

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO  
CAMPUS BAIXADA SANTISTA  
ENGENHARIA AMBIENTAL**

**MARCO AURÉLIO CARIUS PATROCINIO**

**Tecnologias de geração de energia elétrica em tubulação hidráulica**

Santos

2023

**MARCO AURÉLIO CARIUS PATROCINIO**

**Tecnologias de geração de energia elétrica em tubulação hidráulica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção da Graduação em Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Cledson Akio Sakurai

Santos

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação  
Serviço de Biblioteca e Documentação da Unifesp/Campus Baixada Santista  
Instituto do Mar  
Dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P314tt Patrocínio, Marco Aurélio Carius.  
Tecnologias de geração de energia elétrica em  
tubulação hidráulica. / Marco Aurélio Carius  
Patrocínio; Orientador Cledson Akio Sakurai;  
Coorientador . -- Santos, 2023.  
30 p. : 30cm

TCC (Graduação - Engenharia Ambiental) --  
Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo,  
2023.

1. Geração de energia elétrica. 2. Energia  
elétrica. 3. Rede de distribuição de água potável. I.  
Sakurai, Cledson Akio, Orient. II. Título.

CDD 628

Dedico este trabalho ao meu finado pai Antônio Ribeiro dos Santos e a minha amada mãe Ludgéria França Carius, aos meus filhos Lavínia Martins Carius, Marco Antônio Coelho Carius, Livia Martins Costa, a minha esposa Carolina Aparecida Martins Carius, ao meu orientar Prof<sup>o</sup> Dr Cledson Akio Sakurai, a todos os meus professores que foram fundamentais em todo este processo e a todos os meus verdadeiros amigos, tenho um carinho mais que especial pela atenção e compreensão de todos, que foram os pilares que tive durante todos estes anos de formação e elaboração deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais Antônio e Ludgéria que me ensinaram que o caminho da educação é o caminho menos árduo para o sucesso, agradeço a minha esposa Carolina, aos meus filhos Lavínia, Marco Antônio e Lívia, assim como os meus sogros Agenor e Valdelice que cederam uma longa parte dos seus convívios comigo para que eu pudesse me dedicar aos estudos.

Ao Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Akio que foi fundamental para que este sonho de ser Engenheiro Ambiental pudesse acontecer, transformando todo o seu conhecimento adquirido em anos de estudos em aulas fantásticas, a todos os professores que compuseram a equipe que fez o BictMar acontecer a 10 ( dez ) anos atrás, a todos os amigos que participaram de todo este longo processo de construção em anos de estudos.

## RESUMO

PATROCÍNIO, Marco Aurélio Carius. **Título do trabalho acadêmico: Tecnologias de geração de energia elétrica em tubulação hidráulica.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Engenharia Ambiental da Universidade Federal de São Paulo para obtenção da Graduação em Engenharia Ambiental.

A energia hidrelétrica gerada por pequenas turbinas pode vir a ser uma forma eficiente e confiável de geração de energia renovável. Neste trabalho nós buscamos estudar um sistema que venha a produzir energia elétrica utilizando microturbinas, visando instalá-las nas tubulações de fornecimento de água das residências, para que, através da energia cinética que existe neste fluxo de água, a(s) microturbina(s) possam ser acionadas gerando assim energia que será armazenada adequadamente para uso.

Com este trabalho também temos o intuito de mostrar que seria possível utilizar este tipo de microturbina(s) para outros sistemas, tais quais em adutoras ou até em corpos d'água, podendo o equipamento utilizado ser adaptado ao tamanho do projeto que ele for destinado, sempre buscando um mínimo impacto ambiental no ecossistema local.

Palavras-chave: energia hidrelétrica, tecnologias, energia renovável, microturbinas, impacto ambiental

## ABSTRACT

PATROCÍNIO, Marco Aurélio Carius. **Academic final paper title: Electricity generation technologies in hydraulic piping.** Final paper presented to Environment Engineering of Federal University of São Paulo to obtain graduation in Environment Engineering.

The Hydroelectric power generated by small turbines could prove to be an efficient and reliable way of generating renewable energy. In this work we're looking for a study of electric power generation system using microturbines, aiming to install them in the water supply pipes of the residences, so that, through the kinetic energy that exists in this flow of water, the microturbine(s) can be triggered thus generating energy that will be stored properly for use.

With this work we also intend to show that it would be possible to use this type of microturbine(s) for other systems, such as in pipelines or even in bodies of water, and the equipment used can be adapted to the size of the project that it is intended for. , always seeking a minimum environmental impact on the local ecosystem.

Keywords: Hydropower, technologies, renewable energy, microturbines, environmental impact.

## SUMÁRIO

<b><u>1</u></b>	<b><u>INTRODUÇÃO</u></b>	<b><u>10</u></b>
1.1	OBJETIVO	11
1.2	JUSTIFICATIVA	11
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	12
1.4	METODOLOGIA DO TRABALHO	13
<b><u>2</u></b>	<b><u>CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E HIDRÁULICA NO BRASIL</u></b>	<b><u>14</u></b>
2.1	ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	14
2.2	REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL	15
2.3	SMART GRID: CONCEITOS E SITUAÇÃO NO BRASIL	16
2.4	PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS: LEGISLAÇÃO E SITUAÇÃO NO BRASIL	17
2.5	CONCEITUAÇÃO DAS MINI E MICRO TURBINAS	18
2.6	MINI E MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	19
<b><u>3</u></b>	<b><u>TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM DUTOS</u></b>	<b><u>20</u></b>
3.1	TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM DUTOS	20
3.1.1	GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO A TUBULAÇÃO DE ÁGUA	20
3.2	MODELAGEM DE SISTEMAS EM DUTOS DE ÁGUA	22
3.2.1	MODELAGEM EPANET	23
3.2.2	MODELAGEM COM MODELO DE OTIMIZAÇÃO	24
3.2.3	MODELAGEM COM MODELO WATERCAD	25
<b><u>4</u></b>	<b><u>REVISÃO</u></b>	<b><u>27</u></b>
4.1	MATERIAIS E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	27
4.2	ÁREA DE ESTUDO PARA CARACTERIZAÇÃO E INSTALAÇÃO	27
4.3	ESCOLHA DOS EQUIPAMENTOS QUE SERÃO UTILIZADOS	27
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b>	<b>28</b>
<b><u>6</u></b>	<b><u>CONCLUSÃO</u></b>	<b><u>29</u></b>
<b><u>7</u></b>	<b><u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>	<b><u>30</u></b>





