



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
E-mail: eng.eletrica@unitau.br

AUGUSTO ROCHA DE OLIVEIRA

**GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO ROTOR NO FLUXO DO
EFLUENTE EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO.**

Taubaté-SP

2018

AUGUSTO ROCHA DE OLIVEIRA

**GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO ROTOR NO FLUXO DO
EFLUENTE EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO.**

**Trabalho de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia de Elétrica da
Universidade de Taubaté, como parte dos
requisitos para obtenção do diploma de
Graduação em Engenharia de Energia.**

Orientador: Prof. Dr. Marcio Abud Marcelino.

Taubaté-SP

2018



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
E-mail: eng.eletrica@unitau.br

GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO ROTOR NO FLUXO DO EFLUENTE EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO.

AUGUSTO ROCHA DE OLIVEIRA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA DE ENERGIA”

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. MÁRCIO ABUD MARCELINO

Orientador/UNITAU-DEE

Eng. FÁBIO SOARES

Membro externo

Eng. FELIPE AUGUSTO RIBEIRO ROMAIN

Membro externo

DEZEMBRO – 2018

De modo especial, aos meus pais, que confiaram em mim, seus esforços para que eu ingressasse na graduação e persistisse até o fim do curso, primando pela excelência.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado coragem e determinação para superar as dificuldades. Ao corpo docente dessa Universidade, técnicos e administração que deram oportunidade à caminhada profissional que hoje vislumbro um horizonte superior, pela confiança no mérito ético aqui presente. Ao meu orientador Prof. Márcio Abud Marcelino, pelo suporte no tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos. Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

“Confiai-lhe todas as vossas preocupações, porque Ele tem cuidado de vós.” 1 Pd 5,7

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo de um processo de geração de energia elétrica, buscando a autossuficiência para alimentar uma célula eletrolítica de desinfecção em uma Estação de Tratamento de Esgoto, em substituição ao tradicional tratamento com cloro, que embora seja muito eficiente na eliminação de patógenos, em contato com a matéria orgânica, libera trihalometanos que são altamente cancerígenos e prejudiciais à saúde humana. A descrição completa de um processo de tratamento de esgoto para o consumo humano foi apresentado objetivando o conhecimento de todas as etapas e necessidades do tratamento, incluindo as exigências legais, para propor um tratamento alternativo que possa evitar os inconvenientes do cloro. As alternativas estudadas, cujos custos são promissores, envolvem o tratamento com eletrólise, sendo que o maior desafio é suprir o efeito residual que o tratamento com o cloro mantém nas tubulações. O estudo se justifica devido ao número crescente de pessoas com câncer no intestino, embora o desafio seja árduo para substituir uma tecnologia já consagrada. A descrição dos circuitos para automação dos processos por fluxo contínuo foi apresentada em substituição aos processos realizados por batelada na desinfecção com o cloro. O foco deste trabalho é a geração de energia elétrica no fluxo do efluente, nesse caso em uma estação de tratamento de esgoto, porém futuramente a ideia podendo ser aperfeiçoada e utilizada em diversos segmentos e áreas.

Palavras-chave: Geração; Fluxo do efluente, Desinfecção; Eletrólise.

SUMMARY

This work presents the study of a process of electric power generation, seeking self-sufficiency to feed an electrolytic disinfection cell in a Sewage Treatment Station, replacing the traditional chlorine treatment, which although very efficient in the elimination of pathogens, in contact with organic matter, releases trihalomethanes that are highly carcinogenic and harmful to human health. The complete description of a sewage treatment process for human consumption was presented aiming at the knowledge of all stages and needs of the treatment, including legal requirements, to propose an alternative treatment that could avoid the inconveniences of chlorine. The studied alternatives, whose costs are promising, involve the treatment with electrolysis, and the biggest challenge is to overcome the residual effect that the treatment with chlorine maintains in the pipes. The study is justified because of the growing number of people with bowel cancer, although the challenge is hard to replace an already established technology. The description of the circuits for automation of the processes by continuous flow was presented in substitution to the processes realized by batch in the disinfection with the chlorine. The focus of this work is the generation of electric energy in the effluent flow, in this case in a sewage treatment plant, but in the future the idea can be improved and used in several segments and areas.

Keywords: Generation; Effluent flow; Disinfection; Electrolysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Interações Dentro de um Reator de Eletrolise para Eletrodos de Alumínio	23
Figura 2. Vista Geral da estação de tratamento de esgoto	27
Figura 3. Sistema de drenagem de areia	28
Figura 4. Tanque de decantação.....	29
Figura 5. Reatores biológicos oxigenados	29
Figura 6. <i>Waterotor</i>	38
Figura 7. <i>Waterotor</i> submerso	38
Figura 8. Edificações para Cloração na ETE de Taubaté.....	42
Figura 9. Turbina <i>Pelton</i> com gerador acoplado.....	46
Figura 10. Turbina <i>Francis</i>	46
Figura 11. Turbina <i>Kaplan</i>	47
Figura 12. Gráfico ideal de turbina.....	48

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1: Tabela com ranking de tarifa residencial – R\$/kWh.....	39
Tabela 2: Tabela com as curvas de potência do <i>waterotor</i>	41
Tabela 3. Parâmetros durante os testes.....	44
Tabela 4. Valores potência e vazão.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS:

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
A	Ampères
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Cl	Cloro
Col	Coliformes Fecais
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
CRL	Cloro Residual Livre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DDP	Diferença de Potencial
E.coli	Escherichia coli
EC	Eletrocoagulação
EEAB	Estação Elebatória de Água Bruta
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
HCIO	Ácido Hipocloroso
KWh	Kilo Watt hora
Log	Unidade de medida para grau de inativação de microrganismos
mA	Miliampère
mg/L	Miligrama por Litro
mJ/cm²	Mili Joules por Centímetro quadrado

Mm	Milímetro
mph	Metros por hora
Nm	nanômetros
NTU	Nível de Turbidez*
OMS	Organização Mundial da Saúde
ppm	partes por Milhão
SST	Sólidos Suspensos Totais
THD	Distorção Harmônica Total
THM	Trihalometanos
uT	Unidades de Turbidez

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.2 JUSTIFICATIVAS.....	16
1.3 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS	17
2. PROCESSO DE DESINFECÇÃO	18
2.1 Eletrólise.....	18
2.1.1. Eletrocoagulação e Eletrofloculação	21
2.1.2. Vantagens e Desvantagens do processo de Eletrolítico.....	22
2.2. Leis que regem o processo de tratamento de água.....	24
3. PROCESSO CONVENCIONAL DE TRATAMENTO DE ESGOTO E ÁGUA	27
3.1. Etapas do tratamento de esgoto em uma ETE.....	27
3.2. Tipos de tratamento de esgoto na SABESP	30
3.3. Etapas do tratamento de água	32
3.4. Comparativo entre os tratamentos	33
4. AUTOGERAÇÃO	34
4.1. Investimentos nacionais	35
4.1.1. Os exemplos	36

4.2. Venda de energia não utilizada	37
4.3. Características para instalação de micro e minigeradoras.....	38
5. GERAÇÃO COM ROTOR NO FLUXO DO EFLUENTE	39
5.1. Definição	39
5.2. Consumo e características.....	41
6. Aplicação do rotor de água na ETE	44
6.1. Implementação no processo de tratamento	44
6.2. Turbinas hidráulicas	45
6.2.1. Tipos de turbinas	45
6.3. Cálculos de Vazão, potência e rendimento	49
7. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	50
8. CONCLUSÃO	52
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. INTRODUÇÃO

Até os seis primeiros meses de vida, o ser humano se restringe a ingerir somente o leite materno e após isto, o principal fluido e mais importante a ser ingerido até o fim da vida, é a água. A mesma que hidrata e constitui 70% do corpo humano, é também porta de entrada para diversos patógenos e, ao longo da história, várias doenças se deram pelo consumo de água contaminada, tais como: cólera, febre tifoide, hepatite infecciosa, leptospirose, entre outras, causando a morte de inúmeras pessoas. Muitos métodos são utilizados para suprimir essas infecções e manter a água dentro dos níveis de potabilidade para o consumo humano, entre eles pode se citar os que empregam: calor, luz solar, cloro, ácido peracético, ozônio, combinação ozônio/cloro e radiação ultravioleta. Devido à facilidade de aplicação, ao baixo custo e a alta eficiência, a adição de cloro é o método mais utilizado atualmente no Brasil, chegando a ser usado em 90% das estações de tratamento de água.

Estaria tudo certo se o cloro não reagisse com a matéria orgânica presente na água, como os ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, clorofila etc., formando triclorometano, também conhecido como clorofórmio (CHCl_3), substância pertencente à classe dos trihalometanos (THM). Na década de 70, estudos mostravam que esses compostos causam diversos males à saúde humana incluindo problemas no sistema reprodutivo, abortos espontâneos e maior propensão ao câncer. Em 1974, pesquisadores americanos, realizando estudos pela *U.S. Environmental Protection Agency* em 113 estações de tratamento de água (ETA's), relacionaram a presença do clorofórmio na água e a incidência de câncer (E. U. A., 1974). Nos anos 90, essa substância, que das substâncias THM's é a mais estudada, mostrou se carcinogênica para ratos causando tumores de fígado, estômago, rins, tireóide, intestino e reto nas cobaias. Como o metabolismo desses roedores é semelhante ao humano, existe considerável suspeita de que essa substância também possa causar câncer nos seres humanos (E. U. A., 1974). Muitos outros métodos existem para substituir a cloração da água como método de desinfecção já utilizado em muitos países, porém os mesmo perdem para o cloro na questão econômica que inviabilizam muitos deles. Este trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade da geração

de energia elétrica através de rotores no fluxo do efluente combinado à implantação dos métodos eletrolíticos como alternativa para substituir o cloro nas estações de tratamento de esgoto (ETE's).

