FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ
CURSO DE ENGENHARIA QUIMICA

BIANCA DE OLIVEIRA BIMBATO
BIANCA LANGA SCALZER
MAISA FERREIRA REBONATO
NATALIA FERREIRA DA SILVA

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DO TRATAMENTO DE EFLUENTE ORIUNDO DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS PELO MÉTODO DE ELETROFLOTAÇÃO UTILIZANDO ELETRODOS DE ALUMÍNIO

ARACRUZ
2017

BIANCA DE OLIVEIRA BIMBATO

BIANCA LANGA SCALZER

MAISA FERREIRA REBONATO

NATALIA FERREIRA DA SILVA

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DO TRATAMENTO DE EFLUENTE ORIUNDO DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS PELO MÉTODO DE ELETROFLOTAÇÃO UTILIZANDO ELETRODOS DE ALUMÍNIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química das Faculdades Integradas de Aracruz, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. MSc. Mário Sérgio da Rocha Gomes

ARACRUZ

2017

BIANCA DE OLIVEIRA BIMBATO

BIANCA LANGA SCALZER

MAISA FERREIRA REBONATO

NATALIA FERREIRA DA SILVA

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DO TRATAMENTO DE EFLUENTE ORIUNDO DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS PELO MÉTODO DE ELETROFLOTAÇÃO UTILIZANDO ELETRODOS DE ALUMÍNIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química das Faculdades Integradas de Aracruz, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado em 05 de dezembro de 2017

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. MSc. Mário Sérgio da Rocha Gomes
Faculdades Integradas de Aracruz
Orientador

Prof.DSc. Marcos Roberto Teixeira Hajasz
Faculdades Integradas de Aracruz

Profª MSc. Uara Sarmenghi Cabral
Faculdades Integradas de Aracruz

RESUMO

Em conformidade com as exigências estabelecidas pelo Órgão Ambiental, os postos de combustíveis possuem como sistema de tratamento dos efluentes oleosos gerados a Caixa Separadora de Água e Óleo (SAO). No entanto, tal sistema de tratamento não tem mostrado eficiência técnica satisfatória, uma vez que não trata efluentes emulsionados. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo a construção de um reator eletroquímico, a fim de avaliar a eficiência do processo de eletroflotação no tratamento de efluentes oleosos frente à Caixa SAO. Além disso, visou-se avaliar a possibilidade de reuso do efluente tratado nas atividades do próprio posto de combustível e a viabilidade financeira da instalação de uma unidade eletroflotadora em escala real.

Os resultados foram obtidos através de ensaios realizados com dois tamanhos distintos de eletrodos (sendo que o eletrodo B possui metade da largura do eletrodo A), variando o tempo de 5 em 5 minutos. Também foi realizada a caracterização do efluente bruto e do efluente tratado por ambos os sistemas de tratamento e posterior comparação das eficiências calculadas. Além disso, os resultados das análises de cada parâmetro foram comparados aos padrões de reuso para fins urbanos, estabelecidos pelo contrato firmado entre a Prefeitura Municipal de São Paulo e a Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP).

Quanto à viabilidade técnica, os resultados obtidos indicam que a eletroflotação possui maior eficiência de tratamento quando comparada à Caixa SAO. Além do mais, o efluente tratado através do processo de eletroflotação adequou-se aos padrões de reuso, estando apropriado a ser utilizado nas atividades do posto. O melhor ensaio verificado foi para o eletrodo B no tempo de 25 minutos. Em relação à viabilidade financeira, ainda que o reuso da água tratada pelo reator eletroquímico promova economia nos custos relacionados ao consumo anual de água no posto de combustível, a instalação de uma unidade eletroflotadora mostrou-se inoportuna, uma vez que acarretou grandes custos energéticos.

