS

A Figura 45 apresenta o mapa com a distribuição dos empreendimentos hidrelétricos subdivididos por seus tipos. Embora a área de drenagem não representa necessariamente a existência de rios naquele local, pode-se verificar um pequeno aproveitamento do potencial regional.

Na bacia do rio Iguaçu, rio este que faz a divisa das regiões Oeste e Sudoeste do Paraná, não é aproveitado para o aproveitamento hidrelétrico na parte pertencente a mesorregião Oeste do Paraná, sendo estas localidades a serem estudadas para implantação de aproveitamentos hidrelétricos.

Em todos os empreendimentos em que se teve acesso ao tipo de turbina utilizado, nota-se que nas regiões Oeste e Sudoeste do Paraná se utiliza turbinas do tipo Francis para as UHE e PCH e do Tipo Kaplan para empreendimentos com menores que da d'água.



Nº	Nome	Tipo	Bacia	Rio	Município	Microregião	Tipo Turbina	Potência Total (kW)
1	Itaipú	UHE	Paraná 3	Paraná	Foz do Iguaçu	Foz do Iguaçu	Francis	14000000
2	Governador José Richa (Salto Caxias)	UHE	Iguaçu	Iguaçu	Capitão Leonidas Marques	Cascavel	Francis	1240000
3	Salto Santiago	UHE	Iguaçu	Iguaçu	Saudade do Iguaçu	Pato Branco	Francis	1420000
4	Moinho	PCH	Paraná 3	Arroio guaçu	Marechal Candido Rondon	Toledo	Francis Eixo Horizontal	3700
5	São Francisco	PCH	Paraná 3	São Francisco Verdadeiro	Toledo	Toledo	Francis horizontal	14000
6	Arturo Andreolli (Antiga Júlio de Mesquita Filho)	PCH	Iguaçu	Chopim	Cruzeiro do Iguaçu	Francisco Beltrão	Francis Vertical	29072
7	Vitorino	PCH	Iguaçu	Vitorino	Itapejara D'Oeste	Pato Branco		5280
8	Padovani	CGH	Iguaçu	Central	São Pedro do Iguaçu	toledo		411
9	Toledo Energia Renovável	CGH	Paraná 3	São Francisco Verdadeiro	Toledo	Toledo		900
10	do Garcia	CGH	Piquiri	Alívio	Assis Chateaubriand	Toledo	Francis	736
11	Melissa	CGH	Piquiri	Melissa	Nova Aurora	Cascavel	Francis horizontal	1000
12	Generoso	CGH	Iguaçu	Chopim	Cruzeiro do Iguaçu	Francisco Beltrão		3000
13	Salto São Luiz	CGH	Iguaçu	Chopimzinho	Chopimzinho	Pato Branco		323
14	Chopim I	CGH	Iguaçu	Chopim	Itapejara D'Oeste	Pato Branco	Kaplan	1980
15	Salto da Alemoa	CGH	Iguaçu	Chopim	Coronel Vivida	Pato Branco	Kaplan	828
16	Dario	CGH	Iguaçu	Quatorze	Francisco Beltrão	Francisco Beltrão		450
17	de Cima	CGH	Iguaçu	Marmeleiro	Marmeleiro	Francisco Beltrão		240
18	do Park	CGH	Iguaçu	Marmeleiro	Marmeleiro	Francisco Beltrão		400

Figura 45 - Mapa com a distribuição dos empreendimentos Hidro energéticos no Oeste e Sudoeste do Paraná juntamente com sua caracterização

Como é possível observar pela representação da área de drenagem das regiões Oeste e Sudoeste do Paraná, ainda há potencial a ser explorado próximo a Foz do Rio Iguaçu e na bacia do Rio Piquiri.

Hoje existe pelo menos a intenção de instalação de três empreendimentos do tipo UHE dentro da região Oeste do Paraná, no Rio Piquiri (EPE, 2015). Também estão previstos novos empreendimentos de menor porte nos rios afluentes.

5. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados permitem concluir que o aumento da demanda de energia elétrica crescerá de forma linear nos próximos anos, necessitando que a matriz energética esteja preparada para absorver tal demanda. Embora esta matriz se diversifique com o passar dos anos, as hidrelétricas ainda são fundamentais em função da estabilidade que gera no sistema elétrico.

O Oeste e Sudoeste do Paraná tem expressivo aproveitamento hidrelétrico em relação ao aproveitamento existente nas demais regiões do país com mais de 16% do total da potência instalada, denotando grande observância destes aproveitamentos, pois problemas em relação à geração nestas regiões podem significar problemas no sistema em todo o Brasil. A principal fonte da geração hidrelétrica no Oeste e Sudoeste do Paraná é proveniente da usina de Itaipu, a qual detém 84% de todo potencial instalado nas regiões Oeste e Sudoeste do Paraná.

Existem ainda alguns aproveitamentos hidrelétricos a serem instalados nas regiões Oeste e Sudoeste do Paraná, com destaque para as UHE que entrarão em funcionamento ou serão instaladas nos rios Iguaçu e Piquiri. Porém as duas regiões podem, em função do seu potencial hidrelétrico, instalar PHCs ou CGHs para serem conectadas à rede no formato da resolução 412 da ANEEL, reduzindo custos com energia elétrica para seus proprietários, além de colaborar com a matriz energética brasileira e sua estabilidade. Estas possibilidades podem ser verificadas no mapa conceitual, mostrando uma ideia de toda área de drenagem de água das regiões Oeste e Sudoeste do Paraná.

Considerando a análise temporal das vazões da usina de Salto Santiago na bacia do rio Iguaçu e a usina Melissa localizada na bacia do rio Piquiri podemos concluir que nos últimos quinze anos não houve uma mudança significativa em relação a estas vazões, tendo a mantê-las praticamente inalteradas se considerarmos as expressões geradas nos gráficos que representam a tendência das vazões dos rios pertencentes aquelas bacias.

Analisando também a produção de energia elétrica destas duas usinas é possível concluir que as mesmas estão mantendo sua produção com uma leve tendência de elevação que acompanha as vazões dos rios.

É evidente a importância das regiões Oeste e Sudoeste do Paraná quando se verifica o percentual da carga instalada nestas regiões em relação ao restante do país. Da mesma forma pode-se verificar pelo mapa conceitual aproveitamentos de menor porte podem ser instalados elevando ainda mais a participação das regiões Oeste e Sudoeste do Paraná na matriz energética brasileira.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 482 de 17 de abril de 2012**. Brasília, p. 12. 2012.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 673 de 4 de Agosto de 2015**. Brasília. 2015.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 687 de 24 de Novembro de 2015**. Brasília, p. 25. 2015.

ANEEL. **Caderno Temático ANEEL. Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Brasília, p. 34. 2016.

ANEEL. BIG - Banco de Informações de Geração, 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 29 Maio 2017.

BAUMGARTNER, G. et al. **Peixes do Baixo Rio Iguaçu**. Maringá: Eduem, 2012. ISBN 978-85-7628-586-1. Disponível em: <<http://static.scielo.org/scielobooks/sn23w/pdf/baumgartner-9788576285861.pdf>>. Acesso em: 31 Julho 2017.

BENEVOLO, N. Diretrizes para o projeto de barragens de concreto. **IX Seminário Nacional de Grandes Barragens**, Rio de Janeiro, Novembro 1973.

BLOIS, D. et al. Silvicultura: Cenários Prospectivos para Geração de Energia Elétrica. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - GeAS**, v. 6, p. 140 -159 , Janeiro 2017. ISSN 316-9834.

CAMPOS, S. R. M.; SILVA, V. D. P. D. A efetividade do estudo de impacto ambiental e do licenciamento em projetos de usinas hidrelétricas. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 41, p. 1-14, março 2012. ISSN 1678-6343.

