



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LEONARDO COSTA DOS SANTOS

**GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO ATRAVÉS DO PROCESSO ELETROLÍTICO
APLICADO NO TRATAMENTO TERCIÁRIO DE ÁGUAS CINZAS.**

**Palmas
2019**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LEONARDO COSTA DOS SANTOS

**GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO ATRAVÉS DO PROCESSO ELETROLÍTICO
APLICADO NO TRATAMENTO TERCIÁRIO DE ÁGUAS CINZAS.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
requisito parcial para obtenção do título de Bacharel
no Curso Superior de Engenheiro Civil do Instituto
Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof^o. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

**Palmas
2019**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

SANTOS, LEONARDO
Geração De Hidrogênio Através Do Processo Eletrolítico Aplicado
no Tratamento Terciário de Águas Cinzas /LEONARDO COSTA DOS
SANTOS/ Palmas, 2019
Quantidade de folhas 45.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
ENGENHARIA CIVIL) – Instituto Federal de Educação do
Tocantins, Campus Palmas, 2019.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedrosa

1. ÁGUAS CINZAS 2. HIDROGÊNIO I. Título



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, principalmente à minha esposa Helena e meu filho Lucas Daniel, que me apoiaram positivamente em tudo.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Dr. Marcelo Mendes Pedroza, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

RESUMO

Os processos eletrolíticos têm sido uma opção para tratamento de algumas águas residuárias, tais como os esgotos sanitários, podendo ser empregados como processo único ou acoplados com outros processos, na busca de qualidade mais alta dos efluentes tratados e da manutenção e melhoria das águas receptoras e das condições ambientais.

O objetivo deste trabalho é fazer o tratamento de águas cinzas com o uso de eletrolise, podendo assim efetuar o polimento da mesma e o aproveitamento do hidrogênio produzido no tratamento.

As águas cinzas fazem parte de 50 a 80% do esgoto doméstico, se por um lado é um problema por outro apresenta grande potencial no reuso. Vários processos de tratamento já são utilizados como tratamento com filtros de carvão ativado. Neste trabalho foi possível fazer o tratamento rápido e eficiente da mesma.

Os efluentes foram processados em reator em escala de bancada, por 4 horas, utilizando eletrodos reativos de cobre, em primeira etapa, por 2 horas e em segunda etapa por mais duas horas. Foram medidas e analisadas as eficiências de remoção de turbidez, coliformes totais, e E.Coli. Foi observado o efeito da variação de pH, temperatura e condutividade.

De acordo com as condições de trabalho aplicadas, se concluiu que o tratamento eletrolítico pode levar a altas eficiências de redução de turbidez (> 96 %) e remoção de coliformes totais e E.Coli (100 %, em vários casos). Por outro lado a produção de hidrogênio no sistema não se mostrou eficiente devido ao Ph da amostra utilizada. Os principais mecanismos de remoção dos poluentes foram a eletrocoagulação e eletrofloculação, com remoção dos sólidos produzidos por eletroflotação.

PALAVRAS-CHAVE: tratamento eletrolítico de esgotos, tratamento de águas cinzas, hidrogênio e eletrodos de cobre.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ABSTRACT

Electrolytic processes have been an option for treatment of some wastewater, such as sanitary sewage, and can be used as a single process or coupled with other processes, in pursuit of higher quality of treated effluents and the maintenance and improvement of receiving waters. environmental conditions.

The objective of this work is to make the treatment of gray water with the use of electrolysis, thus being able to polish it and the use of hydrogen produced in the treatment.

The gray waters are part of 50 to 80% of the domestic sewage, if on the one hand it is a problem on the other it has great potential in the reuse. Several treatment processes are already used as treatment with activated carbon filters. In this work it was possible to make the treatment fast and efficient.

The effluents were processed in a bench scale reactor for 4 hours, using copper reactive electrodes in the first stage for 2 hours and in the second stage for a further two hours. Turbidity removal efficiencies, total coliforms, and E. coli were measured and analyzed. The effect of variation in pH, temperature and conductivity was observed.

According to the applied working conditions, it was concluded that electrolytic treatment can lead to high efficiency of turbidity reduction (> 96%) and removal of total coliforms and E. coli (100% in several cases). On the other hand, hydrogen production in the system was not efficient due to the pH of the sample used. The main mechanisms of pollutant removal were electrocoagulation and electroflocculation, with removal of solids produced by electroflotation.

KEYWORDS: electrolytic sewage treatment, gray water treatment, hydrogen and copper electrodes.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	PROBLEMA DA PESQUISA	6
3	JUSTIFICATIVA.....	7
4	OBJETIVOS	8
4.1	Objetivo Geral	8
4.2	Objetivos Específicos	8
5	REVISÃO DE LITERATURA	8
5.1	SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NO BRASIL.....	9
5.1.1	SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	11
5.1.2	ESGOTO SANITÁRIO	12
5.1.3	TRATAMENTO ELETROQUÍMICO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS	15
5.2	ÁGUAS CINZAS.....	17
5.3	ELÉTROLISE	17
5.3.1	ELETROCOAGULAÇÃO	20
	VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ELETROCOAGULAÇÃO	21
	VANTAGENS.....	21
	DESVANTAGENS	22
5.4	COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS	22
5.4.1	O HIDROGÊNIO	23
5.4.2	O HIDROGÊNIO COMO COMBUSTÍVEL.....	24
5.4.2.1	MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO DO HIDROGÊNIO	25
	NA FORMA GASOSA.....	25
	NA FORMA LÍQUIDA.....	26
	NA FORMA DE COMPOSTOS INTERMEDIÁRIOS	26
5.5	ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL	27
6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	29
6.1	LOCAL DA PESQUISA	29
6.2	COLETA DE AMOSTRAS.....	29
6.3	SISTEMA ELETROLÍTICO EM ESCALA DE BANCADA.....	34



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

6.4	REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE ELETRÓLISE E MEDIÇÃO DE VAZÃO DO HIDROGÊNIO	36
6.5	ANÁLISES LABORATORIAIS	37
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
7.1	Avaliação da qualidade do efluente final do sistema experimental	37
7.2	Produção do gás hidrogênio durante a operação do sistema experimental	40
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
	REFERÊNCIAS.....	42



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil conta com um pouco mais de 55% de seu esgoto doméstico coletado e destes apenas 29% são tratados de maneira correta (IBGE, 2010). Isso significa que os outros 45% gerados, são despejados de forma incorreta no solo, rios e mares, o que pode gerar custos mais elevado na produção de água potável, industrial e agrícola.

Neste contexto é importante ressaltar que de 50 a 80% do esgoto doméstico é composto por águas cinzas. É importante salientar que de acordo com a Resolução CONAMA 430 (2011), os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedçam às condições, padrões e exigências dispostos em leis vigentes. O que nos leva a crer que é necessário desenvolvimento de tecnologias no tratamento das águas residuárias em todas etapas de tratamento.

Outra preocupação que o Brasil vem enfrentando são as crises energéticas que perturbam a população, pois de um lado se tem os avanços tecnológicos que demandam um elevado consumo de energia por outro lado pouco se investe para a produção de novas formas de produção de energia elétrica no país (TOLMASQUIM, 2000).

Apesar do Brasil ter uma produção bem considerável em energia limpa como : hidroelétrica, Eólica e solar, muito ainda pode ser estudado e melhorado, como por exemplo a produção de energia limpa através da queima do gás hidrogênio (H₂).

Os processos eletroquímicos são bastante utilizados para tratamento de águas residuárias de diferentes origens, tais como chorume, efluentes de refinarias de petróleo, indústria têxtil e esgotos domiciliares. Dentre as vantagens apresentadas pelos processos eletroquímicos, destacam-se: facilidade de controle e operação; operação em reatores compactos; não requerem adição de substâncias químicas caras e tóxicas tais como os compostos clorados; altas eficiências de remoção de patogênicos; tempo de detenção hídrica baixo comparado a vários outros tipos de tratamento biológico, entre outros.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Uma das propostas deste trabalho é a de poder desenvolver uma tecnologia capaz de tratar de forma eficiente a água cinza de lavagem de roupas e ao mesmo tempo gerar gás hidrogênio, potencialmente uma fonte de energia limpa.

2 PROBLEMA DA PESQUISA

No Brasil grande parte dos sistemas de tratamento de efluentes domésticos são através de processos biológicos que se dividem em aeróbios, anaeróbios e facultativos. O tratamento biológico procura reproduzir os mecanismos naturais de depuração da matéria orgânica biodegradável. É um processo de tratamento contínuo, geralmente ocupa grandes áreas, sendo mais utilizado para tratamento de efluentes sanitários (SILVA e MAINIER, 2015).