Palavras chaves: Efluentes, Caixa SAO, Eletroflotação, Viabilidade Financeira e Reuso.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de qualidade da água de reuso para fins urbanos. 23
Tabela 2 - Dados de CT, CF e CR para os Eletrodos A e B.....46
Tabela 3 - Dados dos parâmetros analisados nos efluentes, após tratamento eletroquímico com os Eletrodos A e B, para os três melhores tempos. 47
Tabela 4 - Eficiência de remoção para E_A. 48
Tabela 5 - Eficiência de remoção do E_B. 48
Tabela 6 - Consumo dos eletrodos de alumínio (g).....50
Tabela 7 - Consumo energético (kW/m^3) da eletroflotação com os eletrodos A e B. 51
Tabela 8 - Consumo de água/ano no posto de combustível. 52
Tabela 9 - Capacidade e geração de água para reuso de um Reator de Bancada x Reator Real. 53
Tabela 10 - Custo de operação (R$/m^3 de efluente) da eletroflotação com os Eletrodos A e B.....53
Tabela 1 - Parâmetros analisados nos efluentes de entrada e saída, após cada tempo de eletroflotação, para o Eletrodo A. 61
Tabela 2 - Parâmetros analisados nos efluentes de entrada e saída, após cada tempo de eletroflotação, para o Eletrodo B. 62

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC – Acidez

AL – Alcalinidade

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CE – Condutividade Elétrica

CEE – Consumo Energético do Eletrodo

CF – Coliformes Fecais

CR – Cloro Residual

CT – Coliformes Totais

E_A – Eletrodo A

E_B – Eletrodo B

E_{CS} – Entrada Caixa SAO

ER – Eficiência de Remoção

NBR – Norma Brasileira

SAO – Separadora de Água e Óleo

S_{CS} – Saída Caixa SAO

S_{RE} – Saída Reator Eletroquímico

SST – Sólidos Suspensos Totais

TB – Turbidez

TOG – Teor de Óleos e Graxas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 8
2 OBJETIVOS 10
2.1 OBJETIVO GERAL 10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 10
3 REFERENCIAL TEÓRICO 11
3.1 EFLUENTES ORIUNDOS DOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS 11
3.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA AOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS 12
3.3 CAIXAS SEPARADORAS DE ÁGUA E ÓLEO (SAO) 14
3.3.1 Emulsão Água/Óleo 15
3.4 FLOTAÇÃO 16
3.4.1 Eletroflotação 17
3.5 REAÇÕES ENVOLVIDAS NA ELETROFLOTAÇÃO 18
3.6 REATOR ELETROQUÍMICO 19
3.7 PRINCIPAIS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NA ELETROFLOTAÇÃO 20
3.8 REUSO DA ÁGUA 22
3.9 TRABALHOS PUBLICADOS SOBRE ELETROFLOTAÇÃO 24
4 METODOLOGIA 27
4.1 CONSTRUÇÃO DO REATOR 27
4.2 COLETA DO EFLUENTE 28
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE 29
4.3.1 Determinação do Teor de Óleos e Graxas – Método Soxhlet 29
4.3.2 Determinação de pH 31
4.3.3 Determinação da Condutividade Elétrica 31
4.3.4 Determinação de Sólidos Suspensos Totais 31
4.3.5 Acidez - Método titulométrico com indicador 32
4.3.6 Alcalinidade - Método titulométrico com indicador 33
4.3.7 Turbidez 34
4.3.8 Coliformes Totais e Coliformes Fecais 34
4.3.9 Cloro Residual 35

4.4 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS E EFICIÊNCIA DA ELETROFLOTAÇÃO . 35
4.5 AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE REUSO 35
4.6 VIABILIDADE TÉCNICA 35
4.7 VIABILIDADE FINANCEIRA 36
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 38
5.1 EFEITO DOS PARÂMETROS EM FUNÇÃO DO TEMPO 38
5.1.1 Teor de Óleos e Graxas.....39
5.1.2 pH.....39
5.1.3 Condutividade.....40
5.1.4 Sólidos Suspensos Totais 41
5.1.5 Acidez e Alcalinidade 43
5.1.6 Turbidez.....44
5.1.7 Coliformes Totais, Coliformes Fecais e Cloro Residual.....45
5.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS DO PROCESSO..... 46
5.3 VIABILIDADE TÉCNICA 47
5.3.1 Eficiência de Remoção.....48
5.4 VIABILIDADE FINANCEIRA 49
5.4.1 Consumo dos Eletrodos 50
5.4.2 Consumo Energético.....50
5.4.3 Consumo de Água 51
5.4.4 Custo de Operação.....53
6 CONCLUSÃO 55
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....56

1 INTRODUÇÃO

Os postos de combustíveis abrangem o segmento empresarial de venda a varejo de combustíveis e, em geral, desenvolvem as seguintes atividades: armazenamento e venda de combustível; lavagem e abastecimento de veículos; troca de óleos e filtros; lubrificação; loja de conveniência e tratamento dos efluentes líquidos gerados (LORENZETT e ROSSATO, 2010).