# 1 INTRODUÇÃO

A energia é um dos elementos mais básicos que temos no nosso Planeta. Precisamos dela para sobrevivermos e para as atividades que o Homem rotineiramente desenvolve, gerando empregos e fazendo com que tenhamos crescimento econômico, é um fator importante para a educação, saúde, transporte, sempre visando um desenvolvimento tal qual que faça com que a humanidade possa viver mais e com qualidade de vida. Sempre que existem problemas relacionados à crise energética, como a crise do petróleo, as mudanças climáticas, a demanda por energia aumenta de forma considerável, este tipo de dificuldade faz com que há a necessidade de pensar de forma diferente para encontrarmos alternativas tecnológicas para suprimos tal demanda.

Tendo em mente a demanda por produção de energia, existem opções tecnológicas a geração de energia através de sistemas menores que utilizem as redes que já existem. A energia gerada por estes sistemas hidrelétricos será uma energia limpa, de fonte de energia renovável que vem da água tratada pelas companhias de abastecimento. Quando a água passa pelos dutos, a sua energia cinética faz com que as paletas das microturbinas girem gerando assim energia elétrica. As micro hidrelétricas têm vantagens sobre usinas fósseis e nucleares, tem a capacidade de gerar eletricidade quando necessário, principalmente reduzindo a energia perdida durante a transmissão. Podem também suportar diferentes tipos de demanda de carga de forma mais econômica, enquanto as usinas de combustível fóssil ou nuclear só podem fornecer cargas de base devido aos seus requisitos operacionais de longo prazo. Tem a capacidade de iniciar rapidamente e ajustar rapidamente a potência de saída.

Possuem baixo impacto ambiental, baixo custo de manutenção e é confiável, e podem funcionar como uma bateria, armazenando eletricidade na forma de água.

Portanto, é possível aproveitar o potencial de uma micro central hidrelétrica instaladas na rede de distribuição de água, tanto nas adutoras quanto nos ramais de distribuição em cada residência.

## **1.1 Objetivo**

Temos como finalidade deste trabalho, buscar apresentar tecnologias de geração de energia usando a água fornecida pelas companhias de abastecimento de água potável, através do uso de pequenas turbinas que gerem energia elétrica quando instaladas nas adutoras e ramais de distribuição para as residências, buscando a utilização do modelo mais eficiente para essa produção e também com baixo custo e que seja limpa. Este trabalho apresenta as tecnologias de sistemas e turbinas necessárias para a produção de eletricidade em uma rede utilizada para a distribuição de água.

## **1.2 Justificativa**

O objetivo do trabalho é mostrar que é possível capturar energia não utilizada nos sistemas de água potável das cidades e transformar essa energia em eletricidade útil. A conclusão bem-sucedida deste projeto de turbina hidráulica mostra que há energia em nosso dia a dia que pode ser captada e utilizada a nosso favor. Com a previsão de que a energia se tornará difícil de encontrar nos próximos anos, é importante que façamos o possível para sermos engenhosos. Este projeto é um exemplo perfeito. Estamos capturando energia ociosa que seria desperdiçada e transformando-a em energia elétrica utilizável.

No artigo sobre a demanda de energia 2050 produzido pela Empresa de Pesquisa Energética, temos um capítulo que trata sobre a autoprodução de eletricidade no Brasil, neste capítulo temos que a autoprodução nada mais é do que a geração de eletricidade do consumidor utilizando instalações próprias, não dependendo diretamente das concessionárias que distribuem a energia produzida. Neste mesmo artigo temos que a autoprodução de energia já representa quase 10% de toda a energia elétrica produzida no País, sendo que nos últimos dez anos foi observado um crescimento acelerado, tendo assim um enorme potencial de crescimento.

Como o potencial de cogeração de energia é constituído, essencialmente, pelo setor industrial, que se utilizam de grandes quantidades de vapor e eletricidade para geração de energia excedente, faz-se necessário que trabalhemos em alternativas que sejam, do ponto de vista econômico mais acessíveis, para que os cidadãos com menor poder aquisitivo possam investir neste tipo de geração de energia alternativa.

Com a entrada em vigor do marco do saneamento básico (Lei nº 14.026/2020), é possível vislumbrar uma melhoria nunca antes vista na qualidade e na distribuição da água no nosso país, sabendo que este marco criou um arcabouço legal, administrativo e regulatório para

todas as esferas dos Governos, os órgãos da Administração Pública e a sociedade civil somem esforços para universalizar o acesso e a efetiva prestação do serviço público de saneamento básico. Analisando os dados do relatório disponibilizado no site do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, onde temos disponibilizados os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, os dados coletados indicam que a incidência média do abastecimento de água da população no Brasil fica na casa dos 84,2%, sendo assim, temos praticamente todo este potencial instalado e o ainda a instalar para utilizarmos na produção de energia com a utilização de microturbinas. Com a implementação de novos sistemas capazes de produzir energia elétrica utilizando toda a estrutura das concessionárias que fornecem água potável para as residências, será possível termos acesso a uma energia mais barata para o consumidor e ao mesmo tempo aliviar as concessionárias no que diz respeito as altas demandas por produção de energia para os mais variados setores da sociedade.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

O trabalho se inicia com a caracterização deste mercado de geração de energia no país, demonstrando a situação atual e a esperada para o futuro, além de apontar as principais inovações tecnológicas para a geração/produção de energia, que seria através de fonte sustentável e limpa de energia se utilizando da geração de energia através das centrais hidrelétricas. Neste capítulo, apresenta-se a legislação que possibilita a criação de micro e pequenas centrais hidrelétricas, e como isto está em expansão no Brasil. Ainda neste capítulo, o trabalho apresenta o potencial de produção de energia em tubulações através da utilização da água que corre nos dutos para a rede de distribuição de água no país. Por fim, aborda a tecnologia Smart Grid que permite a conexão da energia elétrica produzida em vários pontos nos dutos espalhados pela cidade.