Outra maneira de se tratar efluentes sejam domésticos ou industriais são os processos físico-químicos podem ser subdivididos em dois tipos: os processos físico-químicos tradicionais que atuam pela ação de produtos químicos coagulantes; e processos físico-químicos eletrolíticos que utilizam a eletrólise para a geração do agente coagulante (SILVA e MAINIER, 2015).

Para (ESTÊVÃO, 2008) o hidrogênio produzido na eletrólise tem muito potencial como futura energia limpa e que o mesmo já tem uso associado a outros combustíveis, que fazem com que veículos automotores apresentem maiores desempenhos e geração de economia no consumo de combustíveis fósseis.

Atualmente, o emprego energético do hidrogênio é inferior a 20% do total do gás produzido, sendo os 80% restantes utilizados principalmente como insumo na indústria química, petroquímica e siderúrgica (FERREIRA, 2003).

Diante de tal panorama fica o questionamento:

- i) O tratamento eletrolítico pode ser uma solução para maior eficiência no tratamento de efluentes domésticos como a água cinza em nível terciário?
- ii) O hidrogênio gerado na eletrólise sendo um potencial e promissor meio de se obter de energia limpa, pode ser armazenado no tratamento eletrolítico?



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

3 JUSTIFICATIVA

O tratamento de águas residuárias domésticas ocorre em vários níveis de tratamento, a saber: preliminar, primário, biológico e terciário (polimento). O tratamento terciário, objeto desse estudo, visa a remoção de organismos patogênicos presentes nas águas residuárias, além de outros contaminantes tais como nitrogênio, fósforo e metais pesados.

O processo de desinfecção de efluentes sanitários é discutido nas Resolução nº 357/2005 e 430/2011, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que dispõem sobre a classificação de corpos d'água, diretrizes para seu enquadramento e os padrões de lançamentos de efluentes líquidos no Brasil.

Sendo os compostos clorados são amplamente empregados na desinfecção de efluentes sanitários devido a sua alta eficiência na remoção de microrganismos, associada à facilidade de sua obtenção e aplicação, e baixo custo operacional. A cloração de efluentes, no entanto, gera um efeito negativo preocupante, associado com a formação e lançamento de compostos organoclorados em cursos d'água, subprodutos da cloração, comprovadamente cancerígenos, mutagênicos e que podem ser bioacumulados nas cadeias tróficas.

Por outro lado, o mundo tem passado por evoluções tecnológicas que exigem um maior consumo de eletricidade, e uma das formas de energia que vem se buscando é a energia Limpa que faz uso do H₂ (gás) como combustível. Uma das maneiras de se adquirir H₂ é através de eletrolise

Nessa pesquisa foi realizada a montagem de um reator capaz de empregar os íons cobre gerados durante o processo eletrolítico para o extermínio de microrganismos patogênicos presentes em águas cinzas, bem como a produção do gás hidrogênio pela eletrólise, visando a sua aplicação como combustível.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Efetuar o polimento de águas cinzas e a produção de hidrogênio através do processo de eletrólise.

4.2 Objetivos Específicos

- Coletar amostras de águas cinzas;
- Efetuar a montagem do reator eletrolítico visando a produção de hidrogênio e a descontaminação microbiológica de águas cinzas;
- Realizar o polimento de águas cinzas em reator eletrolítico, verificando a produção de hidrogênio no sistema.

5 REVISÃO DE LITERATURA

Serviços de saneamento têm grande importância na qualidade de vida da população. A ausência de coleta e tratamento de esgoto adequados pode contribuir com a proliferação de doenças de veiculação hídricas, além de ocasionar a degradação das condições dos recursos hídricos.

Segundo a Organização Mundial de saúde – OMS, saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social.

Para (HEULER, MANICUCCI, *et al.*, 2018) o saneamento segue sendo um tema estranho ao dia a dia da política e da gestão em saúde pública no Brasil, no nível federal e em níveis estadual e municipal. Isto caracteriza um dos gargalos para a melhoria de políticas públicas.

Em outras palavras, pode – se dizer que saneamento é o conjunto de ações sobre o meio ambiente, que visa alcançar a Sanidade Ambiental, por meio da



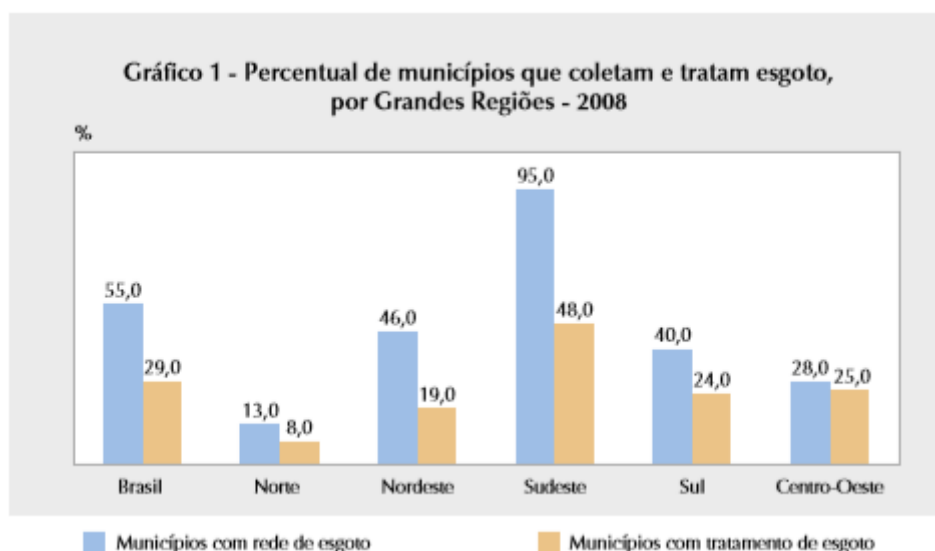
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

implantação de serviços e infraestruturas, com a finalidade de prevenir doenças, promover a saúde e melhorar a qualidade de vida da população (BRASIL, 2007).

5.1 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NO BRASIL

O Brasil não possui números satisfatórios referentes à questão de esgotamento sanitário. Os resultados da pesquisa “Censo 2008” (IBGE, 2010) demonstram que aproximadamente 55,0% dos domicílios brasileiros estão cobertos por algum tipo de sistema para coleta de esgoto, e que a região norte é a menos atendida com cerca de 13%, como mostra o gráfico 01.

O esgotamento sanitário pode ser definido como o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente (BRASIL, 2007).



Fonte IBGE 2008

(MACIEL, 2015) considera que agravamento do quadro epidemiológico brasileiro se dá pelo fato de um crescimento desordenado das cidades, aliado à falta ou ao inadequado sistema de saneamento básico. Tal situação tem causado sérios



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

danos ambientais (BRASIL, 2007), assim é necessário que se haja investimentos em saneamento para se reverter este quadro.

Para (MACIEL, Et al 2015) a utilização do saneamento como instrumento de promoção à saúde pressupõe a superação aos entraves tecnológicos, políticos e gerenciais que dificultam o aumento de benefícios a residentes de pequenos municípios brasileiros.

Os brasileiros têm os serviços públicos de saneamento básico assegurados pela Constituição Federal e definidos pela lei nº 11. 445/2007, que garante um de seus princípios universais o direito ao saneamento básico, promovendo acessibilidade a todos. Porém há uma grande parcela da população que não usufrui destes serviços.

Apesar de ser o serviço de saneamento básico essencial para a promoção da saúde da população e para a proteção ambiental, estima-se que cerca de 2,4 bilhões de pessoas no mundo ainda vivam sem acesso a práticas adequadas de esgotamento sanitário, o que representa cerca de 32% da população global (WHO/UNICEF, 2015).

Segundo (Ventura, 2015), levantamento aponta que 43% da população brasileira urbana são atendidos por sistema coletivo (rede coletora e estação de tratamento de esgotos); 12%, por solução individual (fossa séptica); 18% se enquadram na situação em que os esgotos são coletados, mas não são tratados; e 27% são desprovidos de atendimento, ou seja, não há coleta nem tratamento de esgoto, como ilustra o gráfico 02.



Gráfico 02



Fonte: O Globo

Em Palmas – TO, são 99% na população total atendida com abastecimento de água contra 68% das ligações ativas de água em áreas aptas são atendidas com coleta e tratamento de esgoto, o que faz da cidade uma cidade modelo para estudos de técnicas aprimoradas de tratamento esgotos.

5.1.1 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

A ausência de serviços de saneamento afeta grande parte da população brasileira, prejudicando a saúde das pessoas e causando danos ao meio ambiente (MACIEL, FELIPE e LIMA, 2015) . Assim, a disposição inadequada de lixo, a falta de um adequado gerenciamento das águas de chuva, além da falta de acesso à água potável e de sistema de coleta e tratamento do esgoto sanitário, prejudicam a qualidade de vida das pessoas.