1.1 OBJETIVOS

Estudar a utilização de rotores no fluxo da água (conhecidos como *waterotor*) para geração de energia elétrica em um processo de tratamento de esgoto, para possibilitar o estudo de viabilidade técnica, através dos aspectos legais e econômicos, do processo eletrolítico para empregá-lo na desinfecção da água em estações de tratamento de esgoto. E possibilitar um futuro estudo para utilização do *waterotor* em diferentes locais que possuam passagem de água com lentas correntezas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), atualmente uma a cada seis mortes no mundo é causada por câncer. Mais de 14 milhões de pessoas desenvolvem a doença a cada ano e a projeção indica que esse número irá atingir 21 milhões em 2030. Livrar nosso bem mais precioso, a água, do cloro é dar um passo para iniciar a reversão deste quadro. Para justificar um método alternativo sem o uso de produtos químicos, deve-se conhecer as exigências legais a fim de assegurar a qualidade e os padrões físicos, químicos e biológicos do produto final, a água tratada. Para livrar a água do cloro e mostrar a eficiência da geração de energia através de rotores no fluxo do efluente, foram descritos os processos alternativos bem como sua prospecção econômica promissora, visto que o advento da geração de energia elétrica pode suprir a demanda energética dos processos, já que 1,3 bilhão de pessoas estão sem eletricidade, e mais de 800 milhões de pessoas dependem de uma geração de alto custo, poluindo o planeta com a utilização de combustíveis fósseis (*Waterotor*, 2018).

1.3. DESCRIÇÃO DE CAPÍTULOS

Na introdução deste trabalho é apresentado o tema indicando a problemática do processo atual.

O capítulo dois, “Processo de Desinfecção”, apresenta a revisão dos conceitos dos processos de desinfecção alternativos ao atual apresentados neste trabalho.

O capítulo três, “Processo Convencional de Tratamento de Esgoto”, apresenta o atual processo de desinfecção, tomado como base o método utilizado na cidade de Taubaté, pela empresa SABESP.

O capítulo quatro, “Autogeração”, apresenta formas de investimentos nacionais e características de micro e minigeração de energia.

O capítulo cinco “Geração com rotor no fluxo do efluente”, apresenta características do equipamento utilizado nesse trabalho.

O capítulo seis “Aplicação do rotor de água na ETE”, apresenta a implantação de rotores de água no processo de tratamento de esgoto, para alimentação da célula eletrolítica.

O capítulo sete “Análise de viabilidade econômica”, foi desenvolvido para se aferir a eficácia da geração nesse caso no processo de desinfecção utilizado.

Por fim, no capítulo oito “Conclusão”, trás os comentários sobre a pesquisa, sugerindo futuras melhorias.

2. PROCESSO DE DESINFECÇÃO

2.1. Eletrólise

Segundo Barbosa (2016), defini-se por eletrólise toda reação química não espontânea gerada por uma fonte externa. Para se induzir a corrente elétrica através de uma célula eletrolítica e produzir um processo reativo não espontâneo, deve ser aplicada na célula uma diferença de potencial (DDP), que deve exceder ao potencial de corrente zero por um valor chamado de sobrepotencial da célula. Nos processos de reação eletrolíticos, o eletrodo que doa elétrons é o catodo, produzindo a redução no qual assume carga negativa, enquanto que o eletrodo que recebe elétrons é o anodo, produzindo a oxidação ficando com carga positiva em relação ao catodo. Os elétrons sempre caminharão do anodo para o catodo, seja o processo espontâneo ou não.

Segundo as leis de Faraday (SINOTI, 2005):

- A quantidade de substância que reage, devido ao desgaste do eletrodo ou à deposição no mesmo, ao passar uma corrente contínua, é proporcional à intensidade da corrente e à duração da eletrólise.
- Se a corrente elétrica que passa através do eletrodo for contínua, a massa da substância que reage será proporcional ao equivalente químico da substância, que relaciona sua massa com a capacidade de transferência de elétrons num determinado processo.

Os gases produzidos pela eletrólise, como hidrogênio e o oxigênio, enquanto se elevam, são adsorvidos pelos flocos de hidróxidos, arrastando-os até a superfície do líquido. Promove-se assim, o processo de eletroflotação, levando também outras impurezas do meio (SANTOS et al., 2015).

Para um melhor entendimento do método, alguns conceitos que fundamentam a eletrólise serão elencados a seguir, bem como uma breve descrição dos termos mais utilizados é apresentada (Denaro, 1974):

Anodo: Na eletrólise é o eletrodo positivo.

Catodo: Na eletrólise é o eletrodo negativo.

Condutores eletrolíticos são onde ocorrem a transferência de massa associada à passagem de corrente elétrica. Podem ser substâncias puras ou soluções. A corrente é transportada pelos íons que percorrem a solução, em direção aos eletrodos e, em consequência, resulta em uma variação de concentração ao longo da solução. Nestes condutores a corrente está associada à movimentação de cargas, tanto negativas quanto positivas, em sentidos opostos.

A resistência R de qualquer condutor elétrico é proporcional o seu comprimento (l) e inversamente proporcional à área de sua seção transversal (A). Portanto, de acordo com a equação (2.1):

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (2.1)$$

Onde ρ é uma constante conhecida como resistividade do material condutor. A condutividade (k) é definida como sendo o inverso da resistividade. Assim, de acordo com a equação (2.2):

$$k = \frac{1}{\rho} \quad (2.2)$$

Utilizando de termos de resistência, temos pela equação (2.3):

$$k = \frac{l}{RA} \quad (2.3)$$

Pela a lei de Ohm (equação 2.4):

$$R = \frac{U}{I} \quad (2.4)$$

Onde:

$$U = \text{DDP}$$

$$I = \text{Corrente}$$

Então:

$$k = \frac{I \times l}{UA} \quad \text{ou} \quad k = \frac{I/A}{U/l} \quad (2.5)$$

Onde I/A é a corrente por unidade de área da seção transversal, também denominada como densidade de corrente e representada pelo símbolo J . U/l é a queda de tensão por unidade de comprimento, e é conhecida como gradiente de potencial, ou intensidade de campo elétrico (\vec{E}). Portanto (DENARO, 1974):

$$k = \frac{J}{\vec{E}} \quad (2.6)$$

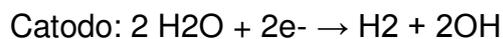
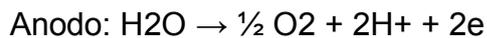
A medida da condutividade se torna muito útil quando se deseja avaliar a possibilidade de utilização de um processo eletrolítico. Assim, pelas equações (2.1) a (2.6), pode-se notar que quanto maior a condutividade, maior a possibilidade de se utilizar o processo, visto que sua resistência será menor. Em linhas gerais, segundo Santos et al (2015), os fatores que poderão influenciar a eletrólise são:

- Material dos eletrodos;
- Natureza dos compostos responsáveis pela condutividade da solução (eletrólitos) ou nela dissolvidos;
- Grau de retificação da corrente elétrica (onda completa, meia onda).

Entre os fatores mais importantes ao controle imediato das aplicações práticas estão:

- Tensão entre eletrodos;
- Densidade de corrente elétrica nas faces dos eletrodos e
- Afastamento entre eletrodos e condutividade elétrica do eletrólito, que depende da carga orgânica do efluente.

Na eletrólise da água acontecem as seguintes reações, com a formação de gases eletrolíticos:



A água é reduzida ao hidrogênio no catodo e oxidada ao oxigênio no anodo. Esses gases ajudam na flotação dos poluentes presentes no meio para a superfície.

2.1.1. Eletrocoagulação e Eletrofloculação

A eletrocoagulação (EC) é um processo físico/químico, onde se utiliza eletrodos de sacrifício a fim de ceder íons para a solução, sendo capaz de remover partículas dissolvidas, sólidos suspensos, óleos e graxas da solução aquosa. Envolve a aplicação de corrente elétrica em eletrodos de sacrifício instalados em um reator onde a corrente gera o agente coagulante e bolhas de gás hidrogênio. O agente coagulante é produzido pela dissolução elétrica de íons alumínio ou ferro a partir de eletrodos, que em pH adequado, leva à formação de hidróxidos metálicos insolúveis capazes de remover poluentes por atração eletrostática.

A eletrofloculação resulta da passagem de eletricidade pela água que desestabiliza a solução e coagula os contaminantes. Os contaminantes são colocados sob fortes campos elétricos propiciando reações de oxirredução sendo levados a estados químicos menos reativos, insolúveis e de maior estabilidade. Ocorre a formação de flocos insolúveis coagulados na forma de agregados. Quando os flocos apresentam o tamanho apropriado, são separados por sedimentação, flotação ou por filtração (Di Bernardo, 1993).