CASAGRANDE, A. E.; SOUZA, E. B. C. Do planejamento ao ordenamento territorial: Estudo da região Costa Oeste do Paraná. **Raega**, Curitiba, v. 28, p. 67-85, 2013. ISSN 2177.

CAVALLARI, R. L.; TAMAE, R. Y.; ROSA, A. J. A importância de um sistema de informações geográficas no estudo de microbacias hidrográficas. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 11, Junho 2007. ISSN 1677-0293.

COIMBRA, P.; TIBÚRCIO, J. A. M. **Geografia: Uma análise do Espaço Geográfico**. 1. ed. São Paulo: Harbra, 1995.

COMITÊ DOS AFLUENTES DO BAIXO IGUAÇU. **Descrição e diagnóstico da unidade hidrográfica dos afluentes do baixo Iguaçu com vistas à criação do comitê de bacia**. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Curitiba. 2012.

COPEL. **Site da Copel Geração.** Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/geracao/>>. Acesso em: 27 dez. 2017.

COPEL. **Usina Hidrelétrica Chopim I.** [S.l.], p. 22. 1999.

COSTA, A. S. **Turbinas Hidráulicas e Condutos Forçados**, 2003. Disponível em: <<http://www.labspot.ufsc.br/~simoed/dincont/turb-hidr-2003.pdf>>. Acesso em: 25 janeiro 2018.

DAFTLOGIC. **DaftLogic.com**, 2018. Disponível em: <<https://www.daftlogic.com/sandbox-google-maps-find-altitude.htm>>. Acesso em: 23 janeiro 2018.

ELBATRAN, A. H. et al. Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, 2015.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2006 - 2015.** Ministério de Minas e Energia. Brasília, p. 302. 2006. (1809-9971).

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024.** Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, p. 467. 2015.

EPE. **Demanda de Energia 2050.** Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, p. 257. 2016.

FILHO, L. M. D. N. P. **Estudo da viabilidade e previsibilidade das chuvas e vazões sazonais na bacia do Rio Iguaçu.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013.

FLÓREZ, R. O. **Pequenas Centrais Hidrelétricas.** 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. ISBN 978-85-7975-108-0.

GOYAL, R.; GANDHI, B. K.; CERVANTES, M. J. PIV measurements in Francis turbine – A review and application to. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, 2018.

GUERRA, J. B. S. O. D. A. et al. Future scenarios and trends in energy generation in Brazil: supply and demand and mitigation forecasts. **Journal of Cleaner Production**, v. 130, p. 197 - 210, 2015. ISSN 0959-6526.

GUSSO, M. **Eletricidade Básica.** 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1997.

IBGE. **Divisão Regional do Brasil em mesorregiões e microregiões geográficas.** Ministério da Economia, fazenda e planejamento. Rio de Janeiro, p. 137. 1990.

IEA. **Technology Roadmap. Hydropower.** Ministério de Minas e Energia. Paris. 2012.

INSTITUTO DAS AGUAS DO PARANÁ. Plano da Bacia - Paraná 3. **Instituto das Aguas do Paraná**, 2014. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=239>>. Acesso em: 23 janeiro 2018.

ITAIPÚ. Itaipú Binacional, 2017. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br>>. Acesso em: 27 dez. 2017.

KLEIN, I. et al. Ajustamento de observações: Uma interpretação geométrica para o método dos mínimos quadrados. **Boletim de Ciência Geomática**, Curitiba, 2011. 272-294.

KLIEMANN, B. C. K.; DELARIVA, R. L. PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS: cenários e perspectivas no estado do Paraná. **Ciência e Natureza**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 274-283, Dezembro 2015. ISSN 2179-460X.

LIKENS, G. E. **Biogeochemistry of a Forsted Ecosystem**. 3. ed. New York: Springer, 2013.

LIMA, A. G. G. **Introdução a Hidrologia**, 2017. Disponível em: <<http://www.antonioguilherme.web.br.com/Arquivos/hidrologia.php>>. Acesso em: 26 janeiro 2018.