De acordo com a nota publicada pelo site Engenho Novo (2011), esse efluente possui em sua composição quantidades variáveis de óleos, graxas e lubrificantes, além de uma variedade de outros materiais em suspensão, que podem incluir areia, terra, argila e outros, e uma gama de substâncias coloidais e dissolvidas, tais como detergentes, sais, metais pesados, etc.

Segundo LIMA et al. (2001), a disposição de águas oleosas no solo pode provocar contaminação do lençol freático ou o acúmulo de produtos tóxicos em plantas e animais. Se lançados em cursos de água, esses efluentes podem provocar a destruição da vida aquática ali existente.

Atualmente os postos de gasolina possuem em suas instalações a chamada Caixa SAO, que são obrigatórias por lei. No entanto, possuem custos elevados para seus proprietários, pois o efluente destas caixas necessita ser coletado por empresas terceirizadas.

Existem diversos métodos de tratamento para as águas oleosas em estudo, tais como: vasos gravitacionais, sistemas de filtração em meio granular, flotação, centrifugação e utilização de hidrociclones, podendo ser utilizados de forma combinada. Entretanto, a flotação tem se mostrado eficiente, pois os outros métodos não conseguem remover grande parte do óleo emulsionado devido ao diâmetro crítico das gotas de óleo, enquanto que ela separa as partículas baseada no contato entre as bolhas de gás e as gotas de óleo. Como as fases de gás e óleo são menos densas do que a água, ambas tendem a ascender naturalmente (SILVA, 2008).

De acordo com RUBIO; SOUZA e SMITH (2002) os tipos de flotação mais indicados

para o tratamento de águas oleosas são: eletroflotação, flotação por gás dissolvido ou induzido e flotação em coluna. O processo de eletroflotação, também chamado de eletrocoagulação é um processo eletrolítico que envolve a desestabilização de poluentes emulsificados, ou em suspensão, em meio aquoso. Dispõe-se de uma técnica eletroquímica de separação utilizada em efluentes, que já foi testada dando resultados satisfatórios e que vem ganhando espaço no tratamento de diversos tipos de efluentes (CRESPILHO e REZENDE, 2004).

Em função dos prejuízos ambientais e dos custos com as constantes coletas dos resíduos gerados, mesmo após tratamento pela Caixa SAO, o presente trabalho visa analisar o efluente oleoso oriundo de postos de combustíveis a fim de tratá-lo e adequá-lo de acordo com a SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, que é considerada uma das maiores empresas de saneamento ambiental do Brasil, para que possa ser reutilizada nas atividades cotidianas do posto. Além disso, visa realizar um estudo de viabilidade financeira da implantação do sistema de eletroflotação e avaliar sua eficiência frente à Caixa SAO, de forma a aumentar o intervalo de tempo entre a coleta dos resíduos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a viabilidade técnica e financeira da separação da fase oleosa de efluentes oriundos de postos de combustíveis através do processo de eletroflotação, utilizando eletrodos de alumínio.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir um reator eletroquímico;
- Caracterizar o efluente oleoso coletado;
- Avaliar a eficiência do processo de eletroflotação variando os parâmetros tempo e tamanho do eletrodo;
- Caracterizar o efluente tratado e avaliar os resultados obtidos, assim como a potencial aplicação da água tratada no reuso em atividades no próprio posto de combustível;
- Verificar a viabilidade financeira da instalação de uma estação de tratamento por eletroflotação em postos de combustíveis.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com PINTO e SILVA (2008), a comercialização de combustíveis, atualmente é marcada por um cenário bastante fragmentado. De acordo com a ANP – Agência Nacional de Petróleo e Gás Natural e Biocombustíveis (2015), o Brasil possui 40.802 postos de combustíveis e o abastecimento nacional desses combustíveis são considerados de utilidade pública pela legislação brasileira.

A ANP regula as atividades monitorando vendas, comercialização, distribuição, transporte e lubrificantes, utilizando mais de 100 mil agentes econômicos operando nessas áreas. Contudo, é de competência do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, legislar a respeito da atividade de comercialização de combustível, cabendo às prefeituras municipais a questão da permissão para o funcionamento dos postos, ou seja, identificar os locais adequados ao desenvolvimento dessa atividade.