2.1.2. Vantagens e Desvantagens do processo de Eletrolítico

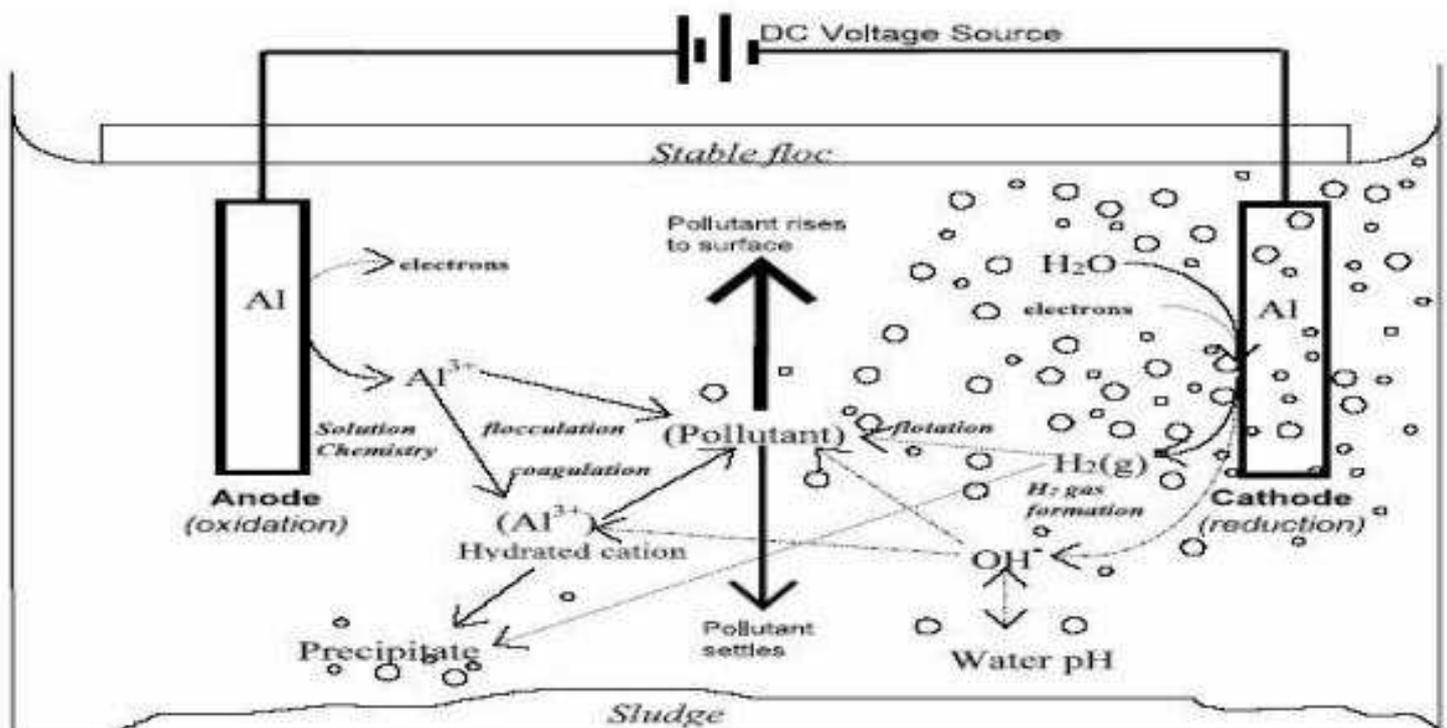
O processo de eletrolítico se mostra muito eficiente em diferentes aspectos, desde sua simplicidade até sua resposta em coagulação das impurezas. Segundo Mollah *at all* (2001), suas principais vantagens e desvantagens são:

- A EC exige equipamentos simples e de fácil de operação, com suficiente latência operacional para lidar com a maioria dos problemas encontrados na execução.
- As águas tratadas pela EC deixam o efluente claro, incolor e inodoro.
- Os flocos formados pela EC são semelhantes à floculação química, contendo menos água ligada, é resistente a ácidos e mais estável e, portanto, podem ser separados mais rapidamente por filtração.
- O processo EC tem a vantagem de remover as partículas coloidais menores, porque o campo elétrico aplicado, coloca em movimento mais rápido, facilitando assim a coagulação.
- O processo eletrolítico evita as utilizações de produtos químicos, neutralizando o excesso de químicos e ficando com nenhuma possibilidade de poluição secundária, causada por substâncias químicas adicionadas em alta concentração.
- As bolhas de gás produzidas durante a eletrólise podem transportar o poluente para o topo da solução onde pode ser mais facilmente concentrada, coletada e removida.
- Os processos eletrolíticos na célula EC são controlados eletricamente sem partes móveis, exigindo assim menos manutenção.
- A técnica da EC pode ser convenientemente utilizada em áreas rurais onde a eletricidade não está disponível, uma vez que geradores alternativos ligados à unidade pode minimizar o problema.

Já suas desvantagens são:

- Os eletrodos de sacrifício são dissolvidos pela água como resultado da oxidação, e precisam ser substituídos periodicamente.
- Uma película de óxido impermeável pode ser formada no cátodo, levando a perda de eficiência com o tempo.
- É necessário que o meio tenha alta condutividade. Segundo Santos et al (2015) durante o tratamento por eletrocoagulação, os fenômenos decorrente da EC são: redução catódica e química da matéria orgânica e inorgânica e formação de depósitos catódicos metálicos, interação química entre íons de ferro ou de alumínio, flotação de sólidos e de impurezas emulsionadas pelas bolhas de gás hidrogênio produzidas no catodo (processo de eletroflotação) e adsorção de íons e moléculas de impurezas dissolvidas e emulsionadas nas superfícies dos hidróxidos de alumínio e ferro. A geração de coagulantes e hidróxidos metálicos no anodo e bolhas de gás hidrogênio no catodo, para o alumínio, estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1. Interações Dentro de um Reator de Eletrolise para Eletrodos de Alumínio.



Fonte: (HOLT at all, 2002)

2.2. LEIS QUE REGEM O PROCESSO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Este trabalho tem também o intuito de estudar as normas vigentes sobre o tratamento e desinfecção de esgoto, regulamentados por resoluções nacionais e estaduais. No que se referem esgoto, a resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, a qual classifica os corpos de água e ainda traça outras diretrizes ambientais. Também estabelece condições para o lançamento de efluentes. Essa resolução tem como objetivo complementar (e alterar parcialmente) a anterior, nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). No entanto, cada estado tem seus próprios decretos. Tomando como exemplo o Estado de São Paulo, desde 1976, está em vigor o decreto 8468/76, o qual dispõe os parâmetros para a liberação de efluentes tratados nos rios ou nas redes de esgoto com os artigos 18 e 19^a. Dentro desses dispositivos legais, estão estabelecidos alguns limites, como o máximo de poluentes permitidos no efluente. Outro critério avaliado é o padrão de qualidade do corpo receptor. Em outras palavras, se a qualidade da água do rio não vai ser modificada devido ao descarte dos poluentes. A mesma se inicia dispondo algumas definições para melhor entendimento e esclarecimento dos termos elencados, segundo Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Artigo 18:

Artigo integrante do decreto 8.468/76 da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) define os parâmetros de lançamento de efluentes provenientes de qualquer fonte poluidora, direta ou indiretamente, nas coleções de água. Além de obedecerem aos limites deste artigo, os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características em desacordo com o enquadramento do mesmo, na Classificação das Águas.

Artigo 19A:

Artigo também integrante do decreto 8.468/76 da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Define as condições de lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora em sistemas de esgotos, provido de tratamento com capacidade e de tipo adequados. São parâmetros cujos limites

estão estabelecidos neste artigo: Temperatura, materiais sedimentáveis, óleos e graxas e várias outras substâncias solúveis.

Caracterização:

A caracterização consiste em determinar as principais características físico-químicas, biológicas, qualitativas e/ou quantitativas da amostra. Os parâmetros analisados dependem para qual fim serão utilizados. Como exemplo podemos utilizar as concentrações de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Suspensos Totais (SST) para calcular a carga poluidora dos efluentes. Os resultados analíticos auxiliam na classificação do resíduo/efluente e escolha da melhor destinação do mesmo.

DBO:

A Demanda Bioquímica de Oxigênio ou Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) corresponde à quantidade de oxigênio consumido na degradação da matéria orgânica por processos biológicos. Sua medida é mg/L de oxigênio.

Conhecer a DBO é importante para verificar a necessidade de oxigenação necessária para degradar a matéria orgânica e para saber se o descarte direto ou pós-tratamento não vai comprometer os níveis de oxigênio dissolvido nos corpos d'água.

A Resolução do CONAMA 430 estabelece que a condição ideal para despejo no corpo d'água esteja com a DBO seja de 60%.

DQO:

A Demanda Química de Oxigênio, identificada pela sigla DQO, avalia a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) consumido em meio ácido que leva à degradação de matéria orgânica, sendo essa biodegradável ou não. É neste ponto que ela se diferencia da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), onde

é medida a quantidade de oxigênio necessária para ocorrer a oxidação da matéria orgânica biodegradável.

SST:

Sólidos Suspensos Totais representa a concentração de sólidos presente em uma amostra, podendo estar em suspensão ou decantados.

3. PROCESSO CONVENCIONAL DE TRATAMENTO DE ESGOTO E ÁGUA

Este trabalho apresenta as etapas do processo de captação e tratamento de esgoto e água mais consolidado e fazendo inferência ao método utilizado na ETE e na ETA da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) Taubaté-SP. A figura 2 apresenta uma imagem da estação de tratamento de esgoto Taubaté/Tremembé.

Figura 2. Vista Geral da estação de tratamento de esgoto.



Fonte: (SABESP, 2018)

3.1. Etapas do tratamento de esgoto em uma ETE

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) são unidades operacionais do sistema de saneamento que especificamente recebem as cargas poluentes do esgoto e devolve o efluente tratado a corpos d'água como rios, reduzindo os eventuais impactos ambientais que poderiam ser causados sem o devido tratamento, além de evitar que empresas sejam punidas legalmente e judicialmente pela destinação incorreta dos efluentes gerados.

As principais etapas do processo:

- Após a distribuição nas residências, a água utilizada para higiene pessoal, alimentação e limpeza vira esgoto. Ao deixar as casas, ele vai para as redes coletoras, passa pelos coletores, troncos e interceptores até chegar às Estações de Tratamento de Esgotos.
- Rede de esgotos
- Grades: Antes de ser tratado, o esgoto passa por grades para retirar a sujeira (papel, plástico, tampinha, entre outros).
- Caixa de areia: Depois de passar pelas grades, o esgoto é transportado para uma caixa que vai retirar a areia contida nele, a figura 3 apresenta o sistema de drenagem de areia e a figura 4 apresenta o sistema de decantação.