Esgotamento sanitário incluem: Qualidade de água e controle da poluição; Operação e manutenção de redes coletoras de esgotos; Operação e manutenção de



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

estações elevatórias de esgotos; Processos de tratamento de esgotos; Operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos; Amostragem, preservação e caracterização físico-química e microbiológica de esgotos; Gerenciamento, tratamento e disposição final de lodos gerados em ETE (CHERNICHARO, 2007).

5.1.2 ESGOTO SANITÁRIO

Para (SILVA, RECHOTNEK, *et al.*, 2016) a humanidade tem contribuído de diferentes maneiras para a geração de resíduos, como corantes, óleos, graxas, entre outros. Isto provoca várias modificações ao meio ambiente devido à contaminação geralmente por indústrias químicas, têxteis e farmacêuticas, além da agricultura, esgotos sanitários e resíduos domésticos.

O sistema de esgoto sanitário, segundo a norma brasileira NBR 9648/86 (ABNT, 1986), compreende o conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar somente esgoto sanitário a uma disposição final adequada, de modo contínuo e higienicamente seguro. A mesma norma define esgoto sanitário como o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária.

O Brasil, com população em torno de 200 milhões de habitantes e 5.570 municípios (IBGE, 2017), apresenta um grande déficit de atendimento em relação ao esgotamento sanitário. De acordo com dados do (SNIS, 2016), apenas 51,9% da população brasileira tem acesso à coleta de esgoto, e 44,9 % do volume de esgoto do país recebe tratamento, sendo que 1.589 municípios não apresentam sistema público de esgotamento sanitário, e o cenário brasileiro varia significativamente de região para região como é exemplificado na Tabela 1.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Tabela 01: **serviço de coleta e tratamento de esgoto nas regiões brasileiras**

Região	Coleta (%)	Tratamento (%)
Norte	10,5	18,3
Nordeste	26,8	36,2
Sudeste	78,6	48,8
Sul	42,5	43,9
Centro - Oeste	51,5	52,6
Brasil	51,9	44,9

Fonte: (SNIS, 2016)

O tratamento de esgoto consiste, basicamente, em técnicas que apresentam como finalidade a remoção máxima da carga orgânica poluidora, separando a fase líquida da fase sólida. A fase líquida final deve estar em concordância com a legislação vigente, no âmbito federal deve atender ao padrão de lançamento de efluente em corpos d'água de acordo com a CONAMA 430/2011 em complemento com a CONAMA 357/2005, e a fase sólida deve apresentar descarte correto ou aplicação específica. Os métodos a serem utilizados variam das características do efluente e a escolha depende de vários fatores como, custo, área requerida, manutenção, entre outros. O Quadro 1 apresenta algumas das principais técnicas utilizadas no tratamento de esgoto

Quadro 1: **Principais técnicas de tratamento de esgoto**

Tecnologia	Definição	Funcionamento
Fossas sépticas	São câmaras construídas para reter os despejos domésticos, por um período de tempo estabelecido, de modo a permitir a sedimentação dos sólidos e a retenção do material sólido, transformando-os bioquimicamente em compostos mais estáveis.	Retenção do esgoto; sedimentação de 60 a 70% dos sólidos em suspensão; digestão anaeróbia do lodo por bactérias anaeróbias e redução do volume de lodo.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Tecnologia	Definição	Funcionamento
Filtro biológico	São reatores, constituídos por leitos (brita, material sintético, etc.) que permitem o contato direto do esgoto com o material de leito, formando então uma massa biológica, resultando em uma oxidação bioquímica da matéria orgânica presente no afluente.	O mecanismo do processo é caracterizado pela alimentação e percolação contínua do esgoto através do meio suporte. A continuidade da passagem dos esgotos nos interstícios promove o crescimento e a aderência de massa biológica na superfície do meio suporte promovendo a oxidação dos compostos.
Lodos ativados	São sistemas que contam com um decantador primário, tanque de aeração e decantador secundário em que o lodo proveniente do tratamento é circulado no processo. É uma tecnologia que requer alto grau de mecanização e consumo de energia.	O mecanismo de funcionamento é baseado na remoção de matéria orgânica em um sistema aeróbio realizado por microorganismos . O lodo gerado no processo é recirculado, com a finalidade de aumentar a concentração de micro-organismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica.
Lagoas de estabilização	São sistemas simples, de característica biológica, em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica e/ou redução fotossintética das algas.	Os processos de funcionamento são simples e constitui-se por processos naturais. Podem ser anaeróbias, onde ocorrem processos anaeróbios, facultativas onde ocorrem processos aeróbios e anaeróbios e as de maturação, onde o objetivo principal é a remoção de patogênicos com métodos de cloração.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Tecnologia	Definição	Funcionamento
Reatores UASB	São reatores que combinam os processos físicos com os biológicos e requerem o contato da biomassa com o substrato em um meio anaeróbio	Apresentam como principal característica no processo físico a separação dos sólidos e dos gases do líquido, e no processo biológico, a degradação da matéria orgânica em condições anaeróbias. Caracterizam-se por apresentar as seguintes partes principais: câmara de digestão, separador de fases, zona de transição, zona de sedimentação, zona de acumulação de gás

Fonte: Adaptado (PEREIRA, 2018)

5.1.3 TRATAMENTO ELETROQUÍMICO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Atualmente existe uma grande variedade de métodos físicos, químicos e biológicos disponíveis para o tratamento de águas residuais. Dentre eles estão a adsorção em carvão ativado, coagulação e flotação. São métodos eficientes na remoção de compostos de interesse de matrizes complexas e se enquadram como uma tecnologia não destrutiva ou de transferência de fase, e que necessitam de uma disposição final para o poluente (SILVA, RECHOTNEK, *et al.*, 2016).

A Eletroquímica, como ciência, cria o conhecimento e a tecnologia aplicada, desenvolve e gera um produto que, na maioria das vezes, traz benefícios à sociedade, mas, por outro lado, estes meios de produção e o produto final descartado acabam criando impactos ambientais. Mas também, como ciência, tem o poder de criar o conhecimento na área da despoluição, por meio do desenvolvimento de processos eficientes de remoção de contaminantes em efluentes industriais (MAINIER, 1999).

Se fosse possível voltar ao passado, no final do século XVIII e início do século XIX, para entrevistar os precursores da eletroquímica, e, se possível, fotografar seus



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

experimentos e seus laboratórios, provavelmente seria uma avaliação clarificada e in situ de como o conhecimento desta técnica se propagou (MAINIER, 1999).

O uso da eletricidade para tratamento de água foi sugerido em 1889 na Inglaterra. Os processos de tratamento eletroquímico de efluentes impulsionam a remoção ou a destruição de espécies poluentes, direta ou indiretamente, por meio de reações de oxidação e/ou redução em células eletroquímicas, sem a adição de grandes quantidades de produtos químicos. Proporcionado maior eficiência no tratamento. (FORMENTIN, 2012)

O tratamento eletroquímico surge como uma alternativa técnica, realizando a oxidação e não apenas a transferência de fase do material orgânico de interesse. É possível alcançar uma elevada eficácia de degradação de compostos com esta técnica (SILVA, RECHOTNEK, *et al.*, 2016)

Dentre os objetivos comuns dos processos eletroquímicos, quando aplicados a águas residuárias ressaltam-se:

- Remoção de impurezas orgânicas dissolvidas em forma de produtos não tóxicos e insolúveis;
- Remoção de impurezas inorgânicas dissolvidas, pela aplicação de eletrodiálise;
- Remoção de sólidos insolúveis finamente divididos e dispersos, pelo uso de coagulação, floculação e flotação eletrolítica; e
- Desinfecção por produção de cloro, ou outros agentes desinfetantes, assim como pela simples passagem de corrente.

Basicamente os processos eletroquímicos que atuam nas águas residuárias se dividem em dois grupos, segundo (SINOTI, 2004):

1) processos eletroquímicos indiretos ou mediatos: são os que não atuam direta e exclusivamente sobre a massa líquida a depurar; é o caso dos processos que empregam os gases ozônio e cloro;

2) processos eletroquímicos diretos ou imediatos: são os que atuam sobre a massa líquida a tratar, produzindo a partir dela mesma os elementos ativos para a sua depuração.

São os processos chamados de eletrolíticos (ou eletrólise).

Nos processos indiretos podem ser gerados eletroliticamente agentes “matadores” para atacar os poluentes, tais como H_2O_2 , O_3 , hipoclorito, cloro e cloratos.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Nos processos eletrolíticos, três tipos de processos podem ser aplicados, (1) eletrodiálise, (2) reações de oxidação anódica e redução catódica, e (3) eletrocoagulação, eletrofloculação e eletroflotação.