No Brasil existem muitos postos de combustível e grande parte deles oferecem serviços que demandam além de abastecimento. Os efluentes gerados nessa atividade são chamados de efluentes oleosos e normalmente estão contaminados principalmente por óleos, graxas, sabões e material argiloso em suspensão que recebem em alguns casos apenas o tratamento preliminar.

3.1 EFLUENTES ORIUNDOS DOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

Segundo BARROS (2006), a demanda de comercialização nos postos de gasolina teve um aumento significativo quando estes elevaram seu patamar de trabalhar apenas com derivados de combustíveis e iniciaram a venda de outros produtos fornecidos aos consumidores. Contudo, essa crescente demanda acarretou uma maior geração de resíduos sólidos, prejudicial ao meio ambiente.

De acordo com GROBÉRIO et al. (2004), na lavagem de carros, a geração de efluentes provenientes da água utilizada de resíduos sólidos contaminados com óleo é de volume grande. Estes são retidos nos tanques de separação água-óleo, considerados como um pré-tratamento para estes resíduos sólidos e efluentes. Esses resíduos podem estar

compostos por grãos de areia e argila, aderidos à superfície dos carros quando trafegam por vias sem calçamento, terrenos arenosos, e pistas asfálticas semiacabadas.

Dentre os resíduos citados, a maior preocupação é o efluente derivado do óleo lubrificante utilizado na área dos postos. Isso se deve a forma de que esse é lançado ao meio ambiente, pois quando descartado em meio hídrico, nas redes de esgoto e solo de forma direta, ou seja, sem nenhum tipo de tratamento, e até mesmo quando ocorre sua queima descontrolada, os mesmos acarretam sérios problemas de poluição do solo, da água e do ar, além de atingirem o lençol freático, quando estes são infiltrados no solo, agem em conjunto com a água da chuva, poluindo também as fontes e águas de poços (SILVEIRA; CALAND; MOURA, 2006).

SANTOS (2005) relata que existe o controle ou impedimento dos impactos ambientais provenientes desses resíduos oriundos de postos de combustíveis, entretanto deve-se remeter a tecnologias adequadas que faça esse controle ambiental, promovendo assim um ambiente operacional isento de acidentes na natureza.

3.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA AOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

Desde 1981 a Lei Federal nº 6.938, regulamenta pelo Decreto Federal n.º 99.274/90, a Política Nacional do Meio Ambiente. A lei estabelecida foi inclusa como uma atividade englobada ao licenciamento ambiental pela Resolução CONAMA nº 237 de 1997. Diante da situação as leis foram alteradas e atualmente a mais importante norma que regulamenta essa atividade é a Resolução CONAMA nº 273/00, a fim de integrar e padronizar todas as atividades que utilizam armazenamento e reservatórios de combustíveis, englobando a questão ambiental, para que assim possa uniformizar o licenciamento dessa atividade. Em seu art. 1º decreta que essas atividades devem ser realizadas de acordo com as normas estabelecidas pela ABNT ou pelo órgão ambiental competente (LORENZETT e ROSSATO, 2010; LORENZETT et al., 2011).

Segundo o Art. 6º, §1 e 2, da Resolução do CONAMA nº 273/00.

> *"Caberá ao órgão ambiental competente definir a agenda para o licenciamento ambiental dos empreendimentos identificados no art. 1 em operação na data de*

> *publicação desta Resolução:*
>
> *§1 Todos os empreendimentos deverão, no prazo de seis meses, a contar da data de publicação desta Resolução, cadastrar-se junto ao órgão ambiental competente.*
>
> *§2 Vencido o prazo de cadastramento, os órgãos competentes terão prazo de seis meses para elaborar suas agendas e critérios de licenciamento ambiental, resultante da atribuição de prioridades com base nas informações cadastrais. "*

De acordo com o Art. 8°, dessa mesma resolução:

> *"Em caso de acidentes ou vazamentos que representem situações de perigo ao meio ambiente ou a pessoas, bem como na ocorrência de passivos ambientais, os proprietários, arrendatários ou responsáveis pelo estabelecimento, pelos equipamentos, pelos sistemas e os fornecedores de combustível que abastecem ou abasteceram a unidade, responderão solidariamente, pela adoção de medidas para controle da situação emergencial, e para o saneamento das áreas impactadas, de acordo com as exigências formuladas pelo órgão ambiental licenciador".*