O próximo capítulo aborda as inovações existentes para a produção de energia elétrica utilizando os dutos que conduzem água potável por toda a cidade, além de discutir as metodologias para projetar tais sistemas.

No capítulo de Resultados e Discussão, apresentamos as possibilidades que podemos implementar nas redes de água do Brasil, e uma estimativa da quantidade de energia que poderá ser gerada, bem como os desafios que existem para a implementação deste sistema de micro produção/geração de energia elétrica.

Por fim, concluímos se o trabalho desenvolvido possui realmente potencialidade que as inovações podem trazer para a sociedade no que concerne na geração de energia.

#### **1.4 Metodologia do Trabalho**

O trabalho consistiu em fazer um levantamento do estado da arte da tecnologia de produção de energia elétrica em dutos de abastecimento hídrico, identificando os tipos de turbinas com tecnologia de transformação da energia hidráulica para a energia mecânica e, por fim, para a energia elétrica. Para tanto foram pesquisados os artigos técnicos científicos em bases disponíveis na Internet e em matérias jornalísticas disponibilizados em jornais e revistas, e por fim, pesquisando tecnologias em Empresas que produzem tal tecnologia. Com as informações obtidas foi realizado uma revisão das tecnologias disponíveis.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E HIDRAÚLICA NO BRASIL

Este capítulo caracteriza os sistemas de produção de energia elétrica no Brasil e a capacidade para a geração da energia elétrica utilizando o sistema de distribuição de água, e por fim, a tecnologia de smart grid.

### 2.1 Energia Elétrica no Brasil

Historicamente temos como principal fonte de produção de energia elétrica no Brasil a energia gerada por fontes que utilizam a água, principalmente as utilizadas nas usinas hidrelétricas. Dados analisados no [epe.gov.br](http://epe.gov.br), indicam que a produção de energia elétrica da forma que é feita hoje no Brasil é a mais eficiente e a melhor em competitividade econômica, pois a abundância do recurso existente e a nível nacional. O total de capacidade de produção de energia que temos instalada no país chega a ser mais de 150 GW, com um potencial hidrelétrico estimado em 172 GW. Com o desenvolvimento e instalação das microturbinas nos lares brasileiros, será possível aumentarmos mais ainda a utilização da energia elétrica produzida com a utilização de água.

Nos dois gráficos abaixo temos a demonstração da geração de energia. Podemos ver na figura 1 as fontes não renováveis e na figura 2 temos a disponibilidade interna de energia por fonte.

Gráfico 1.1.a - Geração de energia elétrica: fontes não renováveis  
Chart 1.1.a - Electricity generation: non-renewable sources

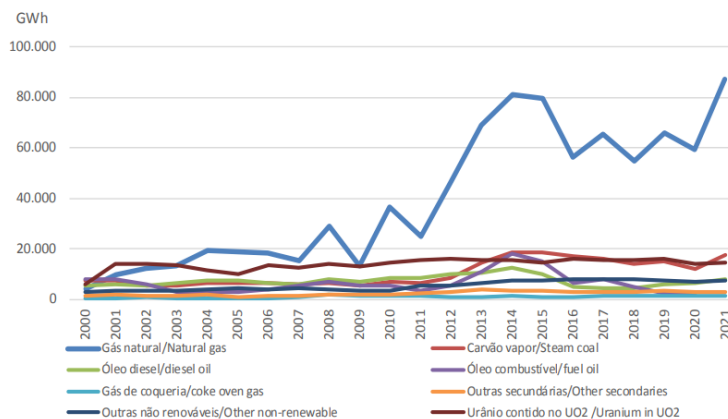
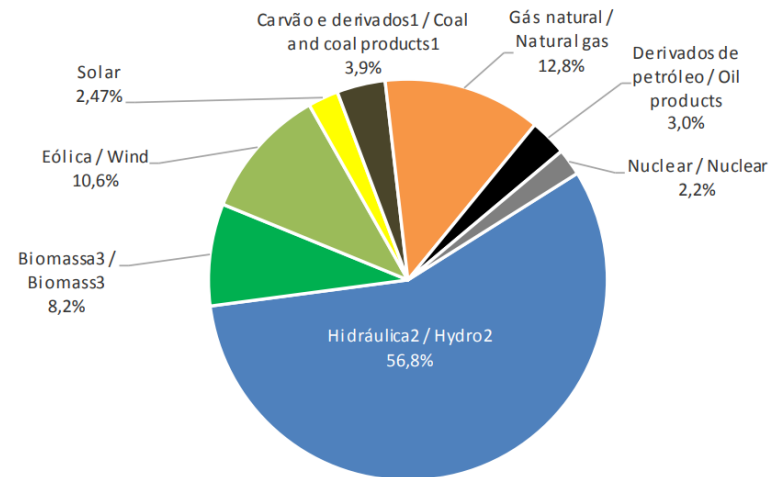


Figura 1 – Gráfico da produção de energia elétrica no Brasil de fontes não renováveis

Fonte: Balanço energético nacional 2022

Gráfico 1.1.b - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte

Chart 1.1.b - Total Electricity Supply by Source



Notas / Notes:

1. Inclui gás de coqueria / Includes coke oven gas

2. Inclui importação de eletricidade / Includes electricity imports

3. Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações / Includes firewood, sugarcane bagasse, black-liquor and other primary sources

Figura 2 – Gráfico da oferta de energia elétrica por fonte

Fonte: Balanço energético nacional 2022

Dados os gráficos, temos que 56,8% da produção de energia produzida no país é proveniente da ação da água, neste caso temos uma fonte viável, confiável e renovável de produção de energia, corroborando assim a ideia de que o desenvolvimento de micro-usinas pode ser um empreendimento viável e econômico.

## 2.2 Redes de Distribuição de Água no Brasil

Mesmo tendo o Brasil uma riqueza hídrica invejável em relação ao restante do Mundo, nós ainda não conseguimos distribuir esta água potável para toda a nossa população. Com os dados disponibilizados pelo SNIS 2022, é possível termos uma visão bem ampla dos percentuais de municípios e de população que hoje conseguem ter a sua disposição água e esgoto tratados. Os dados mostram que 95,8% dos municípios brasileiros recebem água e esgotos tratados. Já para a população total do país e para a população urbana, os valores percentuais são de 98,6% e 99,2% respectivamente, isso nos dá cerca de 210,4 milhões de habitantes para a população total e 179,3 milhões de habitantes para a população urbana.