MAGALHÃES, M. V. **Movimentos migratória na Região Sul**. IPADES. [S.I.]. 1998.

MAJONE, B. et al. Impact of climate change and water use policies on hydropower potential. **Science of the Total Environment**, Maio 2015. ISSN 0048-9697.

MIRANDA, R. Agencia USP de Notícias. **Assoreamento prejudica geração de energia elétrica**, 2017. Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/?p=66896>>. Acesso em: 30 Julho 2017.

NETO, J. V. et al. BOXPLOT: UM RECURSO GRÁFICO PARA A ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO. **Robrac**, Goiânia, v. 26, n. 76, p. 1-6, 2017. ISSN 1981-3708.

NETO, M. R. B.; CARVALHO, P. C. M. D. **Geração de Energia Elétrica - Fundamentos**. 1. ed. São Paulo: Erica, 2013.

OLIVEIRA, R. A. D.; MOURA, M. R. D. Consumo de energia elétrica: Uma análise de fonte alternativa de coletor solar de baixo custo. **Perspectiva Online**, Campos dos Goytacazes, v. 13, n. 5, p. 15-26, 2015.

ORSATTO, F.; HERMES, E.; BOAS, M. A. V. Qualidade da água do rio Piquiri para fins de irrigação, Ubitatã-Paraná. **Anais do I Seminário Internacional de Ciências, Tecnologia e Ambiente**, Cascavel, 30 abril 2009.

ORTIZ, R. A.; MOTTA, R. S. D.; FERRAZ, C. A estimacão do valor ambiental do Parque Nacional do Iguaçu através do método de custo de viagem. **Pesquisa e Planejamento Econômico (PPE)**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 3, p. 355-382, dezembro 2000.

PARANÁ. **Resolução N 49 CERH/PR, de 20 de dezembro de 2006**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Curitiba, p. 14. 2006.

PARANÁ. **Lei 17948 de 10 de Janeiro de 2014**. Diário Oficial n 9122. Curitiba. 2014.

PARANÁ. **Lei 18598 de 26 de Outubro de 2015**. Diário Oficial n 9565. Curitiba. 2015.

PEGORARO, E. Um conflito de imagens: representações fotográficas da Revolta dos Posseiros de 1957. **Revista Discurso Fotográfico**, Lonfrina, v. 4, n. 5, p. 81-102, dezembro 2008.

PIMENTA, A. Energia e riqueza na Amazonia: no rio Madeira, a hidreletrica de Santo Antonio, primeira grande usina construida no pais em tres decadas, mostra que a exploracao energetica da Amazonia -- regioao que concentra dois tercoss do potencial hidrico do pais -- po. **Exame**, v. 44, p. 32-39, 2010.

RIPPEL, R. **Migração e desenvolvimento econmico no Oeste do Paraná: uma análise de 1950 a 2000**. Instituto de Filosofia e Ciências Humandas da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 261. 2005.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HIDRICOS. Avaliação Ambiental Integrada - Bacia Piquiri. **Avaliação Ambiental Integrada - Bacia Piquiri**, 2008. Disponivel em: <<http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1074>>. Acesso em: 22 janeiro 2018.

SEMA. **Bacias Hidrográficas do Paraná**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hidricos. Curitiba. 2010.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Impactos potenciais das alterações do. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 10, n. 4, p. 67-75, diciembre 2010. ISSN 1776-0611. Disponivel em: <<http://www.redalyc.org/pdf/1991/199118978010.pdf>>. Acesso em: 11 abril 2018.

VIANA, A. N. C.; ALENCAR, H. S. **Análise experimental de turbina hidráulica operando com rotação variável**. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Itajubá. 2017.

WORLD BANK GROUP. **Directions in hydropower**. World Bank Group. Washington, p. 16. 2009. (54727).

ZATTA, R. A colonização oficial do Sudoeste paranaense e mito do Vazio demográfico. **XV Encontro regional de História**, Curitiba, julho 2016. ISSN 1808-9690.