No Art. 12º, da mesma resolução esclarece:

> *"O não cumprimento do disposto nesta Resolução sujeitará os infratores às sanções previstas nas Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981; 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e no Decreto no 3.179, de 21 de setembro de 1999 revogado pelo decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008, onde são definidas como penalidades multa simples ou diária, à perda ou restrição de incentivos e benefícios fiscais concedidos pelo poder público, à perda ou suspensão de participação em linhas de financiamento em estabelecimentos oficiais de crédito, à suspensão parcial ou total da atividade, a prestação de serviços à comunidade, a interdição temporária de direitos e o recolhimento domiciliar."*

Para que os postos de combustíveis possam exercer suas atividades, estes devem se submeter a Licença Operacional estabelecido nas NBR 14784 da ABNT, os requisitos estabelecidos nas NBR 13784 da ABNT, que normatiza o sistema de detecção de vazamentos; na NBR 12235 da ABNT, que normatiza a forma de armazenamento dos resíduos gerados na atividade e NBR 10004 da ABNT, que dispõe sobre as embalagens de produtos consideradas como resíduos perigosos e sua obrigatoriedade de devolução ao fornecedor destes produtos.

A Resolução CONAMA Nº 430/2011 dispõe das condições e padrões de lançamento de efluentes e complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Em seu Art. 16 º ela define que:

> *"Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam às condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis: I - condições de lançamento de efluentes:*
>
> *a) pH entre 5 a 9;*

> *b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;*
>
> *c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Inmhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;*
>
> *d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;*
>
> *e) óleos e graxas: 1. óleos minerais: até 20 mg/L; 2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;*
>
> *f) ausência de materiais flutuantes; e*
>
> *g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor."*

De acordo com LORENZETT et al., (2011) os proprietários devem seguir as normas e as leis estabelecidas, para que estejam aptos e legalizados com o cumprimento dos órgãos e gestões ambientais, para que assim consigam concretizar assim seu funcionamento.

3.3 CAIXAS SEPARADORAS DE ÁGUA E ÓLEO (SAO)

De acordo com o site SP Combustíveis (2017), toda água oriunda de postos de gasolina, que esteja contaminada com óleos e derivados de petróleo, deve passar pelo processo de separação das fases água-óleo antes de ser lançada no esgoto. Portanto, a exigência da legislação e conscientização dos consumidores quanto à necessidade de preservação do meio ambiente tem tornado crescente a demanda por filtros e caixas SAO.

Segundo COSTA (2014), as Caixas SAO são tanques de polietileno, impermeáveis e resistentes a resíduos oleosos e seu funcionamento se dá por meio da separação do óleo da água pela da ação da gravidade. Ao entrar no tanque, a velocidade do efluente é reduzida e, como o óleo possui uma menor densidade que a água, ele flutua, separando-se fisicamente.

A eficiência de tratamento das caixas separadoras pode ser afetada por diversos parâmetros, tais como o tamanho da gota de óleo, a densidade do óleo, a temperatura

do ambiente, o pH do efluente, a presença de surfactantes, entre outros, sendo que a concentração de surfactantes no efluente oleoso é, das condições citadas, a que mais influencia negativamente na eficiência do tratamento utilizando a caixa SAO. Dessa maneira, os efluentes a serem tratados por esse processo devem conter baixas concentrações de detergentes e solventes (COSTA, 2014).

3.3.1 Emulsão Água/Óleo

De acordo com SHAW (1975), uma mistura constituída por dois líquidos imiscíveis ou parcialmente miscíveis onde uma fase é dispersa em outra através de partículas coloidais pode ser definida como emulsão. O tipo de emulsão formada vai variar de acordo com a estrutura química da substância estabilizante presente na mistura (FORDEDAL et al., 1995).

Segundo THOMAS et al. (2001), as emulsões podem ser classificadas em dois tipos. As emulsões água em óleo (A/O) são aquelas cujo óleo é identificado como a fase contínua, estando a água dispersa nele. Por sua vez, as emulsões óleo em água (O/A) são aquelas em que óleo é a fase dispersa e a água fase contínua.

Em sua obra, OLIVEIRA (1995) observou a estabilidade do óleo emulsionado nas águas oleosas oriundas da produção de petróleo. Segundo o autor, resíduos de substâncias químicas utilizadas na extração do petróleo, partículas sólidas advindas do processo de produção e substâncias surfactantes contidas espontaneamente no petróleo aumentam a proporção e a estabilidade do óleo emulsificado.