Já no que diz respeito a instalação das redes de ligação, os dados analisados trazem um total de 753 mil quilômetros para o transporte da água tratada, fato este que demonstra um adicional de cerca de 25 mil quilômetros quando comparados a capacidade que fora instalada no ano de 2020, fazendo com que o consumo médio aumentasse dos 152 l/hab/d para 153 l/hab/d.

O fato acima descrito fez com que os serviços prestados pudessem ter o seu alcance aumentado, atingindo assim a casa dos 84% da nossa população, cobrindo cerca de 177 milhões de habitantes. Os índices são melhores ainda quando são relacionados a população urbana, dado que essa população possui melhor acesso aos serviços disponibilizados, percentualmente 93% da população possui acesso aos serviços, isso dá aproximadamente 167 milhões de habitantes na área urbana.

Quando os dados são analisados pelas regiões do país no que se refere aos índices de atendimento na área urbana, a região Sul do país apresenta um valor de 98,9%, a região Centro-Oeste um valor de 97,8%, a região Sudeste 96,1%, a Nordeste 90,1% e a Norte 72,2%.

Não obstante a necessidade de se fornecer um serviço de qualidade no que diz respeito a distribuição de água para todas as regiões do país, também é demasiado importante atentarmos ao indicador levantado pelo SNIS-AE, que é o índice de perdas na distribuição desta água distribuída. O indicador é de suma importância pois é através dele que existe a possibilidade de termos a representação numérica entre os volumes de água distribuídos e os volumes que realmente chegam às residências de todo o Brasil. No ano de 2021, os dados apontaram uma perda de cerca de 39,3%, comparativamente ao ano anterior, essa perda foi de 0,8% menor.

### **2.3 Smart Grid: Conceitos e Situação no Brasil**

As Smarts Grids são uma série de automações e tecnologias que objetivam, em seu objetivo principal, dar segurança, comodidade e sustentabilidade ao fornecimento de energia, dado que os novos modelos de consumo elétrico exigirem redes de distribuição mais modernas e complexas.

No Brasil a implementação deste conceito acaba esbarrando na falta de legislação específica e também nos obstáculos estruturais que temos no País, impedindo assim um maior desenvolvimento das Smarts Grids, além é claro, do alto custo para tais implementações.



## **2.4 Pequenas Centrais Hidrelétricas: Legislação e Situação no Brasil**

Conceitualmente as micro-usinas hidrelétricas são sistemas capazes de utilizar da força hídrica para fazer com que a energia cinética que temos na água se converta em energia elétrica, todavia, o melhor aproveitamento deste recurso depende diretamente do oferecimento disponível do recurso e da adequação dos fluxos da água com as instalações que geram a energia elétrica, tais quais as turbinas que funcionam através da ação e da reação.

Para a produção de energia em pequena escala, os aproveitamentos geralmente são classificados de acordo com a sua grandeza, sendo assim classificados conforme a sua grandeza decrescente de potencialidade de geração de energia: pequeno aproveitamento de produção, mini e micro aproveitamento. Internacionalmente não temos ainda nenhum alinhamento como qual seria a melhor classificação/definição para essas usinas pequena escala, sendo assim, todos os números e valores que aqui serão mencionados irão de acordo com a classificação dada aqui no Brasil. Conforme regrado pela ANEEL, temos como classificação para as centrais de pequeno porte as Pequenas Centrais Hidrelétricas cuja sigla utilizada é a PCH e as Centrais Geradoras Hidráulicas utilizando-se da sigla CGH. Conceitualmente as PCH's possuem seus reservatórios com dimensões de até três quilômetros quadrados podendo ter sua potência instalada entre 1MW e 30MW, já as CGH's chegam ter Chás uma potência máxima de até 1MW. Os custos para a construção deste tipo de centrais geradores são demasiados baratos quando comparados com estruturas mais robustas e também não causam tantos impactos na fauna e na flora local, fazendo com que haja uma melhor preservação dos espécimes que habitam o seu redor, mais ainda, existe também a possibilidade de serem construídas em locais com cuja vazão seja bem inferior as usualmente utilizadas, fato este que possibilita a descentralização da geração de eletricidade no país ( Associação Brasileira de PCHs e CGHs ).

Abaixo temos na figura 3 um esquema básico de uma pequena central hidrelétrica.

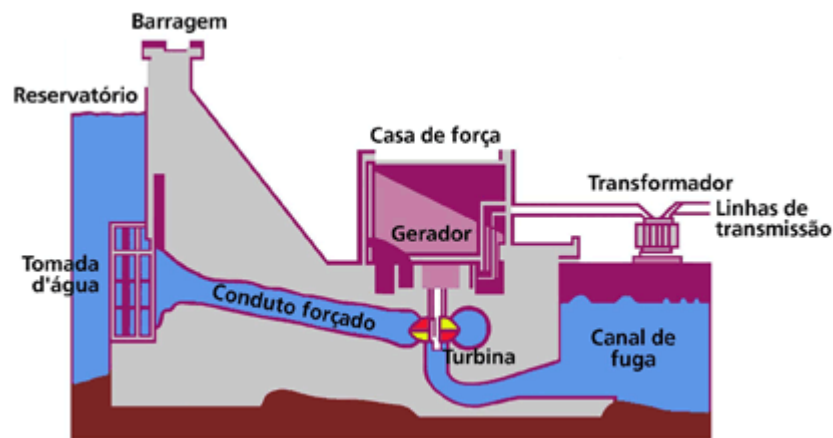


Figura 3 – Esquema básico de uma PCH.