Figura 3. Sistema de drenagem de areia.



Fonte: (MARCELINO, 2016)

Figura 4. Tanque de decantação



Fonte: (Marcelino, 2016)

- Decantador primário: Após a caixa de areia, o esgoto é enviado aos decantadores primários onde ocorre a sedimentação de partículas mais pesadas. A figura 5 apresenta os reatores biológicos oxigenados.

Figura 5. Reatores biológicos oxigenados



Fonte: (MARCELINO, 2016)

- **Tanques de aeração:** O esgoto é composto por matéria orgânica e microrganismos. Nos tanques de aeração, o ar fornecido faz com que os microrganismos ali presentes multipliquem-se e alimentem-se de material orgânico, formando o lodo e diminuindo assim a carga poluidora do esgoto.
- **Decantador secundário:** Nos decantadores secundários, o sólido restante vai para o fundo e a parte líquida já está sem 90% das impurezas.

3.2. Tipos de tratamento de esgoto na SABESP

A SABESP adota diferentes processos para tratamento dos esgotos, dependendo do tipo de situação. São eles:

- **Lodo ativado** - É um tratamento biológico utilizado nas estações de maior capacidade de tratamento. O processo convencional tem como objetivo a remoção da matéria orgânica com uma eficiência de aproximadamente 90% e consiste em duas fases: líquida e sólida.

Após o processo de degradação da matéria orgânica nos tanques de aeração e do processo de sedimentação que ocorre nos decantadores secundários, o efluente clarificado é devolvido ao meio ambiente.

A fase sólida diz respeito ao tratamento e disposição da massa biológica, chamada de lodo gerada durante o tratamento. Nesta etapa do tratamento são adicionados produtos químicos ao lodo para condicionamento e desaguamento e disposição em centrífugas ou filtros prensas para aumentar o teor de sólidos para transporte e disposição final em aterros sanitários aprovados pelo órgão ambiental.

- **Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA)** – É um reator fechado. O tratamento biológico ocorre por processo anaeróbio, isto é, sem oxigênio. A decomposição da matéria orgânica é feita por microorganismos presentes num manto de lodo.

O esgoto sai da parte de baixo do reator e passa pela camada de lodo que atua como um filtro. A eficiência atinge de 65% a 75% e, por isso, é necessário um tratamento complementar que pode ser feito através da lagoa facultativa.

- **Lagoa facultativa** – Tem de 1,5 a 3 metros de profundidade. O termo "facultativa" refere-se à mistura de condições aeróbias e anaeróbias (com e sem oxigenação). Em lagoas facultativas, as condições aeróbias são mantidas nas camadas superiores das águas, enquanto as condições anaeróbias predominam em camadas próximas ao fundo da lagoa.

Embora parte do oxigênio necessário para manter as camadas superiores aeróbias seja fornecido pelo ambiente externo, a maior parte vem da fotossíntese das algas, que crescem naturalmente em águas com grandes quantidades de nutrientes e energia da luz solar.

As bactérias que vivem nas lagoas utilizam o oxigênio produzido pelas algas para oxidar a matéria orgânica. Um dos produtos finais desse processo é o gás carbônico, que é utilizado pelas algas na sua fotossíntese.

Este tipo de tratamento é ideal para comunidades pequenas, normalmente situadas no Interior do Estado.

- **Lagoa anaeróbia** – Neste caso, as lagoas são profundas, entre 3 e 5 metros, para reduzir a penetração de luz nas camadas inferiores. Além disso, é lançada uma grande carga de matéria orgânica, para que o oxigênio consumido seja várias vezes maior que o produzido.

O tratamento ocorre em duas etapas. Na primeira, as moléculas da matéria orgânica são quebradas e transformadas em estruturas mais simples. Já na segunda, a matéria orgânica é convertida em metano, gás carbônico e água.

- **Lagoa aerada** – O processo necessita de oxigênio e a profundidade das lagoas varia de 2,5 a 4,0 metros. Os aeradores servem para garantir oxigênio no meio e manter os sólidos bem separados do líquido (em suspensão). A qualidade do esgoto que vem da lagoa aerada não é adequada para lançamento direto, pelo fato de conter uma grande quantidade de sólidos. Por isso, são geralmente seguidas por lagoas de decantação para remoção dos sólidos.
- **Baias e valas de infiltração** – Trata-se de um tratamento complementar que consiste na passagem do esgoto por um filtro instalado no solo, formado por pedregulho e areia.
- **Flotação** – É um processo físico-químico, no qual uma substância coagulante ajuda na formação de flocos. Com isso, as partículas ficam mais concentradas e fáceis de serem removidas. Para ajudar no tratamento, a água é pressurizada, formando bolhas que atraem as partículas, fazendo com que elas flutuem na superfície. O lodo formado é removido e enviado para disposição final.

3.3. Etapas do tratamento de água

As estações de tratamento de água (ETA's) da SABESP funcionam como verdadeiras fábricas para produzir água potável. Das 240 estações: 28 abastecem a Região Metropolitana de São Paulo, e as outras 212 fornecem água aos municípios do interior e litoral do Estado.

Atualmente, são tratados até 119 mil litros de água por segundo. É um número bem expressivo, mas que ainda pode aumentar. Projetos de extensão e melhorias dos sistemas de abastecimento estão em andamento (SABESP, 2018).

O processo convencional de tratamento de água é dividido em fases. Em cada uma delas existe um rígido controle de dosagem de produtos químicos e acompanhamento dos padrões de qualidade.

- **Captação e Bombeamento:** Após a captação, a água é bombeada para as Estações de Tratamento de Água. Depois de bombeada, a água passará por um processo de tratamento, passando por diversas etapas explicadas a seguir.
- **Pré-cloração:** Adição de cloro assim que a água chega à estação para facilitar a retirada de matéria orgânica e metais.
- **Pré-alcalinização:** Adição de cal ou soda à água para ajustar o pH aos valores exigidos para as fases seguintes do tratamento.
- **Coagulação:** Adição de sulfato de alumínio, cloreto férrico ou outro coagulante, seguido de uma agitação violenta da água para provocar a desestabilização elétrica das partículas de sujeira, facilitando sua agregação.
- **Floculação:** É o processo onde a água recebe uma substância química chamada de sulfato de alumínio. Este produto faz com que as impurezas se aglutinem formando flocos para serem facilmente removidos.
- **Decantação:** Os flocos de sujeira são mais pesados do que a água caem e se depositam no fundo do decantador.
- **Filtração:** Nesta fase, a água passa por várias camadas filtrantes onde ocorre a retenção dos flocos menores que não ficaram na decantação. A

água então fica livre das impurezas. Estas três etapas: floculação, decantação e filtração recebem o nome de clarificação. Nesta fase, todas as partículas de impurezas são removidas deixando a água límpida. Mas ainda não está pronta para ser usada. Para garantir a qualidade da água, após a clarificação é feita a desinfecção.

- **Cloração:** Consiste na adição de cloro. Este produto é usado para destruição de micro-organismos presentes na água.
- **Fluoretação:** É uma etapa adicional. O produto aplicado tem a função de colaborar para redução da incidência da cárie dentária.
- **Reservatório:** Após o tratamento, a água tratada é armazenada inicialmente em reservatórios de distribuição e depois em reservatórios de bairros, espalhados em regiões estratégicas das cidades.
- **Distribuição:** Desses reservatórios a água vai para as tubulações maiores (denominadas adutoras) e depois para as redes de distribuição até chegar aos domicílios.
- **Redes de distribuição:** Depois das redes de distribuição, a água geralmente é armazenada em caixas d'água. A responsabilidade da SABESP é entregar água até a entrada da residência onde estão o cavalete e o hidrômetro (o relógio que registra o consumo de água). A partir daí, o cliente deve cuidar das instalações internas e da limpeza e conservação do reservatório.

3.4. Comparativo entre os tratamentos

Um ponto muito importante que é facilmente confundido e deve-se observar é a diferença entre os fluídos finais após cada tratamento. Na estação de tratamento de água o fluído final é a água tratada que vai direto para as redes de distribuição e após processo de purificação, pode ser consumida. Já na estação de tratamento de esgoto o fluído final é água que não pode ser bebida. Ela é lançada nos rios ou reaproveitada para limpar ruas, praças e regar jardins.

4. AUTOGERAÇÃO

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) quer estimular os consumidores residenciais a investirem em projetos de autogeração de energia. O órgão regulador abriu audiência pública para simplificar e padronizar os processos para incentivar a geração de energia por meio de fontes alternativas.

O Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) passou a permitir que os Estados deixem de cobrar duas vezes o ICMS que incide sobre a energia gerada e consumida. Já aderiram ao convênio os Estados de Goiás, Pernambuco, São Paulo e Minas Gerais, que representam 46% dos consumidores residenciais e comerciais de todo o País. Os demais Estados também podem aderir se desejarem.

Por meio do convênio, os consumidores desses Estados que quiserem investir em projetos de autogeração de energia vão pagar ICMS apenas uma vez. Como exemplo, uma família que consome 200 kilowatt-hora de energia por mês e que consiga produzir 120 kWh pagará ICMS apenas sobre a diferença entre o volume gerado e o consumido, ou seja, 80 kWh.

Segundo o relator do processo, diretor Tiago de Barros Correia, o foco do projeto são os consumidores residenciais com consumo médio mensal de 200 kWh. Para esses consumidores, o investimento em painéis solares para produzir o suficiente para gerar toda a energia que gastam seria de R\$ 12 mil - a relação é de R\$ 8 mil por 1 kW pico. Uma família com consumo mensal de 400 kWh teria que investir R\$ 24 mil.