Pode-se conceituar estabilidade da emulsão como a capacidade de a mesma manter-se homogeneizada por determinado período. A estabilidade das emulsões depende de uma série de fatores, incluindo a presença de substâncias capazes de garantir a aderência das partículas da fase aquosa nas partículas da fase oleosa. Tais substâncias são denominadas agentes emulsificantes, também conhecida como tensoativos ou surfactantes (AUFLEM, 2002).

Conforme MITTAL (1979), os tensoativos (surfactantes) são substâncias capazes de reduzir a tensão interfacial, através de suas propriedades e estrutura química. Tais

substâncias possuem dois tipos de solubilidade distintos. Isso significa que, a mesma molécula apresenta uma porção hidrofílica (grupo polar que possui afinidade com a água) e uma porção hidrofóbica (grupo apolar e que não possui afinidade com água, mas liga-se a outros compostos, como os graxos). A presença de agentes emulsificantes (ou surfactantes) provoca a diminuição da tensão superficial, favorecendo, portanto, a estabilização da emulsão.

Assim, torna-se necessária a utilização de técnicas de separação que sejam capazes de desestabilizar essa emulsão, fazendo com que haja a separação entre as fases água/óleo e facilitando a remoção de óleos e graxas, como é o caso da flotação e eletroflotação.

3.4 FLOTAÇÃO

De acordo com BUCHAN e YARAR (1995) e CASQUEIRA et al. (2002) a flotação é descrita como uma técnica vastamente aplicada no setor de beneficiamento mineral, e tem tido crescente aplicação no tratamento de água e diversos tipos de efluente. Aspectos como flexibilidade, eficiência na remoção de partículas e capacidade de produzir menor quantidade de concentrado no material de interesse tratando maior quantidade de líquido, tem tornado a aplicação do método de flotação interessante para vários tipos de processos (ZOUBOULIS e GOETZ, 1991).

SANTOS (2004) descreve sobre os fundamentos do processo de flotação, sendo este consolidado pela colisão entre as bolhas de gás geradas e as gotas de óleo presentes no efluente oleoso. Visto que a densidade do gás e do óleo são menores em relação a densidade da água, as duas fases tendem a elevar-se até a superfície. Todavia, sendo as bolhas de gás menos densas em relação às partículas de óleo, há a expectativa de que as partículas de óleo cheguem à superfície com velocidade menor em relação à fase gasosa. Devido às diferenças de velocidade entre as fases líquida e gasosa, é possível a colisão entre as bolhas de gás e as partículas de óleo. O processo de flotação torna-se vantajoso visto que alcança boas eficiências a baixos custos, quando comparados a outras técnicas de separação.

Conforme MASSI et al. (2008), as partículas de gás (de menor densidade) ascendem até a superfície trazendo consigo as partículas seletivamente aderidas, separando-as da fase aquosa. A tensão superficial do meio e o ângulo de contato observado entre as bolhas e as partículas são os responsáveis pelo fenômeno de separação, como ocorre na eletroflotação.

3.4.1 Eletroflotação

Eletroflotação pode ser descrita como um processo que, através da geração de microbolhas provenientes da decomposição eletrolítica da água, incitam a aglutinação e flutuação das partículas contidas no meio aquoso até a superfície (BANDE et al., 2007).

De acordo com NAHUI et al. (2008), a eletroflotação apresenta benefícios quando comparada ao processo de flotação tradicional, tais como maior taxa de remoção das partículas, obtenção conjunta de flotação e coagulação, menor quantidade de lodo gerado, além de ter simples instalação e aplicação.

SANTOS e DUTRA (2011) descrevem que durante a eletrólise, no processo de eletroflotação, as bolhas de gás formadas possuem diâmetro muito pequeno, que chegam a medir até 20 µm. Essa condição é ideal para que o método alcance melhor eficiência e resultados satisfatórios, visto que, quanto menor o diâmetro das bolhas, maior a probabilidade de colisão entre elas e as partículas dispersas.

Ao decorrer da técnica de eletroflotação a matéria orgânica é oxidada eletroquimicamente de duas maneiras distintas: direta ou indireta. A oxidação eletroquímica da matéria orgânica significa que os poluentes são inicialmente adsorvidos na região superficial do anodo e posteriormente deteriorados através das reações de deslocamento de elétrons. Na oxidação eletroquímica indireta os contaminantes são decompostos pela ação de fortes oxidantes gerados durante o processo, como o hipoclorito e o cloreto (RAJKUMAR e PALANIVELU, 2004).