5.2 ÁGUAS CINZAS

Qualquer água que tenha sido usada no lar, exceto água de vaso sanitário, é chamada de água cinza. Água usada em louças, banhos, pias, lavanderia é chamada de água cinza. Essa é a definição comum na Europa e na Austrália. Algumas jurisdições nos EUA excluem a água da pia da cozinha e a água da lavagem da fralda da definição de água cinza. Estes são definidos com mais precisão como "água cinza escura" (LUDWIG, 2007) . Corresponde de 50 – 80% da água usada que vai para o esgoto. Ela pode ser usada para várias coisas, especialmente irrigação de terrenos.

Segundo o manual da FIESP (SAUTCHUK, FARINA, *et al.*, 2005) é o efluente que não possui contribuição da bacia sanitária, ou seja, o esgoto gerado pelo uso de banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupas e pias de cozinha em residências, escritórios comerciais, escolas etc. Na cultura brasileira é comum a utilização das pias de cozinha como local de despejo de restos de alimentos, provocando no efluente grande concentração de matéria orgânica. Por este motivo, nesta publicação, o efluente da pia de cozinha não será abordado como água cinza.

5.3 ELÉTROLISE

A eletrólise é um processo que separa os elementos químicos de um composto através do uso da corrente elétrica. Em resumo, procede-se primeiro à dissociação do composto em íons e, posteriormente, com a passagem de uma corrente contínua através destes íons, obtém-se os elementos químicos.

O processo da eletrólise é uma reação de oxidação e redução sendo, portanto, um fenômeno físico-químico não espontâneo devido a necessidade de energia para que o mesmo ocorra.

Na eletrólise por via aquosa, temos os íons da dissociação iônica do eletrólito, e também cátions e ânions resultantes da auto ionização da água (ATKINS e JONES, 2012.).



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

A célula eletrolítica é a célula eletroquímica na qual ocorre a eletrólise. O arranjo dos componentes das células eletrolíticas é diferente do arranjo da célula galvânica.

Em geral, os dois eletrodos ficam no mesmo compartimento, só existe um tipo de eletrólito e as concentrações e pressões estão longe das condições padrão. Como em todas as células eletroquímicas, a corrente passa pelo eletrólito, carregada pelos íons presentes.

Por exemplo, quando o metal cobre é refinado eletroliticamente, o anodo é cobre impuro, o catodo é cobre puro e o eletrólito é CuSO_4 .

Quando íons Cu^{2+} migram para o catodo, eles são reduzidos e se depositam na forma de átomos de cobre. Outros íons Cu^{2+} são produzidos por oxidação do metal cobre no anodo.

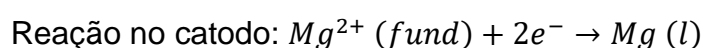
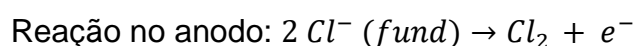
A Figura 01 mostra o esquema de uma célula eletrolítica usada comercialmente na produção do metal magnésio a partir do cloreto de magnésio fundido (o processo Dow).

Como em uma célula galvânica, a oxidação ocorre no anodo e a redução ocorre no catodo. Os elétrons passam do anodo para o catodo por um fio externo; os cátions movem-se através do eletrólito na direção do catodo e, os ânions, na direção do anodo.

Mas, em vez da corrente espontânea da célula galvânica, é necessário fornecer corrente de uma fonte elétrica externa.

A fonte pode ser uma célula galvânica, que fornece corrente para empurrar os elétrons por um fio em uma direção predeterminada.

O resultado é forçar a oxidação em um eletrodo e a redução no outro. Por exemplo, as seguintes meias-reações ocorrem no processo Dow:

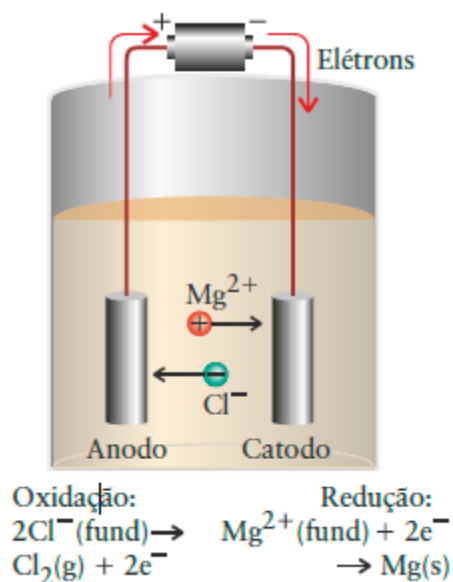




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

O “fund” representa o sal fundido. Uma bateria recarregável funciona como célula galvânica quando está realizando trabalho e como célula eletrolítica quando está sendo recarregada. (ATKINS e JONES, 2012.)

FIGURA 1: Diagrama esquemático da célula eletrolítica usada no processo Dow para a obtenção do magnésio. O eletrólito é cloreto de magnésio fundido. Quando a corrente gerada por uma fonte externa passa pela célula, os íons cloreto se oxidam a gás cloro no anodo e os íons magnésio se reduzem ao metal magnésio no catodo.



Fonte: (ATKINS e JONES, 2012.)



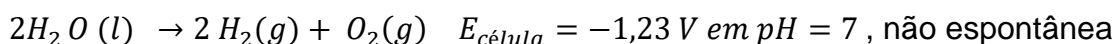
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Para forçar uma reação em um sentido não espontâneo, a fonte externa deve gerar uma diferença de potencial maior do que a diferença de potencial que seria produzida pela reação inversa.

Por exemplo, como



Para obter a reação não espontânea



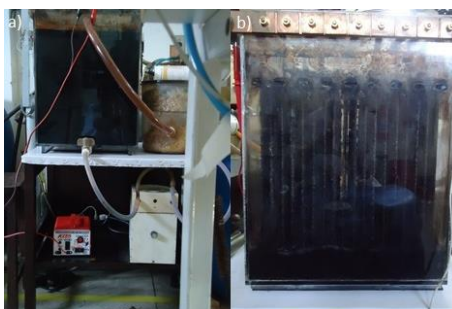
Em condições padrão (exceto pela concentração de H^+) devemos usar pelo menos 1,23 V da fonte externa para superar o “poder de empurrar”, natural da reação, na direção oposta.

Ao conduzir uma eletrólise em solução, temos de saber se outras espécies presentes podem ser oxidadas ou reduzidas pela corrente elétrica.

5.3.1 ELETROCOAGULAÇÃO

(BETIM e JESUS, 2014) fizeram uso de eletrocoagulação no tratamento de chorume proveniente de lixões afirmam que a eletrocoagulação envolve a geração de íons metálicos no anodo enquanto o gás hidrogênio é liberado no catodo. Dependendo das condições de operação do reator e do poluente, estas bolhas podem flotar alguma parcela do poluente coagulado à superfície, sendo este processo algumas vezes chamado de eletrofloculação. Tal processo pode ser observado na Figura 02, onde o reator de eletrocoagulação desenvolvido demonstra em: a) o reator em funcionamento; b) a vista lateral do eletrodo do reator.

Figura 2 : Reator de Eletrocoagulação



Fonte: (BETIM e JESUS, 2014)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ELETROCOAGULAÇÃO

Segundo (GILI, 2015) em sua pesquisa chegou às seguintes conclusões no que se refere a vantagens e desvantagens da eletrocoagulação em tratamento de efluentes por eletrólise.

VANTAGENS

- Requer equipamentos de fácil operação, em que a corrente e o potencial aplicado, podem ser medidos e controlados de maneira automatizada;
- Pode ser instalada em regiões centrais ou densamente povoadas, já que não gera odores e vetores;
- Sanitiza o efluente, tendo em vista o poder oxidativo dos radicais OH liberados no processo;
- Trata efluentes tóxicos para os meios biológicos e, pode ser utilizada para tratar todos os tipos de efluentes;
- Há controle maior na liberação do agente coagulante, em comparação com os processos físico-químicos convencionais;
- Os flocos formados são mais estáveis, sendo mais facilmente removíveis;
- Remove as partículas coloidais menores, pois o campo elétrico aplicado promove mais rapidamente o contato entre elas; facilitando a coagulação;
- Limita o uso de substâncias químicas, minimizando, conseqüentemente, o impacto negativo causado pelo excesso de xenobióticos lançados no ambiente, fato que acontece quando a coagulação química empregando polieletrólitos é utilizada no tratamento de efluentes;
- As bolhas de gás produzidas durante a eletrólise podem levar o contaminante ao topo do reator, onde pode ser concentrado e removido mais facilmente, por raspagem ou sucção;
- A célula eletrolítica é eletricamente controlada, não necessitando de dispositivos adicionais, o que requer menos manutenção;



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

- Uma das maiores vantagens da eletrofloculação é a remoção de óleos e graxas de águas oleosas ou micro emulsões.

DESVANTAGENS

- Os eletrodos precisam ser substituídos regularmente;
- O consumo de energia elétrica pode ser dispendioso em algumas regiões;
- Requer alta condutividade do efluente;
- Requer rígido controle do pH de entrada;
- Os retificadores elétricos são de grande complexidade.