De acordo com a Aneel, o retorno do investimento se dá em cinco anos. A Aneel calculou que 700 mil residências podem aderir ao programa até 2024, o equivalente a 2 GW de potência instalada. Também segundo Correia, o órgão regulador vai consultar os Ministérios da Fazenda e do Planejamento para verificar a possibilidade de acabar com a bitributação de PIS/Cofins sobre a energia gerada e a consumida.

A Aneel propõe que sejam aceitos projetos de microgeração com potência de 1 kW a 75 kW e de minigeração de 75 kW a 5MW - exceto para pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), cujo limite será de 3 MW. Também poderão aderir condomínios residenciais e comerciais, como shoppings centers. A energia gerada terá o mesmo preço da energia consumida para todos os clientes. Serão aceitos projetos de fontes renováveis e de cogeração.

4.1. Investimentos nacionais.

A energia elétrica representa um dos principais (e mais altos) custos da produção nas empresas brasileiras. Buscando a redução de custos operacionais e maior competitividade no mercado, o setor industrial vem ampliando seus sistemas de autogeração de energia.

No setor siderúrgico nacional, com os investimentos efetuados, a autogeração já é responsável pelo suprimento de quase metade da energia consumida. E a previsão é de que as empresas, além de suprir suas necessidades, amplie de tal forma a autogeração, que a atividade comece a ser uma fonte adicional de receita.

Mesmo necessitando da definição do Governo Federal para alguns parâmetros – por se tratar de uma regulamentação recente –, a micro e minigeração de energia elétrica já está liberada para os consumidores da ponta (domiciliar e empresarial). É considerado um investimento com retorno econômico relativamente rápido (entre cinco e dez anos) e pode girar em torno de R\$ 2,3 mil e R\$90 mil. O custo dependerá do consumo de energia do contratante e, conseqüentemente, do tipo e da complexidade do sistema.

Representantes dos setores de geração eólica e solar afirmam que grandes companhias intensificaram suas pesquisas para ter a sua própria produção. Elas têm projetos para instalar energia distribuída ou seja, gerar parte do que gastam e descontar esses valores das contas de luz. Clientes com alto consumo podem fazer contratos com fornecedores específicos no mercado livre e se proteger de eventuais altas de tarifas.

Por que, então, as companhias se interessam em ter suas próprias usinas?

"Um motivo é acoplar à imagem delas uma ideia de sustentabilidade", diz Elbia Gannoum, presidente-executiva da associação do setor eólico (ABEEÓLICA)

Os valores de instalação das renováveis têm caído, o que incentiva as empresas a investir em seus projetos e sair da tutela do governo.

4.1.1. Os exemplos

O Mercado Livre, empresa de comércio eletrônico, construiu uma sede nova em Osasco (SP) em 2017, e instalou painéis de energia solar. A economia na conta de energia tem sido da ordem de 48% ao mês, mas a empresa afirma que esse percentual deverá aumentar.

A Honda Energy do Brasil, subsidiária da Honda Automóveis do Brasil, avança em seu compromisso ambiental e anuncia que irá suprir, a partir de novembro deste ano, toda a demanda de energia elétrica do escritório da marca localizado no bairro do Morumbi, capital paulista.

O Google está cansado de lidar com empresas regulamentadas. Eles temem falhas de fornecimento e precisam de energia elétrica mais confiável. Eles já estão gerando a sua própria energia.

A Claro Brasil foi a primeira empresa de telefonia a construir sua própria rede de geração de energia. Ela prevê inaugurar vinte parques solares apenas em 2018, e também planeja gerar energia eólica.

4.2. Venda de energia não utilizada

Desde 2012, a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 (ANEEL, 2012) libera o consumidor para gerar sua própria energia, por meio de fontes renováveis (hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada). Em caso de produção excedente, o produtor dessa energia pode fornecer para a rede de distribuição de sua localidade. A prática é conhecida como micro e minigeração distribuídas de energia elétrica.

Quem pode solicitar? Clientes de média e baixa tensão (indústria, comércio e residência).

Procedimentos: O cliente deve solicitar à distribuidora local o acesso à rede. Além disso, consultar a lista de documentos que deve providenciar e a realização de vistoria para efetivar a conexão. Deve-se contratar um projetista/instalador para fazer o projeto e auxiliar em todo o processo de instalação. Ele vai cuidar da instalação e da ligação com a rede elétrica, mas a concessionária tem que aprovar e vistoriar tudo.

Neste sistema, o cliente instala pequenos geradores de energia em sua unidade consumidora. O que é gerado na rede é usado para abater o consumo de energia elétrica da unidade consumidora. Quando a produção é maior do que a necessidade, se obtém créditos da energia que já foi gerada. Esses créditos são válidos por 36 meses e podem ser utilizados em outra unidade, previamente cadastrada (deve estar na mesma área de concessão).

Microgeração distribuída

- Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100kW.

Minigeração distribuída

- Central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1MW.

4.3. Características para instalação de micro e minigeradoras.

- Tipo de fonte de energia (turbinas eólicas, geradores, biomassa, hidrelétricas, fotovoltaicas, entre outros).
- Se há algum processo produtivo ou se existem insumos disponíveis, tais como biomassa, dejetos animais, potencial hidráulico.
- Tecnologia e tipo dos equipamentos de geração.
- Porte da unidade consumidora e da central geradora a ser instalada.
- Localização (rural/urbana).
- Tarifa de energia elétrica a qual a unidade consumidora está submetida.
- Condições de financiamento e pagamento de cada projeto.
- Existência de outras unidades consumidoras que poderão usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica.

5. GERAÇÃO COM ROTOR NO FLUXO DO EFLUENTE

5.1. Definição:

Os *Waterotors* são geradores com rotor no fluxo do efluente, normalmente projetados para fluxo constante unidirecional, como nas principais correntes oceânicas, operando (gerando eletricidade) em águas lentas. Onde nenhuma outra tecnologia *in-water* foi provada, abaixo de 6,5 mph. Eles não consomem combustível, não geram emissões durante a operação, têm baixo impacto ecológico e podem ser usados para substituir tecnologias que geram CO₂ e outros gases de efeito estufa e poluentes (Waterotor, 2018).

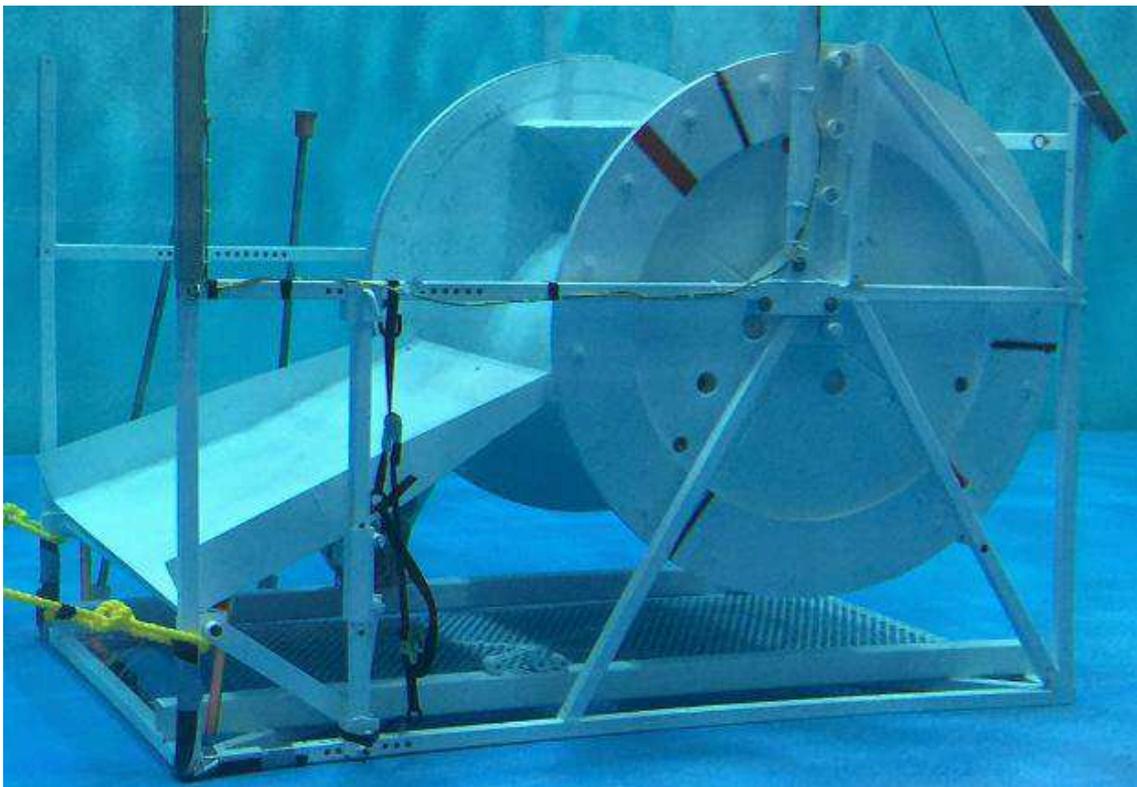
O *Waterotor* é uma tecnologia de baixo impacto ambiental, beneficiando o meio ambiente ao moderar e suavizar as taxas de fluxo para reduzir a erosão e proteger as costas e fornecer tanques móveis mais lentos atrás de cada rotor para ajudar os peixes e outros animais selvagens a viajarem contra a corrente. As pás e o rotor tipo tambor central giram em um movimento de rolamento na velocidade do fluxo do rio, e produzem uma "almofada de água" sobre o rotor para ajudar os peixes a evitar qualquer contato com o rotor. Além disso, não produz emissões ou requer engenharia civil significativa. E com a produção (quilowatts por hora), os custos que devem ser quase tão baixos quanto à energia da represa hidrelétrica, entretanto sem construção de barragens e destruição ambiental. As figuras 12 e 13 apresentam alguns modelos do *waterotor*.