Fonte: Site da Associação Brasileira de PCHs e CGHs

## 2.5 CONCEITUAÇÃO DAS MINI E MICRO TURBINAS

As mini turbinas, de acordo com os fabricantes, são unidades que podem possuir as suas potências com limites inferiores aos limites que se situam entre 1000 kW e 5000 kW, fazendo assim com que não se aproximem daquelas potências já estabelecidas anteriormente como as utilizadas no Brasil, que estão dentro da escala de 100 kW até 1000 kW (Ramos et al. (2010)). Como essas unidades não precisam de equipamentos robustos e, mas sim com dimensões pequenas/reduzidas, somente necessitam de ajustes para que se adequem às escalas. Como são de tamanho reduzido, a sua instalação e manutenção são mais simples, quando projetados de forma correta, fazem com que a redução dos custos de implementação do projeto sejam realmente observados.

## 2.6 MINI E MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Na atualidade temos modernas mini e micro turbinas que visam maximizar a produção de energia, estudos que visam a economia e o desenvolvimento tecnológico estão sendo constantemente produzidos com o intuito de viabilizar mais rapidamente o emprego destes equipamentos. Estes estudos tem mostrado que é possível termos um real aproveitamento na produção de energia, identificando assim, quais serão os indícios de cunho positivo e quais de cunho negativo para a implementação e instalação dos equipamentos necessários, como exemplo temos Lima (2013). No estudo desenvolvido, têm-se duas regiões que foram avaliadas com o intuito de se saber qual seria a inovação tecnológica ideal para o projeto, foram determinados pontos que foram bons e outros ruins para o desenvolvimento dos projetos. Foi determinado que para regiões tais quais o município de Cruzeiro, seria interessante se valer das altas quedas ocasionadas pela alta elevação da cidade para a produção de energia utilizando-se da rede de água. Nas adutoras do sistema de distribuição, que fazem todo o transporte da água até a chegada nos tramos da rede secundária, quando instaladas as turbinas nos tramos secundários, concluiu-se que o valor gasto com os equipamentos eletro-mecânicos não seriam absorvidos pelo total de energia produzida, tendo em vista as vazões envolvidas serem muito baixas.

Uma vez escolhida a região para a implementação do projeto, haverá uma avaliação de cunho técnico cujo objetivo será avaliar a possibilidade de implementação das minis e micros hidrelétricas, passando assim a compreender, da melhor forma possível, quais seriam as melhores configurações do sistema, e também buscando atender a todas especificações técnicas para o correto abastecimento do local. Simulações serão realizadas utilizando-se de modelos matemáticos para que todos os parâmetros envolvidos, pressão e vazão possam ser estudados e avaliados de acordo com as normas estabelecidas, com a construção das centrais na rede de água e, com a consequente instrução das mesmas no sistema, haverá uma alteração no comportamento de todo o sistema, sendo assim, é preciso avaliar todas as possibilidades de se instalar uma ou mais turbinas na rede, fazendo os devidos ajustes e com as devidas variações de números e de posições das turbinas para cada um deles dos modelos. Como resultado, espera-se que se tenha a possibilidade de diversas configurações, com a correta escolha da que mais se adaptará a rede avaliada.

### 3 TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM DUTOS

Neste capítulo temos a apresentação das tecnologias de geração de energia elétrica em dutos de água e as metodologias para realizar o projeto neste tipo de sistema.

#### 3.1 Tecnologias de Geração de Energia Elétrica em Dutos

##### 3.1.1 Geração de energia elétrica utilizando a tubulação de água

**3.1.1.1** Um exemplo de tecnologia que já está em funcionamento foi implementada na cidade de Portland, no estado do Oregon, EUA. A empresa LucidEnergy desenvolveu um sistema de turbinas que utiliza a água do abastecimento da cidade para a produção de energia. O sistema utiliza turbinas que são instaladas nos canos, com o fluxo de água fluindo nos canos, elas giram e enviam a energia para um gerador, direcionando a energia produzida para a rede elétrica da cidade.

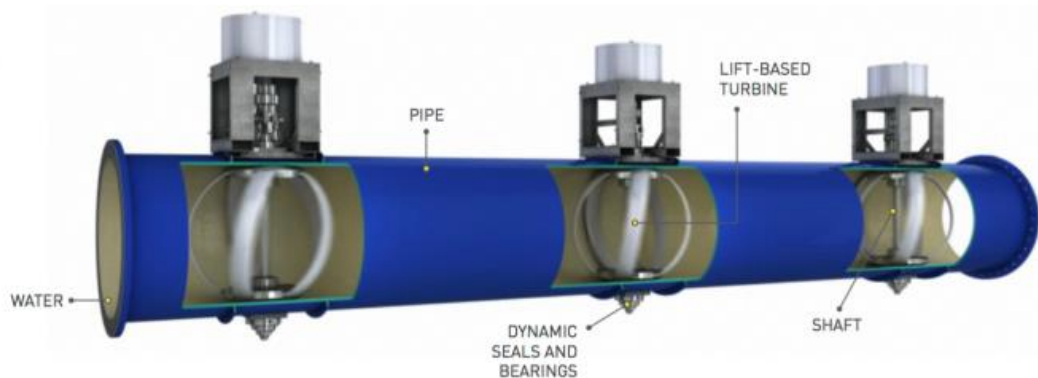


Figura 4 – Sistema de turbinas da empresa LucidEnergy.

Fonte: Site da Tecnoblog – Turbina da LucidEnergy

Este projeto visa não somente a utilização da energia gerada nas residências, mas também pelas indústrias locais para que reduzam os seus custos. Como as indústrias utilizam um grande volume de água nos processos de resfriamento das suas máquinas, como exemplo temos fábricas de alumínio e datacenters, elas poderão vir a instalar esse tipo de tecnologia para a redução dos seus custos. Outras empresas também podem se valer desta tecnologia não somente reduzindo os seus custos, mas também vendendo o excedente para o município aonde

estão instaladas. Essa mesma empresa, a LucidEnergy, executou um outro projeto na cidade de Riverside, na Califórnia, valendo-se da energia produzida para a iluminação pública da cidade.

O funcionamento deste sistema depende do funcionamento de quatro turbinas de 107 cm de diâmetro cada uma, e as mesmas ficam instaladas no meio dos tubos de água da companhia de água. A capacidade instalada é para que se gere cerca de 1100MWh em um ano, isso com um sistema de 200kW, o que na teoria, seria o suficiente para alimentar cerca de 150 residências, todavia, alguns detalhes são de extrema importância: a tubulação não gera energia em qualquer, infelizmente o gerador só funciona se a água estiver sob uma pressão causada pela força gravitacional.