5.4 COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS

Nosso complexo estilo de vida moderno só tornou-se possível pela descoberta e refinamento dos combustíveis fósseis, que são o resultado da decomposição da matéria orgânica enterrada há milhões de anos. O gás natural que aquece nossas casas, a gasolina que abastece nossos automóveis e o carvão que fornece grande parte da energia elétrica são combustíveis fósseis. Vastas reservas de petróleo, a fonte de combustíveis hidrocarbonetos líquidos, tais como a gasolina, e de carvão existem em várias regiões do mundo (ATKINS e JONES, 2012.).

Entretanto, embora imensas, essas reservas são limitadas e nos as estamos usando muito mais rapidamente do que novas reservas são descobertas. Métodos alternativos e autossustentáveis de geração de energia, como as energias hidrelétrica, eólica e solar, e combustíveis alternativos estão sendo estudados para reduzir a demanda sobre os combustíveis fósseis. Quatro dos mais promissores combustíveis alternativos são o hidrogênio, o etanol, o metano e o biodiesel. O hidrogênio pode ser obtido da água dos oceanos por eletrolise.

Segundo (GOLDENSTEIN e AZEVEDO, 2006) William C. Ford, Jr acredita que os “veículos com células de combustível terminarão com os 100 anos de reinado dos motores de combustão interna como a fonte de potência dominante para o transporte



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

pessoal. Será uma situação de ganhar por todos os lados – os consumidores obterão uma fonte de potência eficiente, as comunidades terão emissões zero e os fabricantes de automóveis terão outra grande oportunidade de negócio – uma oportunidade de crescimento”.

A frase de Bill Ford, neto de Henry Ford e atual diretor-presidente da Ford Motors Company, fala por si. Quando a tecnologia das células de combustível for dominada e for possível baixar os seus custos de fabricação, tudo indica que esta passará a ser a principal forma de se movimentar os veículos automotores. Nesse sentido, as demais fontes alternativas ao petróleo atualmente em implementação seriam apenas uma transição entre a “era do petróleo” e a “era do hidrogênio”.

5.4.1 O HIDROGÊNIO

O átomo de hidrogênio foi descoberto em 1766, por Henry Cavendish, através da decomposição da água, mas o nome que lhe conhecemos hoje, foi dado por Lavoisier. O hidrogênio é o mais simples e mais abundante elemento do Universo. Existe em milhões de substâncias, em cerca de 76% da massa do Universo e 93% de suas moléculas, como a água (H₂O) e as proteínas nos seres vivos. Existe em grande quantidade nas estrelas no estado de plasma. No planeta Terra, representa aproximadamente 70% da superfície terrestre (ESTÊVÃO, 2008).

Em 2010, a produção mundial de hidrogênio foi estimada em 53 milhões de toneladas, dos quais 12% foram de hidrogênio comercial e o resto de produção cativa. A região da Ásia e da Oceania é a principal produtora com 39% da produção global, com cerca de 21 milhões de toneladas (produção total, ou seja, cativa mais comercial) em 2010, seguida pela Europa & Eurásia e pela América do Norte. Estados Unidos é o maior produtor de hidrogênio comercial (merchant), com 47% da produção mundial. A China é o maior consumidor com 22% do consumo mundial de hidrogênio, usado principalmente para produção de amônia. (SCHULTZ, SOARES, *et al.*, 2015)

Embora seja o elemento mais abundante no Universo, na Terra o hidrogênio não existe no seu estado puro, podendo ser gerado através de uma grande diversidade de processos e de fontes de energia. Na Terra o hidrogênio não é pois



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

uma fonte de energia, sendo apenas um portador de energia com um elevado potencial de aplicação. O hidrogénio pode ser convertido diretamente em electricidade através de células de combustível, com elevado rendimento e reduzido impacto ambiental. O hidrogénio poderá ser um dos combustíveis do futuro, nomeadamente no sector dos transportes e na produção descentralizada de electricidade, capaz de solucionar os grandes problemas associados aos combustíveis fósseis, tais como os impactos ambientais nefastos e a segurança do abastecimento (ALMEIDA e MOURA, 2006).

O uso do hidrogênio para fins energéticos vem sendo bastante pesquisado mundialmente, configurando como uma alternativa promissora na tecnologia de células a combustível (SCHULTZ, SOARES, *et al.*, 2015).

5.4.2 O HIDROGÉNIO COMO COMBUSTÍVEL

Grande parte das fontes de energia mundial é proveniente de combustíveis fósseis que atendem à demanda das indústrias, no setor dos transportes e nas residências. Os combustíveis fósseis fazem parte de fontes esgotáveis de energia logo são escassos e apenas alguns países o detém, o que conseqüentemente provoca a escalada mundial dos seus preços. (ESTÊVÃO, 2008)

Estes combustíveis, apresentam além dos seus preços elevados, também elevados níveis de poluição derivados da sua utilização. O que justifica a procura por uma forma alternativa e competitiva de produzir energia que possa vir a substituir estes combustíveis, tais como o biogás, o gás natural, o óleo vegetal, ésteres de álcoois e também combustíveis hidrogenados. (ESTÊVÃO, 2008)

Para diminuir o domínio dos combustíveis fósseis no mercado é necessário que haja mais esforços para o desenvolvimento de tecnologias que superem as atuais que tragam melhoria não só econômicas e também ambientais que façam uso de energia limpa (ESTÊVÃO, 2008).

Atualmente, o hidrogênio é usado principalmente para produção de amônia, no refino do petróleo, processos metalúrgicos e na indústria de alimentos, o uso do hidrogênio no refino do petróleo representa uma aplicação indireta como combustível,



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

sendo usados em processos como hidrodessulfurização e hidrocraqueamento (SCHULTZ, SOARES, *et al.*, 2015)

As pesquisas sobre hidrogénio estão concentradas na geração de energia eléctrica, térmica e de água pura através das células a combustível. Como pesquisas futuras, o hidrogénio pode fornecer electricidade e combustível para os sectores residencial, comercial, industrial e de transporte, criando uma nova economia energética.

5.4.2.1 MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO DO HIDROGÊNIO

Por se tratar de um gás de baixa densidade, o hidrogénio possui alta densidade energética por unidade de massa ($141,9 \text{ MJ.kg}^{-1}$), mas baixa densidade energética por unidade de volume ($12,75 \text{ MJ.m}^{-3}$). Desta forma, para a armazenagem de grandes quantidades de energia é necessário que o gás seja comprimido de alguma forma. A armazenagem do hidrogénio é, sem dúvida, uma das grandes barreiras a serem vencidas antes que este se torne um vetor energético viável. Deve-se perceber a importância deste problema para o tema aqui abordado, quando o hidrogênio deverá ser armazenado para posterior reconversão em energia elétrica. Muitas pesquisas nessas áreas vêm sendo realizadas e alternativas diversas são regularmente propostas, sendo que três tecnologias podem, atualmente, ser empregadas em escala industrial. São elas:

NA FORMA GASOSA

O hidrogênio, após ser produzido, pode ser diretamente armazenado em gasômetros a uma pressão um pouco superior à atmosférica; esta tecnologia já é bem dominada pelas empresas produtoras de gases industriais, gás natural, gás de cidade etc. Os gasômetros são tanques cilíndricos que se caracterizam por apresentar um volume variável, ou seja, aumenta com a entrada de gás e diminui com a saída do mesmo (FERREIRA, 2003).



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

O hidrogênio, após ser armazenado nos gasômetros, pode ser pressurizado em cilindros, os quais permitem o armazenamento de uma quantidade maior de massa por volume armazenado. Estes cilindros podem ter uma pressão de trabalho de 50 a 200 bar ($5 \cdot 10^6$ a $2 \cdot 10^7$ Pa), sendo os de menor volume para o transporte a granel em carretas e os de maior volume para o armazenamento no local.

Empresas do ramo de gases industriais tem uma grande experiência acumulada neste tipo de armazenamento. Um reservatório cilíndrico de 50l ($0,05 \text{ m}^3$) à uma pressão de 200 bar contém cerca de 0,9 kg de hidrogênio e tem uma densidade energética de $0,6 \text{ MWh} \cdot \text{m}^{-3}$ ($2,16 \cdot 10^6 \text{ J}$) (FERREIRA, 2003).