O processo de eletroflotação possui três principais benefícios que o tornam vantajoso, se comparado a outros métodos de separação. A primeira, segundo HOSNY (1996), é que a técnica possibilita a formação de bolhas de pequenos diâmetros. A segunda grande vantagem da eletroflotação é que a possibilidade de colisão entre as partículas

e o número de bolhas de gás geradas pode ser otimizada de acordo com a alteração da densidade de corrente (CHEN, 2003). Por fim, conforme MOLLAH et al. (2001), é possível aplicar, durante o procedimento, eletrodos solúveis, tais como eletrodos de ferro e de alumínio.

3.5 REAÇÕES ENVOLVIDAS NA ELETROFLOTAÇÃO

A dissolução eletrolítica do ânodo de alumínio produz monômeros catiônicos como Al^{3+} e $Al(OH)_2^+$, com pH baixo. Valores de pH entre 6,5 e 7,0 são favoráveis à transformação em hidróxido de alumínio ($Al(OH)_3$) e posterior polimerização em $Aln(OH)_{3n}$, como indicado nas Equações 1, 2 e 3 (CRESPILHO; SANTANA; REZENDE, 2004):

$$Al \rightarrow Al^{3+}_{(aq)} + 3e^- \quad (1)$$

$$Al^{3+}_{(aq)} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3H^+_{(aq)} \quad (2)$$

$$nAl(OH)_3 \rightarrow Al_n(OH)_{3n} \quad (3)$$

Essas reações são muito importantes, pois o $Al(OH)_3$ é o agente responsável pela coagulação e formação de partículas coloidais. Além disso, a eletrofloculação pode gerar microbolhas de gases, responsáveis pela flotação de compostos particulados. As Equações 4, 5 e 6 representam a formação desses gases (CRESPILHO; SANTANA; REZENDE, 2004):

Evolução de hidrogênio no cátodo:

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^- \quad (4)$$

Evolução de oxigênio no ânodo:

$$2H_2O \rightarrow O_2 + H^+ + 2e^- \quad (5)$$

ou

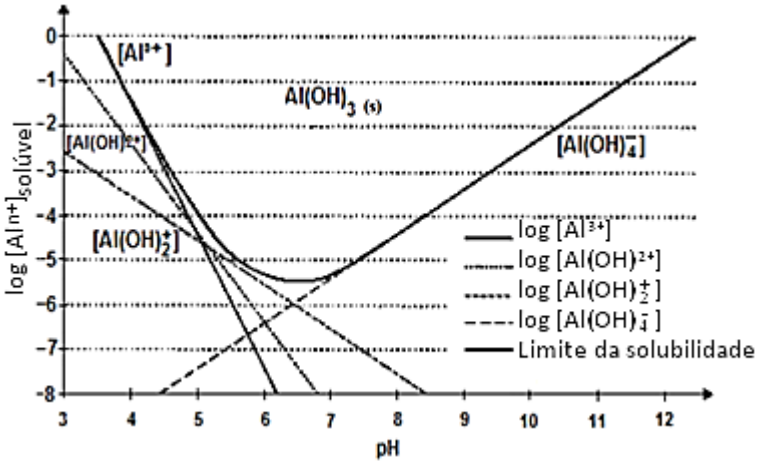
$$2OH^- \rightarrow O_2 + H^+ + 2e^- \quad (6)$$

Havendo íons cloreto no efluente a ser tratado, poderá ser formado Cl_2 no ânodo. Na presença de água, o Cl_2 pode formar íons hipoclorito, tornando a eletrofloculação ainda

mais vantajosa, já que os processos de geração de cloro podem ser utilizados na desinfecção da água e eliminação de odores indesejáveis (CRESPILHO; SANTANA; REZENDE, 2004).

Verifica-se a hidrólise do alumínio com os tipos de compostos existentes em solução aquosa em função do pH no diagrama apontado no Gráfico 1:

Gráfico 1 - Hidrólise do alumínio em função do pH.



FONTE: Crespilho e Rezende (2006).