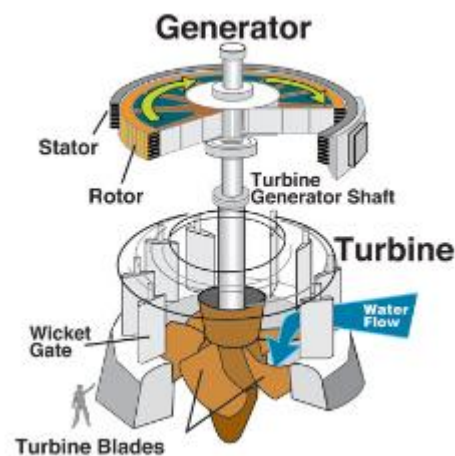


Figura 5 – Turbina da empresa LucidEnergy.

Fonte: Site da Tecnoblog

Um outro exemplo de projeto que utiliza do potencial hidráulico que temos no País é o projeto desenvolvido pela empresa Idenergie, empresa Canadense. No projeto por eles desenvolvido, a energia elétrica é gerada utilizando-se das águas dos rios para a produção de energia. A turbina aproveita a disponibilidade hídrica dos rios onde é instalada para produzir energia limpa, o equipamento é capaz de gerar a mesma eletricidade que doze painéis solares.

Para que pudessem minimizar os impactos ambientais causados pelas turbinas, a Empresa desenvolveu o projeto utilizando um rotor do tipo Darrieus, que não traz nenhum impacto negativo nos ecossistemas, o equipamento é feito de um material leve e resistente, que é o alumínio e de outras matérias nobres, fato este que enquadra a turbina no conceito de energia verde a colocando assim no mercado atual.

Além de ser fácil de ser instalado, a manutenção do equipamento é fácil, o equipamento é enviado todo desmontado para o local onde será montada, sendo necessárias somente duas pessoas no local para a montagem de todo o equipamento. O gerador instalado é capaz de produzir 12 kWh de energia por dia, o equipamento pode ficar conectado a uma rede de baterias, onde serão energizadas durante o dia, a capacidade de produção é tamanha que, mesmo com a sua capacidade reduzida, uma única turbina em funcionamento é capaz de manter ligados equipamentos como geladeira e TV.



Figura 6 – Homens instalando turbina fluvial.

Fonte: Idenergie

### 3.2 Modelagem de Sistemas em Dutos de Água

Neste item apresentam-se os tipos de modelagens existentes para o dimensionamento e simulação de sistemas para a produção de energia em dutos que conduzem água.

### 3.2.1 Modelagem EPANET

O EPANET é um software cuja distribuição é gratuita e foi desenvolvido pela USEPA em 1993. Escrito em código aberto, possibilita assim que qualquer usuário possa alterá-lo conforme o seu conhecimento e as suas necessidades, tendo em vista que existe a possibilidade de alterar o código e em várias linguagens de programação enquanto estiver na biblioteca dinâmica do Windows. A sua distribuição é feita de dois modos, a de modo executável e a de modo de biblioteca dinâmica, quando se trabalha com simulações hidráulicas é indicado que se utilize do modo executável, já para análises de otimizações, calibrações, vazamentos, a indicação é de que se utilize o modo de biblioteca dinâmica. Na sua versão brasileira, O EPANET foi traduzido e adaptado pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento–LENHS, da Universidade Federal da Paraíba–UFPB e funciona nos sistemas operacionais da Microsoft.

O EPANET é tido como um modelo matemático para simulações, que possibilita simulações de redes complexas de distribuição de água, utilizando para tal um conjunto de ferramentas de cálculos que dão embasamento à modelagem hidráulica. O manual do usuário EPANET 2.0 (EPA, 2000) explicita, “O EPANET é um programa de computador que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água em redes de distribuição pressurizada. Uma rede é constituída por tubulações, bombas, válvulas, reservatórios de nível fixo e/ou reservatórios de nível variável. O EPANET permite obter os valores da vazão em cada tubulação, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável.”

Em seu manual são destacadas as principais ferramentas que podem ser usadas nas modelagens, dentre elas temos:

- Possibilidade de usar uma ou múltiplas condições de operação do sistema de controle simples;
- Modelagem da relação pressão-vazão efluente de dispositivos emissores (aspersores);
- Modelagem de reservatórios – tanto de nível fixo quanto de nível variável;
- Modelagem de bombas, cálculo de energia e seus custos;
- Número ilimitado de componentes da rede;
- Cálculo da perda de carga por Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou ChezyManning;
- Cálculo de perdas locais;
- Além da capacidade de modelar qualidade da água. (EPANET 2.0, 2000, p.18)