NA FORMA LÍQUIDA

O armazenamento na forma líquida permite uma maior densidade de hidrogênio. A temperatura de liquefação do hidrogênio é da ordem de 20,3 K (-253 °C). O processo de liquefação de hidrogênio já é bem dominado pela indústria e as unidades de liquefação são fabricadas, por exemplo, pela Linde-Union Carbide (E.U.A) e a L'Air Liquide (França). Com o uso da tecnologia atual de liquefação são gastos aproximadamente de 9 a 11 $\text{kWh} \cdot \text{kg}^{-1}$ de H_2 líquido produzido, ou seja, o gasto com energia é alto. Além disso, o hidrogênio líquido tem que ser armazenado em tanques criogênicos, os quais tem a forma esférica ou cilíndrica e as paredes são metálicas de duplas camadas isoladas entre si, com perdas da ordem de 0,5 a 1% por dia. Então conclui-se que o armazenamento de hidrogênio na forma líquida é limitado pelo alto consumo de energia e investimento nos reservatórios criogênicos (FERREIRA, 2003)

NA FORMA DE COMPOSTOS INTERMEDIÁRIOS

O hidrogênio combina-se com a maioria dos elementos químicos e ligações deste tipo formam moléculas com a fórmula geral RH_x , sendo R o elemento, H o átomo de hidrogênio e x o número de átomos de hidrogênio (FERREIRA, 2003). No caso dos



hidretos metálicos, o elemento R é um metal ou metalóide e a reação de formação é expressa como:



Nos casos de interesse prático calor é desprendido quando o hidreto é formado, ou seja, o processo é exotérmico. Como exemplos de hidretos metálicos tem-se o FeTiH_2 , MgH_2 , LiH , TiH_2 etc. Quando calor é fornecido ao hidreto o hidrogênio é liberado (processo endotérmico). Dependendo do tipo de hidreto, grandes quantidades de hidrogênio são armazenadas por unidade de volume. O hidreto é estocado e transportado em tanques de construção simples.

A Tabela 2 compara a densidade de estoque (kg.m^{-3} de H_2) de hidrogênio na forma gasosa, líquida e hidreto metálico. Observa-se que se consegue armazenar maiores quantidades de hidrogênio na forma líquida e de hidretos metálicos.

Tabela 02: Densidade de armazenamento de Hidrogênio

Forma de estoque	Armazenamento	Densidade ($\text{kg} \cdot \text{M}^{-3}$ de h_2)
Líquida (LH_2)	vaso de aço	46,9
	vaso de alumínio	46,9
Hidreto (MH_2)	FeTiH_2	36,5
Gasosa (GH_2)	vaso de aço (150 atm)	12,1
	vaso de kevlar (200 atm)	11,2

FONTE: (FERREIRA, 2003)

5.5 ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL

Meio ambiente tem sido o foco das discussões locais e internacionais onde os avanços tecnológicos transformam as energias renováveis na escolha de prioritária para a expansão da capacidade de produção de energia elétrica (LOSEKANN e HALLACK, 2018).



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Segundo (EPE, 2018) em 2017, a oferta interna de energia (total de energia disponibilizada no país) atingiu 292,1 Mtep(Mega tonelada equivalente de Petróleo), registrando um acréscimo de 1,3% em relação ao ano anterior. Parte deste aumento foi influenciada pelo comportamento das ofertas internas de gás natural e energia eólica, que subiram 6,7% e 26,5% no período, respectivamente. Contribuiu ainda para a expansão da oferta interna bruta a retomada da atividade econômica em 2017, ano em que o PIB nacional cresceu 1,0%.

No caso da energia elétrica verificou-se também um avanço na oferta interna de 4,6 TWh (0,7%) em relação a 2016. Devido às condições hidrológicas desfavoráveis, houve redução de 3,4% da energia hidráulica disponibilizada em relação ao ano anterior. Apesar da menor oferta hídrica, a participação de renováveis na matriz elétrica atingiu 80,4% em 2017, fato explicado pelo avanço da geração eólica. A geração eólica atingiu 42,4 TWh - crescimento de 26,5%. A potência eólica atingiu 12.283 MW, expansão de 21,3% (EPE, 2018).

A Micro e Mini Geração Distribuída, incentivada por recentes ações regulatórias que viabilizaram a compensação da energia excedente produzida por sistemas de menor porte (net metering), atingiu 359,1 GWh com uma potência instalada de 246,1 MW. Destaque para a fonte solar fotovoltaica, com 165,9 GWh e 174,5 MW de geração e potência instalada respectivamente (EPE, 2018).

Em 2015, a capacidade instalada de renováveis representou 61% da capacidade total adicionada no mundo. Esse aumento das renováveis no mundo se deve principalmente ao aumento das novas tecnologias de energia renováveis; em especial, eólica e solar. (LOSEKANN e HALLACK, 2018).

O Brasil se posiciona nesse cenário de forma bastante peculiar, visto a importância histórica das hidráulicas na matriz elétrica nacional. Por um lado, as energias renováveis no Brasil são um caso de sucesso: a participação de fontes renováveis na matriz de geração brasileira é de 85%. Isto se deve, principalmente, à participação da energia hidroelétrica; uma tecnologia conhecida e amplamente aplicada no Brasil. Por outro lado, a expansão das hidráulicas enfrenta progressivamente maiores custos e restrições. Assim, se o Brasil quiser manter uma



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

matriz limpa, terá que fazer face às novas oportunidades e aos desafios relacionados à introdução das novas energias renováveis.

Neste caso cabe o investimentos em novas tecnologias, como o uso por exemplo do hidrogênio, direta ou indiretamente na produção termoelétrica, sendo o hidrogênio uma forma de se obter energia renovável.

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa é do tipo aplicada, explicativa e experimental, sendo definidos dois tópicos a serem contemplados no desenvolver das atividades práticas:

- Obtenção da amostra e análises laboratoriais;
- Montagem do reator eletrolítico;
- Polimento de águas cinzas em reator eletrolítico;
- Medição de volume de hidrogênio no sistema.

Serão apresentadas a seguir todas as metodologias usadas na concretização dos objetivos dessa pesquisa.

6.1 LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida nas dependências do Laboratório LARSEN (Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética), localizado no Instituto federal do Tocantins, campus Palmas, localizado na quadra 310 Sul, Av. LO 5, s/n - Plano Diretor Sul, Palmas - TO, 77021-090.

6.2 COLETA DE AMOSTRAS

Para realização dos ensaios de tratamento eletrolítico foram coletadas amostras de água cinza da lavagem de roupas em máquinas residenciais.

No desenvolvimento do trabalho experimental, as variáveis estudadas durante os ensaios eletrolíticos foram:



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

- Temperatura e Condutividade foram verificados no condutivímetro TEC – 4MP as amostras de água bruta, com duas horas de tratamento e com 4h de tratamento (Figura 3).

Figura 3 - CONDUTIVÍMETRO TEC – 4MP



Fonte: autor

- O pH foi medido no medidor de pH TECNAL nas amostras de água bruta, com duas horas de tratamento e com 4h de tratamento (Figura 4).

Figura 4 - MEDIDOR de pH TECNAL



Fonte: Google



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

- Os Sólidos totais presentes nas amostras, com duas e quatro horas de tratamento pelo processo eletrolítico foram analisados pelo método gravimétrico. As Figuras 5 e 6 mostram o Banho Maria e as cápsulas de porcelanas empregadas no teste, respectivamente.

Figura 5- BANHO MARIA



Fonte: autor

Figura 6 – SÓLIDOS PARA PESAGEM



Fonte: autor

- Turbidez na análise as amostras de água bruta, com duas horas de tratamento e com 4h de tratamento, foram verificadas no aparelho Turbidimêtro conforme a Figura 07



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

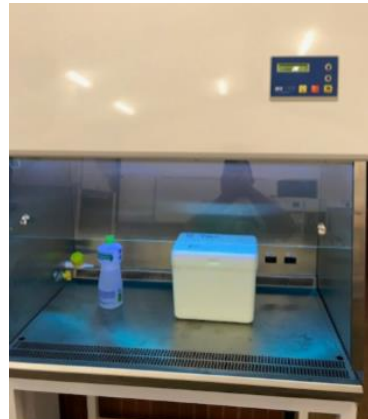
Figura 7- TURBIDIMÊTRO



Fonte: autor

- Coliformes Totais e E. coli, na análise as amostras de água bruta, com duas e quatro horas de tratamento foram separadas em frascos devidamente esterilizados, e manipulados na cabine de fluxo laminar (Figura 08) onde as amostras foram distribuídas dentro de cartelas e adicionadas bactérias de coliformes para fazer as análises, em seguida foram seladas na seladora da Figura 09, em seguida levada à estufa Figura 10 durante 24h à temperatura de 35°C, para depois serem analisadas Figura 11.