Figura 6. Waterotor



Fonte: (*Waterotor*, 2018)

Figura 7. Waterotor submerso



Fonte: (*Waterotor*, 2018)

Hoje ainda não há concorrência comprovada que esteja operando ou comprovada alternativamente como uma tecnologia lucrativa; submerso no fluxo de água que se move a menos de 6,5 mph, a *Waterotor* Energy comprovou sua operação econômica de baixo custo. E que nenhuma outra forma de turbina pode combinar.

5.2. Consumo e características:

O modelo de 1.000 watts deve ser implantado como uma unidade autônoma, simples de operar, tornando a tecnologia de ponta para regiões com pouca infraestrutura ou habilidade tecnológica. Eles também são fáceis de manter. A grande área que a tecnologia do *Waterotor* pode atender inclui comunidades costeiras, ilhas oceânicas remotas e sítios rurais isolados em países em desenvolvimento. Normalmente, nesses casos, a eletricidade não está disponível devido ao custo de combustível para áreas remotas ou é muito caro. A maior parte do mundo fora da América do Norte se for a diesel, está pagando \$ 0,75 por kWh ou mais por eletricidade. No estado de São Paulo, nas regiões atendidas pela EDP-SP a média mínima de tarifa cobrada está em torno de 56 centavos/kWh. A tabela 1 apresenta o valor do kWh em uma das regiões mais populosas do Brasil

Tabela 1: Tabela com ranking de tarifa residencial – R\$/kWh
Ranking de Tarifa Residencial - R\$/kWh



Distribuidora	UF	Ranking	Tarifa Convencional	Tarifa Branca - Ponta	Tarifa Branca - Intermediária	Tarifa Branca - Fora ponta	Resolução Homologatória	Início de vigência
EDP SP	SP	15	0,562	0,946	0,606	0,449	2469/2018	23/10/18

Fonte: (ANEEL, 2018)

Algumas vantagens e características de se utilizar um *Waterotor* para geração são:

- O dispositivo é portátil (cabe na traseira de um caminhão).
- Pode ser montado no local, basta colocar areia ou concreto em dois moldes laterais para fornecer o peso (sendo necessários para manter o *Waterotor* no local até velocidades de água de 2.68 m/s), podendo ser deslocado para outro local quando necessário com pouca mão de obra.
- Precisa de profundidade mínima de água de 1,2m.
- Com componentes de aço inoxidável, que suporta corrosão em águas salgadas, moldado com plástico anticorrosivo.
- Opera sem custo de combustível que é necessário para alimentar geradores tradicionais.
- Gera energia em torno de R\$ 0,15 KWh a R\$ 0,20 KWh por hora contra alguns geradores a diesel de 5 a 10 vezes o preço.
- O *Waterotor* é ecologicamente correto, sem danos ou ruptura de peixes ou animais, pois as lâminas de Ferguson no *Waterotor* se movem na direção do fluxo na velocidade da água.
- Gerando energia 24 horas por dia 7 dias por semana, enquanto que a energia eólica ou solar tem rendimento de 20% de pico diário.

É importante notar que o consumo médio de energia nos países subdesenvolvidos é inferior a 400 watts de energia ou 3.471 kW-horas por ano por família. Somente na Europa, Austrália, Oriente Médio e América do Norte as famílias consomem mais energia do que a média mundial. A média de uso doméstico de eletricidade na América do Norte (EUA) é de aproximadamente 2,5 kW/h e de aproximadamente 22.000 kW/h por família média por ano. A tabela 2 apresenta as especificações técnicas disponíveis sobre as curvas de potência do *waterotor*.

Tabela 2: Tabela com as curvas de potência do waterotor.

WATEROTOR WETX Modelos	1 kW	10 kW	1 MW
Preço alvo estimado	US \$ 4.999	US \$ 49.999	TBD
Potência Gerada Rated @ 4 mph	1.000 watts	10.000 watts	1.000.000 de watts
Formulário de Saída de Potência	120 ou 240 volts AC 50HZ ou 60HZ		
Faixa de temperatura operacional	33,9 ° F a 113 ° F + 1 ° C ou 48,3 ° C		
Profundidade Mínima da Água	111,7 cm ou 44 pol	Profundidade submersa de pelo menos 1,5 x de altura de qualquer waterotor	
Hora de instalar no site	4 a 8 horas		
Efeito no meio ambiente / vida no rio	Nenhum		
Disponibilidade para selecionar parceiros para teste	Final de 2018	Final de 2019	TBD

Fonte: (Waterotor, 2018)

6. APLICAÇÃO DO *WATEROTOR* NA ETE.

6.1. Implementação no processo de tratamento

Em uma ETE, observa-se que o efluente do processo de tratamento após varias etapas chega a uma edificação para cloração que possui capacidade máxima para vazão de 1000l/s, mínima de 360l/s e média de 500l/s, e nessa etapa do processo faz-se a utilização da célula eletrolítica. A figura 8 apresenta a edificação para cloração na ETE.

Figura 8. Edificações para Cloração na ETE de Taubaté.



Fonte: (Marcelino, 2017)

Deste modo, torna-se possível à implementação do equipamento *Waterotor* de forma unitária ou por uma configuração em série, com os equipamentos ligados em paralelo com mais de um equipamento fazendo a geração possível para alimentação da(s) célula(s) eletrolítica(s) do sistema.

6.2. Turbinas hidráulicas.

As turbinas hidráulicas são turbinas projetadas especificamente para transformar a energia hidráulica (a energia de pressão e a energia cinética) de um fluxo de água em energia mecânica na forma de torque e velocidade de rotação.

Em toda turbina a água entra vindo de um reservatório ou canal de nível mais elevado e escapa para um canal de nível mais baixo. A água de entrada é levada através de um duto fechado até um conjunto de lâminas curvas (palhetas), bocais ou injetores que transferem a energia da água para um rotor. Conseqüentemente, a pressão e/ou a velocidade da água na saída são menores do que na entrada. A água que sai da turbina é conduzida por um duto, o tubo de sucção, até o reservatório ou canal inferior.

Algumas palhetas são estáticas, outras são fixas no rotor; ambas podem ser ajustáveis para controlar o fluxo e a potência gerada ou, para geração de energia elétrica, a velocidade de rotação. O rotor é suportado axialmente por mancais de escora e contra-escora, e radialmente por mancais de guia. O tubo de sucção geralmente tem diâmetro final maior que o inicial para reduzir a velocidade da água antes de despejá-la no canal inferior. A eficiência típica de uma turbina moderna varia entre 85% e 95%, dependendo da vazão de água e da queda em determinados modelos.

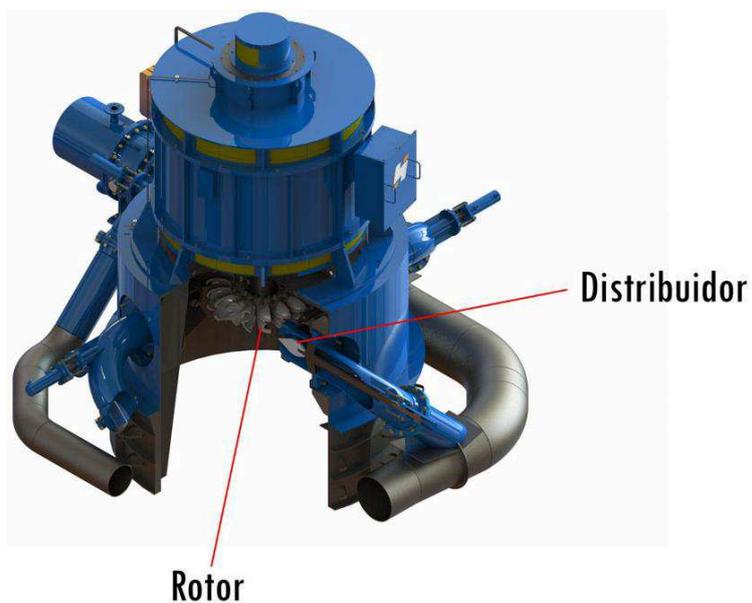
6.2.1. Tipos de turbinas

Existem duas classificações para turbinas hidráulicas:

- Turbinas de ação ou impulso.
- Turbinas de reação ou sobrepressão, e essas são divididas em duas subcategorias: Turbinas com escoamentos radiais ou axiais.

A figura 9 apresenta um modelo de turbina de ação.

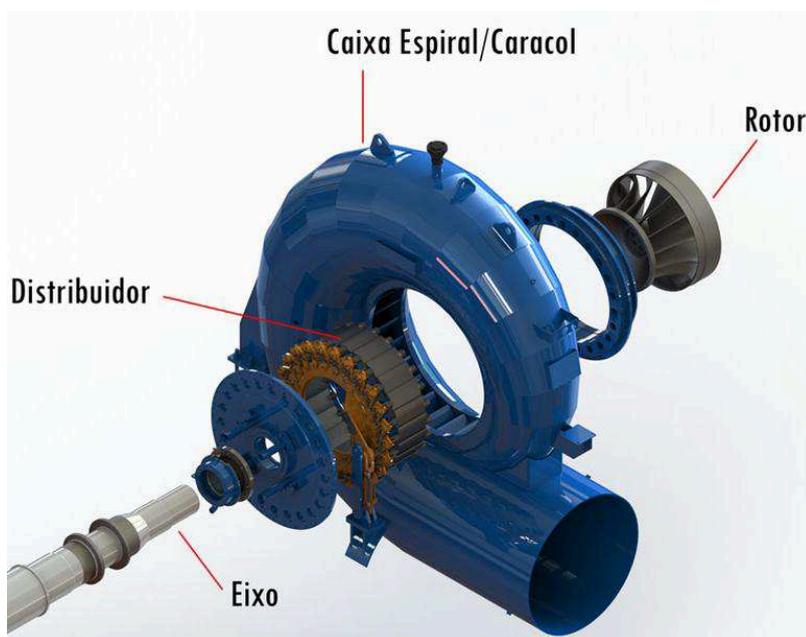
Figura 9. Turbina *Pelton* com gerador acoplado.