Na figura abaixo temos a tela com a interface do programa EPANET

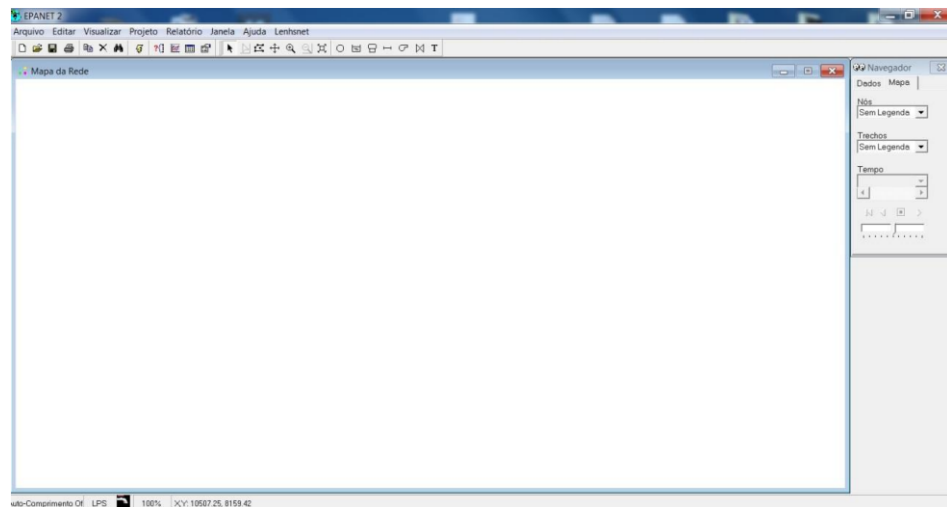


Figura 7 – Interface do Programa EPANET

Fonte: Tela do Software EPANET2

### 3.2.2 Modelagem com modelo de otimização

Sosnoski, Andre Sandor Kajdacsy Balla (2015) descreve em seu trabalho que a modelagem com modelo de otimização, para que encontre o melhor resultado possível nas modelagens, precisa se utilizar de modelagens robustas, sendo assim necessária utilização de funções objetivo, com condições e restrições para a determinação da zona que terá os resultados mais promissores e os pontos que terão o melhor rendimento. Com o intuito de buscar os melhores resultados na modelagem, a utilização das funções objetivo buscam relacionar todas as variáveis possíveis que são substanciais para a problemática que se deseja resolver naquele momento. Trabalhar a formulação de equações que melhor venham a representar o sistema, é uma tarefa de suma importância no procedimento desenvolvido, fato este que pode alterar de forma contundente os resultados alcançados. Por sua vez as restrições são pontos limites, são parâmetros para que a rede a ser estudada possa ficar dentro dos limites que foram ou serão pré determinados e dos conhecimentos existentes de funcionamento, elas serão determinantes para a região analisada, limitando assim os espaços suscetíveis e as rodadas da função objetivo, ou até mesmo uma região de atuação de algum componente que tenha sido avaliado. Os valores limites da região e os parâmetros de rendimento são calculados aproximações sucessivas, fazendo com que a função objetivo seja igualada, minimizada ou maximizada.

Temos as programações lineares e não lineares como as mais utilizadas nesta otimização.



### 3.2.3 Modelagem com modelo WaterCad

Diuana, Fabio Amendola e Ogawa, Seiti Caio Contardo Pereira (2015) descrevem em seu trabalho que o WaterCAD é uma modelagem como sendo modelo de gestão e distribuição da água, permitindo assim uma modelagem operacional e qualitativa da água. Este modelo que fora projetado e desenvolvido pela empresa Bentley, nos propõe vários benefícios quando comparado com as outras ofertas que o mercado nos disponibiliza, com bastante destaque para a sua incrível capacidade que possui de integrar-se com os demais programas desenvolvidos que estão no mercado, sendo capaz de ler arquivos como os do AutoCAD, GIS (plataforma) e até extensões do Excel, dando também a possibilidade de se exportar para a rede o que fora traçado/desenvolvido nele para arquivos do AutoCAD e Epanet.

Entre as principais possibilidades do programa estão:

- Calibração e Detecção de Vazamentos;
- Modelagem e análise de válvulas;
- Mistura em reservatórios;
- Análise de vazões de incêndio;
- Dimensionamento de bombas;
- Custos de energia;
- Análise de qualidade da água e;
- Estática e dinâmica com a possibilidade de comparação de diferentes cenários. ( Diuana, Fabio Amendola e Ogawa, Seiti Caio Contardo Pereira (2015), p. 24 )

Com este software é possível trabalharmos com cenários hidráulicos hipotéticos, podendo ser de forma estática e também dinâmica através de iterações, usando o método do Gradiente o modelo calcula as cotas piezométricas em cada nó do sistema e também as velocidades em cada um dos trechos.

Este modelo também nos permite salvar o que fora programado nele em arquivos de extensão .dwg ou shapefile, utilizando a o Modelbuilder. Com a o Trex, temos a possibilidade de importação de arquivos digitais de terrenos para a delimitação de cotas, ou das curvas de nível topográficas em um arquivo do AutoCAD.

Na figura abaixo temos a tela com a interface do programa WaterCad

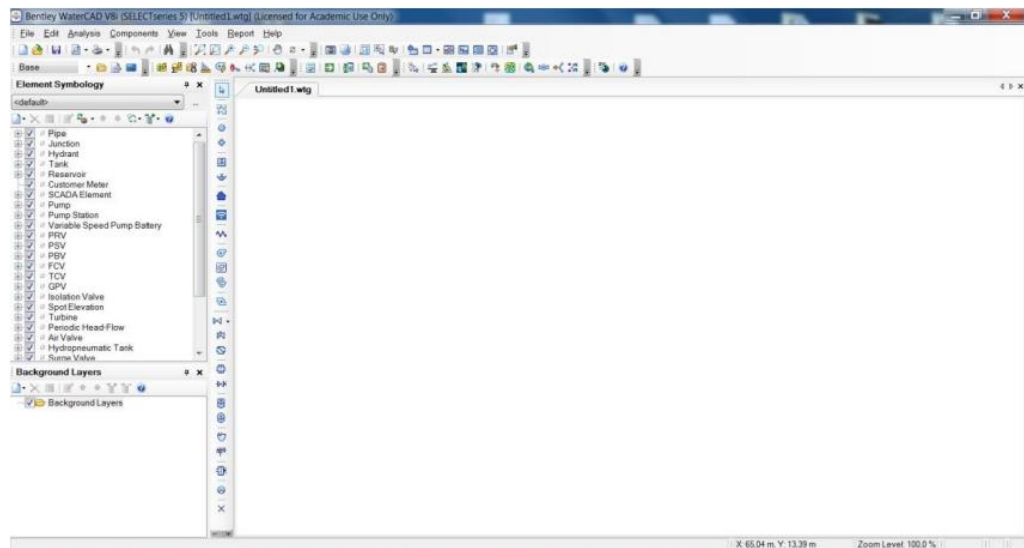


Figura 8 – Interface do Programa WATERCAD

Fonte: Tela do Software Bentley WaterCAD

## **4 REVISÃO**

Neste momento descreveremos os materiais e métodos que utilizamos na descrição do processo, a fim de que seja verificada a possível viabilidade financeira do projeto e para que seja possível definir qual a melhor ou melhores opções de mini e/ou micro usinas de abastecimento energético poderão ser implementadas nas redes de distribuição.

### **4.1 Materiais e métodos de avaliação**

Em um primeiro momento, fora realizado todo o levantamento bibliográfico para que fosse possível promover um levantamento estritamente de cunho técnico dos fundamentos que irão balizar o trabalho. O levantamento mencionado faz parte do conteúdo de materiais e métodos do projeto. As equações e procedimentos que, porventura, possam ser utilizados, sendo mais peculiares para cada passo da avaliação do projeto, ajudarão também na definição da posição do aproveitamento mais eficaz da rede de distribuição.