Figura 8- CABIINE DE FLUXO LAMINAR



Fonte: autor



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Figura 9- SELADORA



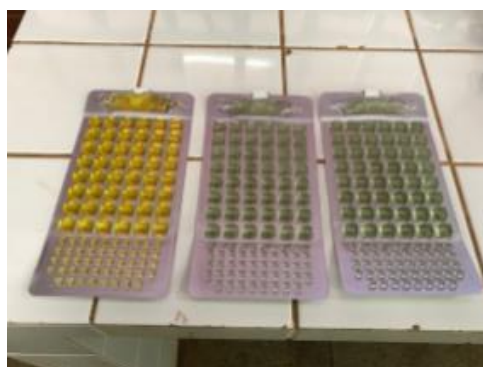
Fonte: autor

Figura 10 - ESTUFA



Fonte: autor

Figura 11- CARTELAS PARA FOTOMETRIA



Fonte: autor



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

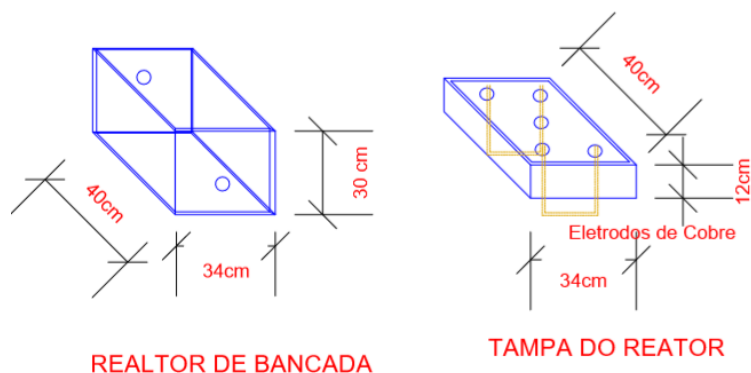
6.3 SISTEMA ELETROLÍTICO EM ESCALA DE BANCADA

O modelo de reator escolhido para ser utilizado durante os ensaios eletrolíticos teve a forma retangular na base, semelhante ao reator utilizado por (SINOTI, 2004).

O sistema concebido para o tratamento eletrolítico em escala de bancada foi composto dos seguintes itens:

- Reator de bancada – confeccionados em vidro, com as dimensões de 40 cm de comprimento, 30 cm de altura e 34 cm de largura, conforme o projeto Figuras 12 e 13.

Figura 12- PROJETO REATOR DE BANCADA



Fonte: autor

Figura 13 - REATOR DE BANCADA



Fonte: autor



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

- Eletrodos – tubos de cobre reciclados, com 25 cm de altura, 20 cm de comprimento;
- Fonte alimentadora LEYBOLD de corrente contínua de alimentação ajustável, Tensão e Corrente respectivamente 0 – 16V, 0 – 5A (Figura 14).

Figura 14 – FONTE ALIMENTADORA



Fonte: autor

- Fiação: Fios e 6 “jacarés” com diâmetro de 10 mm para cada reator;
- Confecções flange de 20 mm em PVC, soldável ;
- Registro de gás 3/8” (Figura 15).

Figura 15 - REGISTRO DE GÁS



Fonte: Google

- Mangueiras e tubos para a condução de gás e água.



6.4 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE ELETRÓLISE E MEDIÇÃO DE VAZÃO DO HIDROGÊNIO

Para a realização destes ensaios foi necessário submeter a água cinza com pH 9,8 à uma corrente contínua de aproximadamente 2,10 A, sob uma tensão de aproximadamente 15 V, o líquido para a produção do hidrogênio foi água de lavagem de roupas em máquina doméstica. O hidrogênio produzido na eletrólise foi medido através de armazenamento de forma gasosa através de um manômetro instalado junto ao reator de bancada, sendo o mesmo composto por:

- Mangueira PVC para Gás 3/8"x4,2x800mm (Diâmetro interno (Pol): 3/8 Parede(mm): 4,20);
- Abraçadeiras de rosca sem fim;
- Registro de gás 3/8";
- Manômetro de 0 a 1 Bar;

O sistema foi verificado em temperatura ambiente pelo período da eletrólise de aproximadamente 4 horas. O gás produzido no reator ficou contido no mesmo, sob pressão, sendo medido através de um manômetro, conforme Figura 16.

Figura 16 - REATOR DE BANCADA TRATANDO EFLUENTE E PRODUZINDO HIDROGÊNIO



Fonte: autor



6.5 ANÁLISES LABORATORIAIS

Nesta etapa da pesquisa, foram coletadas amostras ao longo do tratamento de águas cinzas, a saber: (a) água cinza bruta e (b) água cinza após o processo de eletrólise nos tempos de duas e quatro horas de tratamento. As determinações seguiram as recomendações de APHA/AWWA/WEF (1998), quadro 2.

Quadro 02 - Métodos analíticos aplicados na caracterização físico-química de águas cinzas e efluente.

PARÂMETRO ANALÍTICO	METODOLOGIA
Temperatura	Termômetro de mercúrio
pH	Eletrométrico
Condutividade	Eletrométrico
Sólidos Totais	Gravimétrico
Turbidez	Nefelométrico
Coliformes totais	Colilert
E. coli	Colilert

Fonte: autor

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Avaliação da qualidade do efluente final do sistema experimental

Nessa seção do trabalho são comparados os resultados obtidos no tratamento eletrolítico, em relação às diferentes características físico – químicos e biológicas da água cinza bruta e tratada. A Tabela 3 apresenta os dados obtidos ao longo do monitoramento do sistema experimental. A temperatura variou entre 25,5 (amostra bruta) e 27,7 (efluente com 2 horas de tratamento eletrolítico). Não foi observada mudança significativa nos valores de pH ao longo do tratamento por eletrólise. A água cinza bruta é bastante alcalina (pH igual a 9,9). Após o funcionamento do reator por



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

um período de 4 horas, o efluente apresentou pH igual a 10,3 mantendo assim as características básicas. Foi percebida a elevação da condutividade ao longo da operação do sistema experimental. A amostra de água cinza bruta apresentou condutividade elétrica de 686 uS/cm, já o efluente coletado após 4 horas de tratamento apresentou condutividade elétrica igual a 758 uS/cm. Esses aumentos nos valores de condutividade elétrica são justificados pela liberação de íons cobre provenientes dos eletrodos do metal em questão empregados no sistema experimental para as reações eletrolíticas. O valor de turbidez da amostra coletada durante 4 horas de funcionamento (22,3 uT) é inferior ao obtido na amostra *in natura* (37,9 uT). A turbidez observada na amostra coletada após em contato

Tabela 3 - Resultados das análises ao longo do funcionamento do reator eletrolítico

PARÂMETRO ANALÍTICO	ÁGUA BRUTA	EFLUENTE 2H	EFLUENTE 4H
Temperatura (°C)	25,5	27,7	27,6
pH	9,9	9,8	10,3
Condutividade (uS/cm)	686	671	758
Sólidos Totais (mg/L)	-	648	641
Sólidos Fixos (mg/L)	-	499	462
Sólidos voláteis (mg/L)	-	149	179
Turbidez (uT)	37,9	24,6	22,3
Turbidez 24h (uT)	37,9	2,05	1,24
Coliformes totais (UFC/mL)	> 2.419	Ausente	Ausente
E. coli (UFC/mL)	4,1	Ausente	Ausente

Fonte: autor

O valor de turbidez da amostra coletada durante 4 horas de funcionamento (22,3 uT) é inferior ao obtido na amostra *in natura* (37,9 uT). Amostras coletadas após



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

o tratamento eletrolítico foram colocadas em Cone Imhoff para a verificação do efeito de eletrocoagulação (Figura 17). Observa-se uma mudança substancial no valor de turbidez após 24 horas de decantação (turbidez igual a 1,24 uT), representando uma eficiência da ordem de 97 % desse parâmetro analítico em questão.

Com relação aos sólidos totais, na análise as amostras de água bruta, com duas horas de tratamento e com 4h de tratamento, foram verificados que a concentração de sólidos totais em 2h de tratamento foi de 648 mg/l e em 4h foi 641 mg/l, uma pequena redução.

Figura 17- CONES DE DECANTAÇÃO



Fonte: autor

Foram realizados ensaios microbiológicos de Coliformes Totais e *E. coli*, como forma de verificar a eficiência do processo eletrolítico de águas cinzas perante ao extermínio desses tipos de microrganismos, sendo analisadas as amostras de água bruta, com duas horas e com 4h de tratamento. Neste parâmetro também o tratamento eletrolítico se mostrou muito eficiente fazendo com que tanto os coliformes totais como *E. coli* pudessem tornassem ausentes nas amostras após o tratamento, proporcionando 100 % de eficiência neste critério.