Fonte: (Hidroenergia, 2018)

A figura 10 apresenta um modelo de turbina de reação com escoamento radial.

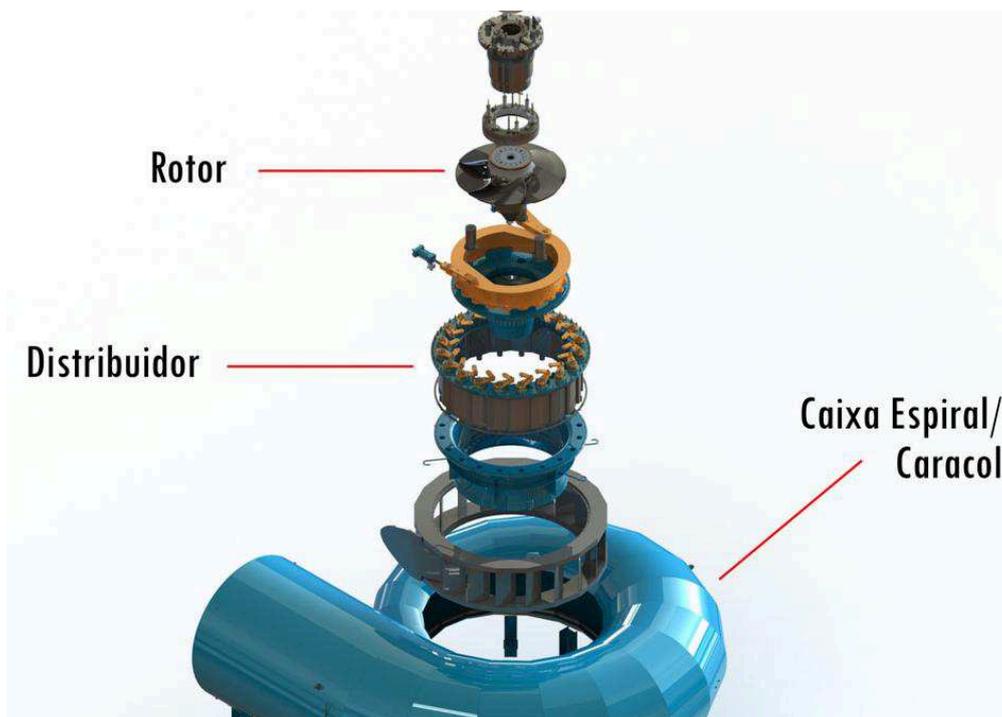
Figura 10. Turbina *Francis*.



Fonte: (Hidroenergia, 2018)

E a figura 11 apresenta um modelo de turbina de reação com escoamento axial.

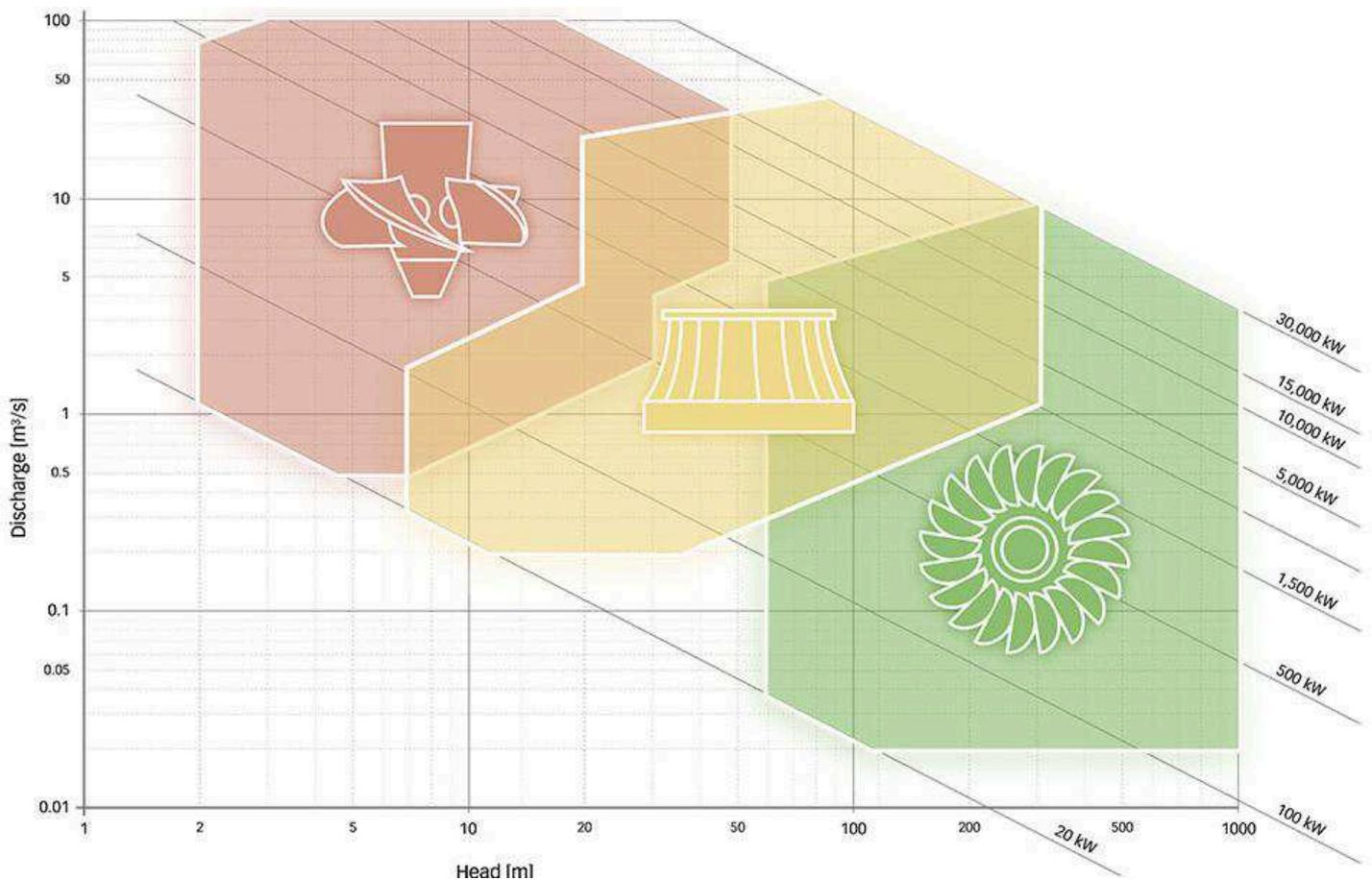
Figura 11. Turbina *Kaplan*.



Fonte: (Hidroenergia, 2018)

A figura 12 apresenta um gráfico para visualizar o tipo ideal de turbina para cada caso:

Figura 12. Gráfico ideal de turbina.



Fonte: (Hidroenergia, 2018)

Tendo:

Discharge = Vazão em metros cúbicos por segundo.

Head = Altura da queda em metros.

E a direita do gráfico, a potência gerada de acordo com a queda e vazão

6.3. Cálculos de Vazão, potência e rendimento.

A ETE de Taubaté hoje possui sua edificação de cloração com Vazão média de 500l/s (SABESP, 2017), portanto com essa informação através do cálculo de vazão e potência, tem-se conhecimento de quanto tempo uma célula eletrolítica leva para descontaminar 1l de efluente e qual a potência consumida nesse por processo, através da utilização de um protótipo já existente e testado (Aguiar, 2018). A Tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros: corrente, densidade de corrente e THD, em relação ao tipo de retificação, tensão média, pares de eletrodos energizados e o número de voltas no volante de uma válvula agulha.

Tabela 3. Parâmetros durante os testes

Amostra	Retificação	Válvula	Pares Eletrodos	Tensão Média (V)	Corrente (A)	Densidade de Corrente (mA/cm ²)	TDH
Referência	-	-	-	-	-	-	-
1	Onda completa	4 voltas	6	120V	5,8A	36,19mA/cm ²	5min 46s
2	Onda completa	4 voltas	3	120V	2,9A	36,19mA/cm ²	2min 53s
3	Meia Onda	4 voltas	6	60V	2,68A	16,73mA/cm ²	7min 42s
4	Meia Onda	4 voltas	3	60V	1,119A	13,97mA/cm ²	2min 9s
5	Onda completa	4 voltas	3	120V	2,23A	27,84mA/cm ²	2min
6	Onda completa	3 voltas	3	120V	2,014A	25,14mA/cm ²	55s

Fonte: (Aguiar, 2018)

A Tabela 4 apresenta os valores da potência em kWmin/L e vazão em L/min dos testes.

Tabela 4. Valores potência e vazão

Amostra	Vazão (L/min)	Potência (kWmin/L)
Referência	-	-
1	0,173L/min	4,02kWmin/L
2	0,346L/min	1,00kWmin/L
3	0,129L/min	1,24kWmin/L
4	0,465L/min	0,144kWmin/L
5	0,50L/min	0,535kWmin/L
6	1,090L/min	0,221kWmin/L

Fonte: (Aguiar, 2018)

7. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Este trabalho apresentou o processo de desinfecção do efluente com autossuficiência energética de geração, por se tratar de um processo químico, sem a necessidade do manejo de produtos químicos perigosos e de complicada logística, ficando claro que o método se faz viável para implantação em uma ETE.