### **4.2 Área de estudo para caracterização e instalação**

Quando iniciamos os estudos para avaliarmos o potencial de aproveitamento hídrico da região onde instalaremos os sistemas, devemos levantar as informações relativas ao local da rede de distribuição de água, neste momento já será possível realizarmos uma seleção prévia das localidades com maior ou menor potencial de aproveitamento.

### **4.3 Escolha dos equipamentos que serão utilizados**

Uma vez escolhido o local de implementação do sistema, a escolha dos equipamentos é de suma importância para que o aproveitamento hidrelétrico seja o melhor possível, fazendo com que o funcionamento da rede seja correto e eficiente com a máxima produção/geração de energia possível.

Existe a possibilidade de obtermos resultados bons com bombas como turbinas (PATs) sendo assim solução para a implantação em rede (Ramos et al. (2010)), já para Khosrowpanah et al. (1984), Fiuzat e Akerkar (1991), Desai e Aziz (1994), a melhor opção seria escolher turbinas Crossflow, para estes pequenos aproveitamentos hídricos, substituindo assim este tipo

de válvula redutora de pressão (VRPs). Existe uma discussão interessante com estas duas propostas, levando-se em conta que o aproveitamento hídrico e que o máximo de rentabilidade dos equipamentos foram analisados em relação a troca das VRPs, para este levantamento agora realizado, acaba por generalizar essa questão, no presente momento nenhum tipo de turbina será escolhida, a definição será escopo do processo de escolha durante os estudos.

## **5 DISCUSSÃO**

Neste estudo buscamos uma forma de indicar um método que possa ser o mais correto e coerente possível para a correta escolha do meio avaliativo que utilizaremos na região aonde instalaremos as mini ou microturbinas, gerando assim a tão esperada energia elétrica. Escolher de forma correta é demasiado importante, pois será este método o responsável por indicar todos os parâmetros que nos dará embasamento para o correto direcionamento, para a escolha do material a ser utilizado na construção e também em todos os equipamentos que serão instalados. Nos artigos estudados para este trabalho, foi possível verificar que, para redes de pequeno porte como as redes que estamos vislumbrando, não há a necessidade de utilizarmos metodologias demasiadas complexas, este tipo de metodologia somente nos traria procedimentos oneroso e desgastantes, para as redes que estamos trabalhando basta utilizamos metodologias mais simples mas que sejam eficientes. Intuitivamente, todas as atividades que foram realizadas buscaram avaliar as possíveis interferências que pudessem vir a ocorrer em uma rede que já esteja instalada, todavia, com a utilização de redes hipotéticas ou que ainda estejam em fase inicial de projeto, as benesses da metodologia utilizada puderam ser mais facilmente verificadas, é válido lembrar que com a manipulação dos diâmetros tivemos mudanças significativas nos resultados. Nos estudos desenvolvidos, em fase de projeto, foi possível se modificar nas tubulações os seus diâmetros com a intenção de se checar a forma comportamental das vazões locais e também das pressões da água. Todo este estudo fora realizado para que, em pontos específicos da rede, fosse avaliada a produção de energia de forma mais eficiente em momentos de pressões e vazões extremas sem que houvesse impactos negativos no abastecimento da região de estudo.

## 6 CONCLUSÃO

O trabalho proposto é com o intuito de diminuirmos mais ainda os tamanhos das turbinas capazes de gerar energia elétrica utilizando-se da disponibilidade hídrica de cada cidade, desta forma, será possível mais cidadãos terem acesso à energia elétrica limpa e de baixo custo. Finalizando os estudos dos trabalhos analisados, é importante termos alinhado que se faz necessário gerar uma avaliação no que diz respeito a viabilidade ou não da instalação das microturbinas aonde trabalharemos, dependendo da análise realizada e dos dados coletados, poderemos ter um aproveitamento energético que possa ser debitado dos custos rede de abastecimento das companhias e das residências. É importante também sabermos que a introdução de uma micro usina hidrelétrica reduzirá a carga sem qualquer impacto adverso sobre o meio ambiente ao atender as necessidades de eletricidade localizada.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Análise comparativa dos modelos hidráulicos epanet, watercad e sistema ufc para sistemas de abastecimento de água – rede de distribuição – Diuana, Fábio Amendola e Ogawa, Seiti Caio Contardo Pereira, 2015
- Associação Brasileira de PCHs e CGHs  
<https://abrapch.org.br/2014/03/o-que-sao-pchs-e-cghs/> Acesso em 02 de janeiro de 2023
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724: Informação e documentação - Trabalhos acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2011.
- ANA, <https://www.ana.gov.br/saneamento/> - Acesso em 02 de janeiro de 2023
- <https://clickpetroleoegas.com.br/conheca-a-turbina-que-aproveita-a-agua-dos-rios-para-produzir-energia-limpa-equipamento-e-capaz-de-gerar-tanta-energia-quanto-12-paineis-solares/> - Acesso em 02 de janeiro de 2023
- Empresa de Pesquisa Energética, Estudos da Demanda de Energia, Demanda de Energia 2050, Rio de Janeiro 2016.
- BEN – Balanço energético Nacional  
<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022> - Acesso em 02 de janeiro de 2023
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética  
<https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes> - Acesso em 02 de janeiro de 2023
- Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional – SNIS 2021  
<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel/ab> - Acesso em 02 de janeiro de 2023
- NBR 12211. Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. 1992.
- NBR 12218. Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. 1994. NB 591. Elaboração de Projetos de Sistemas de Adução de Água para Abastecimento Público. 1977.
- NB 594. Elaboração de Projetos Hidráulicos de Redes de Distribuição de Água Potável para Abastecimento Público. 1977.
- Produção de energia por mini e micro hidrelétricas na rede de distribuição de água – Sosnoski, Andre Sandor Kajdacsy Balla, 2015
- Tecnoblog  
<https://tecnoblog.net/especiais/tubulacao-agua-energia-eletrica/> - Acesso em 02 de janeiro de 2023