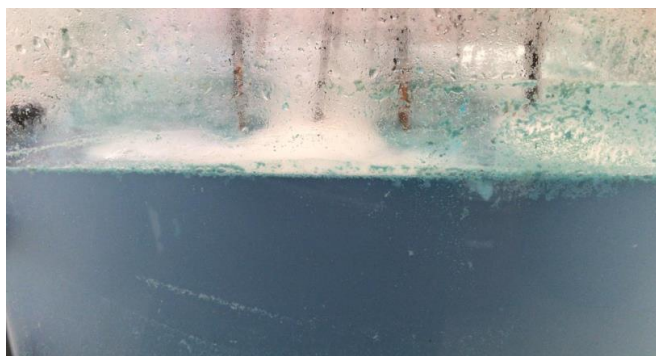
7.2 Produção do gás hidrogênio durante a operação do sistema experimental

Em relação à produção de hidrogênio na eletrolise, percebe – se, que as águas cinzas oriundas de máquinas de lavar roupas, apresentam um pH alcalino mesmo sendo tratada, devido à presença de sabão dissolvido na água, este fato faz com que no processo de eletrólise tenha uma eletrofloculação bem elevada como podemos perceber na figura 18, onde temos uma formação bem densa de espuma.

Foi percebido a produção de hidrogênio dentro do líquido porem não ao ponto de armazenamento, visto que a maior demanda fica preza dentro do efluente o que foi percebido pela elevada formação de bolhas no interior do reator eletrolítico e outra parte que atravessou a camada de espuma não pode ser armazenada possivelmente pelo fato do sistema de vedação do reator.

Percebe também que o efluente ficou com a coloração azulada provavelmente pela oxidação do cobre.

Figura 18 - FORMAÇÃO DE BOLHAS NO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO



Fonte: autor

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o tratamento de águas cinzas com eletrolise se mostrou bem eficiente no que diz respeito ao polimento da água principalmente em relação aos parâmetros de turbidez, coliformes totais e E. coli, principalmente comparado ao tempo para o tratamento, em relação ao custo do equipamento, considerando a



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

possibilidade do uso de materiais recicláveis, proporcionando assim maior sustentabilidade ao sistema.

Em relação ao hidrogênio gerado é considerável que águas alcalinas também podem produzi-lo, porém devido a elevada da eletrofloculação e ajustes de vedação do reator, o mesmo não pode ser armazenado. Considero que o uso de outras amostras de águas cinzas, como por exemplo a de lavagem de mãos, ou a aplicação de substâncias para diminuir o pH de águas provenientes de máquinas de lavar roupas, diminuam a eletrofloculação e torne o sistema mais eficiente.

Conclui-se que o sistema projetado foi capaz de produzir hidrogênio e efetuar o polimento das águas cinzas de forma satisfatória.

O reator projetado atendeu as expectativas de produção de hidrogênio e polimento de águas cinzas assim atenderam aos objetivos que foram inicialmente definidos.

Com o intuito de aperfeiçoar o sistema desenvolvido, encontram-se a seguir as sugestões para futuros trabalhos:

- melhorar o sistema de vedação do reator;
- Avaliar outros tipos de eletrólito;
- Utilizar eletrodos de aço inox com maiores teores de níquel, ou eletrodos de níquel puro, para verificar os efeitos na produção do gás;
- Estudar outras áreas de eletrodos, de modo a verificar a influência da densidade de corrente na vazão de hidrogênio;



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

REFERÊNCIAS

- ABNT, A. B. D. N. E. T.-. NBR 9648 - Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário, p. 5, nov 1986.
- ALMEIDA, A. T. D.; MOURA, P. S. Hidrogênio e Células de Combustível. **GAZETA DE FÍSICA**, Coimbra, Portugal , v. 29, p. 50, jan. 2006.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química [recurso eletrônico]**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- BETIM, F. S.; JESUS, H. C. D. Construção de um reator de eletrocoagulação de pequeno porte para tratamento de chorume. **ENTEQUI**, Vitória, ES, setembro 2014. ISSN 978-85-85905-08-8. 7º Encontro Nacional de Tecnologia Química.
- CHERNICHARO, C. A. D. L. **Esgotamento sanitário**: qualidade da água e controle da poluição : guia do profissional em treinamento : nível 2. Belo Horizonte : ReCESA, 2007.
- EPE, E. D. P. E. –. **BEN 2018**. GOVERNO FEDERAL MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Rio de Janeiro , p. 62. 2018.
- ESTÊVÃO, T. E. R. O Hidrogênio como combustível, Porto, Portugal, 2008. 133.
- FERREIRA, P. F. P. Análise da viabilidade de sistemas de armazenamento de energia elétrica na forma de hidrogênio utilizando células a combustível, Campinas, SP, 2003. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica..
- FORMENTIN, D. F. Tratamento eletroquímico de esgotos sanitários., Cascavel, PR, 2012. 125. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
- GILI, I. Tratamento de Efluentes por Eletrólise: Estudo de Caso para Efluentes Têxteis, Florianópolis, SC, 2015. 102. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

GOLDENSTEIN, M.; AZEVEDO, R. L. S. D. Combustíveis alternativos e inovações no setor automotivo: será o fim da "era do petróleo"? **BNDES Setorial, biblioteca digital**, Rio de Janeiro, RJ, p. 235 - 266, mar. 2006.

HEULER, L. et al. **Saneamento como política pública**: um olhar a partir dos desafios do SUS. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2018. 144 p. Centro de estudos estratégicos da Fiocruz.

IBGE, I. B. D. G. E. E. –, 2010.

JOÃOA, J. J. et al. PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO-FLOTAÇÃO: INVESTIGAÇÃO DOS PARÂMETROS OPERACIONAIS, Florianópolis - SC, p. 163 a 168, 04 dez. 2017.

LOSEKANN, L.; HALLACK, M. NOVAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES. In: (IPEA), I. D. P. E. A. **Energia**: Capítulos de Livros. 1ª. ed. Rio de Janeiro: IPEA, v. Energia, 2018. Cap. 34, p. 26. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8446>>.

LUDWIG, A. <http://oasisdesign.net/greywater/>. **http:** //oasisdesign.net/greywater/, 2007. Acesso em: 25 julho 2019.

MACIEL, A. B. C.; FELIPE, J. A.; LIMA, Z. M. C. Os problemas de saneamento e seus impactos sobre a saúde pública do município de Dona Inês/PB. **OKARA: Geografia em debate**, p. 524 a 541, 2015.

MAINIER, F. B. ELETROQUÍMICA INDUSTRIAL:UMA NOVA ABORDAGEM DE ENSINO. **ABENGE**, Natal, RN, v. 99, p. 7, set. 1999.

PEREIRA, L. G. O tratamento de esgoto em Ouro Preto, MG [manuscrito]: aspectos históricos e técnicos dos séculos XIX ao XX, Ouro Preto - MG, julho 2018. 99.

PIRES, F. M. B. Sistema de Esgotamento Sanitário – Estudo de Caso: Maré, Rio de Janeiro.

SAUTCHUK, C. et al. **Conservação e Reuso da Água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.

SCHULTZ, E. L. et al. Hidrogênio. **Comunicado Técnico Embrapa**, Brasília, DF, v. 11, p. 4, mar. 2015.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

SILVA, D. C. et al. Tratamento de águas residuais por métodos eletroquímicos: Uma possibilidade de experimentação para o ensino de química na Educação Básica, Campo Mourão, PR, jun. 2016. 9.

SILVA, P. C. F. D.; MAINIER, F. B. TRATAMENTO ELETROLÍTICO DE RESÍDUOS LÍQUIDOS GERADOS EM INDÚSTRIA MECÂNICA FABRICANTE DE EQUIPAMENTOS PARA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO. **Discover the world's research**, Rio de Janeiro, p. 949 - 957, 26 março 2015.

SINOTI, A. L. L. Processo eletrolítico no tratamento de esgotos sanitários: estudo da sua aplicabilidade e mecanismos associados. **Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM**, Brasília, DF, dez. 2004. 143.

SNIS, S. N. D. I. S. S.-. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2016, 2016. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. . Brasília, DF: Brasil,

WHO/UNICEF. Progress on sanitation and drinking water – 2015 update and MDG assessment. Geneva: World Health Organization (who) And The United Nations Children's Fund (unicef), 2015. 90 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010: População residente, total, urbana total e urbana na sede municipal, em números absolutos e relativos, com indicação da área total e densidade demográfica, segundo as Unidades da Federação e os municípios. Rio de Janeiro: Ibge, 2010.

<https://oglobo.globo.com/economia/no-brasil-esgoto-de-45-da-populacao-nao-recebe-qualquer-tratamento-21865590>

<https://g1.globo.com/economia/noticia/saneamento-avanca-mas-brasil-ainda-joga-55-do-esgoto-que-coleta-na-natureza-diz-estudo.ghtml>

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

CONAMA. Diário Oficial da república federativa do Brasil, Brasília, DF, 16 de Lavagem
de veículos Caixa de retenção do lodo Caixa separadora de água e óleo Reservatório
de coagulação e floculação Caixa de retenção do lodo Lodo FeCl₃ 3 Lodo Efluente
Empresa especializada Óleo Empresa especializada Disposição final maio de 2011.
Acessado em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legi_abre.cfm?codlegi=646