Para a vazão de serviço da ETE II Taubaté que varia de 360 L/s à 1000 L/s (SABESP,2017), e segundo a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE, 2017), o custo médio da energia elétrica para a indústria no estado de São Paulo é de R\$ 504,00 /MWh em 2017 (SABESP,2017).

Considerando que a célula protótipo trabalha com uma vazão de 1 L/s, utilizada como protótipo de bancada, mas em escala real terá vazão mínima de 360 L/s e máxima de 1000 L/s e média de 500 L/s, a utilização dos rotores de água trarão a energia necessária para alimentação da(s) célula(s) instaladas. O mais importante será a quantidade de cloro que não será utilizada no tratamento de água pelas ETA's, ou seja, como foram apresentados neste trabalho, os malefícios causados pelo contato ou ingestão, mesmo que dentro da contraditória legislação atual, são altamente nocivos a saúde humana.

É notável que o processo de cloração é eficiente e bem difundido nas estações de tratamento de água de grande porte. O processo de desinfecção de águas tem gerado preocupações na sociedade e são confirmados os riscos à saúde e ao meio ambiente e, segundo ONCOGUIA (ONCOGUIA, 2013) a incidência de câncer no intestino cresceu em 400% em grandes centros urbanos, lembrando que os mesmos contam com saneamento básico convencional, a doença é a terceira em incidência, hoje, só é superada pelas doenças de mama e de próstata, as mais comuns. Muitos paradigmas podem entrar em discussão a partir dos avanços das tecnologias de tratamento alternativas.

Embora existam soluções no mercado, com o investimento em novos estudos, um produto final automatizado pode ser desenvolvido para aplicação em grandes vazões de tratamento com um nível de consumo elétrico atraente, assim como muitas empresas já tem filtros UV implementados, atendendo à diversas aplicações, tanto para a indústria quanto para as empresas de saneamento básico, assim caminhando para o

Ou seja, o processo de geração através de rotores no fluxo do efluente, apenas comparando as despesas com as respectivas matérias primas (cloro x energia elétrica), visando à saúde humana e consumo sustentável de energia elétrica no Brasil, se torna uma fonte alternativa atrativa para geração de energia renovável, mesmo até o momento tendo um custo elevado para aplicação, pois da forma que é aplicada neste trabalho ainda é um assunto pouco abordado no mercado nacional.

8. CONCLUSÃO

Este trabalho objetivou o estudo da utilização de rotores no fluxo do efluente para alimentação de células eletrolíticas utilizadas em processos alternativos de desinfecção de água, onde se excluiu a utilização de cloro e seus derivados como agente desinfetante. O método por eletrólise foi apresentado e, em função do seu tempo de retenção e da alta demanda energética necessária para uma vazão alta de tratamento, concluí-se que o processo eletrolítico é competitivo ao atual, tendo em vista que mesmo com a alta demanda de energia elétrica para alimentação da célula, se mostrou viável quando foi adicionada a autogeração através de rotores no fluxo do efluente ao invés de utilização de energia elétrica da rede, podendo ser implementado a custos acessíveis, com o uso do cloro apenas na etapa final, para atender o estabelecido na legislação.

O trabalho fez um estudo da viabilidade da implementação dos conceitos alternativos para o tratamento de água, e se mostrou promissor e abrindo portas para mais estudos e investimentos em desenvolvimento de automação para o processo.

Com isso, pode se prever que essa tecnologia se mostra altamente promissora e capaz de, em um futuro próximo, substituir o uso do cloro e vir a dar um importante passo para a reversão dos quadros de incidência de câncer nas comunidades e ainda baixar os custos com o saneamento básico e tratamento de água, sendo possível levá-los a locais que ainda não dispõe de tal serviço.

Com os resultados obtidos neste trabalho, fica como sugestão para futuros trabalhos, o estudo de novas formas de autogeração e da implementação de sistemas automatizados de desinfecção após os filtros das estações de tratamento de água, com o fim de substituir a cloração inicial, e se fazendo necessária somente à adição, antes do envio para os reservatórios, por conta das leis vigentes, do residual de cloro para a distribuição.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRADEE. **Tarifas de Energia.** 2017. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/tarifas-de-energia/tarifas-de-energia>>. Acesso em: 20 out. 2018.

AGUIAR, W. H. R. **Estudo de Viabilidades Técnica e Econômica do Processo de Desinfecção de uma Estação de Tratamento de Esgoto por Processo Eletrolítico em Escala Real.** Bolsista CNPq 2018.

ALFAKIT. **Colipaper.** 2017. Disponível em: < <https://alfakit.ind.br/colipaper-cod-65/1/>> . Acesso em: 23 out. 2018.

ANEEL, **Geração distribuída, Janeiro de 2016.** Disponível em:< <http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em 26 nov. 2018

AUTOSSUSTENTAVEL. **Da captação à distribuição, o caminho que a água faz até nossas casas.** 2017. Disponível em:< <http://www.autossustentavel.com/2017/03/estacao-tratamento-agua-eta.html#ixzz4zsYt88nv>>. Acesso em 24 nov. 2018

BARBOSA, M. L.; MARCELINO, M. A. **Estudo da Viabilidade Técnica, Econômica e Legal da Desinfecção de Efluentes por Processo Eletrolítico.** In: Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento. **Anuais... V CICTED** da UNITAU, v. 1. p. 16. Taubaté. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde, Governo Federal do Brasil. **PORTARIA MS N. 2914**, de 12 de dezembro de 2011. Procedimentos de Controle e de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade. 32p., 2011-b.

BRASIL. **Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005.** [S.l]: Ministério do Meio Ambiente, Disponível

em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2018.

CESAN. **Apostila Tratamento de Água.** 2017. Disponível em:<http://www.cesan.com.br/wpcontent/uploads/2013/08/APOSTILA_DE_TRATAMENTO_DE_AGUA-.pdf>. Acesso em 22 nov. 2018.

CETESB, **Artigo ambiental.** 2018. Disponível em:<<https://portalambiental.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em 05 dez. 2018.

CORREIA, A.; BARROS, E.; SILVA, J.; RAMALHO, J. **Análise da Turbidez da Água em Diferentes Estados de Tratamento.** In: VIII ERMAC 8 o Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, v. 1. p.1-2, Natal, 2008.

CRUZ, Ricardo Wilson Aguiar da; **Modelagem de Turbina Hidrocinética a Eixo Vertical;** Dissertação de mestrado; Itajubá; 1995.

DANIEL, L. A.; BRANDÃO, C. C. S.; GUIMARÃES, J. R. **Métodos Alternativos de Desinfecção de Água:** Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável. 149 f. - Rede Cooperativa de Pesquisas, Prosab, São Carlos, 2001.

DENARO, A.R. **Fundamentos de Eletroquímica.** Trad. J.H. Maar. São Paulo: Edgard Blücher/Edusp, 1974. p. 59.

DI BERNARDO, L. (1993). **“Métodos e Técnicas de Tratamento de Água”**, Rio de Janeiro, RJ, Editado pela ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), p.440.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge.** Washington, 1974. 136p.

HARWOOD, John Harry; **Protótipo de um cata-água que gera 1 kW de Eletricidade;** Acta Amazonica; Vol. 3; Num. 15; pp 403-412; Manaus; 1980.

HIDROENERGIA. **Tipos de turbinas hidráulicas**. 2018. Disponível em: <<http://www.hidroenergia.com.br/tipos-de-turbinas-hidraulicas/>>. Acesso em 05 dez. 2018

HOLT, P. K., BARTON, G. W., WARK, M. E MITCHELL, C. A. **A quantitative comparison between chemica dosing and electrocoagulation Colloids and Surfaces A: physicochemical and engineering aspects**, 211 (2 – 3). 2002. p. 233-248.

INCENTIVOS EM AUTOGERAÇÃO, **Maio de 2015**. Disponível em: <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2015/05/aneel-aumenta-incentivos-em-autogeracao-de-energia/26175#.W_wlFNtKjIU>. Acesso em 26 nov. 2018

MAUAD, Frederico F. **Análise de turbina de reação com pás de simples curvatura, uma opção para geração em microcentrais hidrelétricas**; VI ENCIT/VI LATCYM; Anais; pp 1873-1876; Florianópolis; 1996.

MOLLAH M. Y. A., SCHENNACH R, PARGA J. R., e COCKE D. L. (2001) **“Electrocoagulation (EC) – Science and Applications”** *Journal of Hazardous Materials* 84 (1), p 29-41.

ONCOGUIA (Instituto). **Câncer de intestino cresce 400% na região; doença é 3a em incidência**. Equipe Oncoguia. 2015. <http://www.oncoguia.org.br/conteudo/cancer-no-intestino-cresce-400-naregiao-doenca-e-3%C2%AA-em-incidencia/3278/7/>. Acesso em 23 out. 2018.

SABESP, **Esgoto**. 2017. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/subHome.aspx?secaold=48>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

SABESP, **Tipos de tratamento.** 2018. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

SINOTI, A. L. L. ; SOUZA, M.A. A. **PROCESSO ELETROLÍTICO NO TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS: ESTUDO DA SUA APLICABILIDADE E MECANISMOS ASSOCIADOS.** 2005. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-047.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2018.

SUSTENTABILIDADE, **Relatório de inteligência. Julho de 2015.** Disponível em: <http://sustentabilidade.sebrae.com.br/Sustentabilidade/Para%20sua%20empresa/Publica%C3%A7%C3%B5es/7_RI_JUL_AUTOGERACAO_DE_ENERGIA.pdf>. Acesso em 26 nov. 2018.