Dependendo do pH do meio, diversos íons podem estar presentes no sistema. Complexos de Alumínio como $Al(OH)^{2+}$, $Al_2(OH)_2^{4+}$ e $Al(OH)_4^-$ conferem uma característica gelatinosa ao meio quando em solução aquosa. Eles adsorvem as partículas, originando os flocos (coágulos maiores) e removendo contaminantes (CRESPILHO; REZENDE, 2006).

3.6 REATOR ELETROQUÍMICO

Um reator de eletroflotação é composto por eletrodos constituídos de placas metálicas que apresentam polaridades positivas e negativas denominadas como ânodos e cátodos, respectivamente (BRITO; FERREIRA; SILVA, 2012).

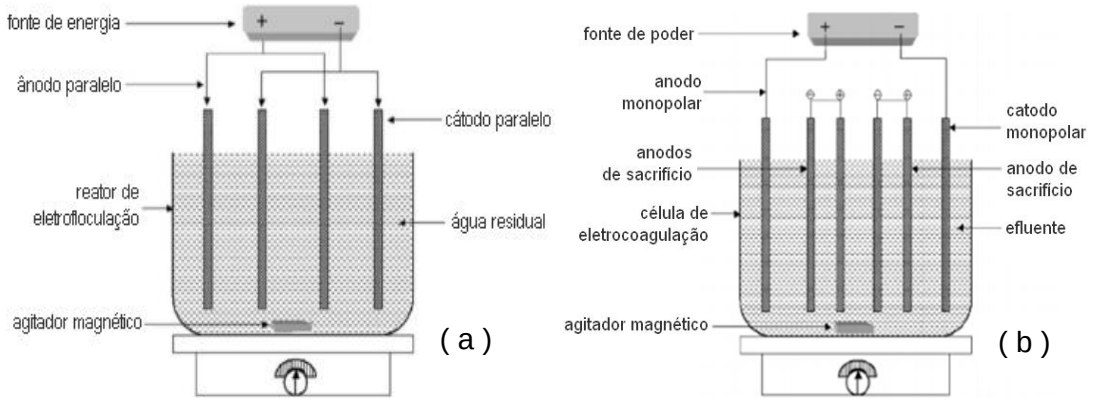
Os eletrodos são conectados a uma fonte externa, dessa forma, o catodo é sujeito a redução enquanto o anodo sofre reações de oxidação. Por sofrer corrosão e ser consumido após o processo, o anodo é chamado de eletrodo de sacrifício e precisam ser trocados periodicamente (MOLLAH et al., 2001). Segundo NETO et al. (2011), a

utilização de anodos de ferro ou de alumínio é mais comum por motivos de custo, disponibilidade e eficácia.

O arranjo mais adequado para o tratamento de águas residuais são os eletrodos monopolares, pois permitem uma maior taxa de dissolução do metal com uma menor área de superfície, que podem ser dispostos em série ou paralelo (GOBBI, 2013).

O arranjo paralelo consiste de pares de placas de metais condutores, localizados entre dois eletrodos paralelos e uma fonte de alimentação. Nesse tipo de arranjo, a corrente é dividida igualmente entre os eletrodos com base na resistência oferecida por eles. O arranjo em série é eletricamente similar a uma célula única. Cada par de eletrodos de sacrifício é conectado internamente um ao outro e não possui conexão com os eletrodos exteriores (MOLLAH et al., 2004). Ambos os tipos de reatores monopolares estão representados na Figura 1.

Figura 1 - Diagrama esquemático de reator de eletroflotação em escala de bancada com eletrodos monopolares (a) em paralelo e (b) em série.



FONTE: Adaptação de Mollah et al. (2004)

3.7 PRINCIPAIS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NA ELETROFLOTAÇÃO

O desempenho do sistema eletroflotação é avaliado pela eficiência de remoção de poluentes e pelos consumos de energia e/ou químicos.

- **Efeito do pH**

O pH da solução e o material do eletrodo irão determinar a distribuição do tamanho da

bolha CHEN, CHEN e YUE (2002). As bolhas de hidrogênio são menores a pH neutro, e as bolhas de oxigênio aumentam relativamente com o pH. Tanto os materiais catódicos como os anódicos afetam o tamanho das bolhas de hidrogênio. O tamanho da bolha obedece a uma distribuição matemática log-normal (FUKUI; YUU, 1984).

Um dos benefícios da eletroflotação é a capacidade de neutralização do efluente, caso o mesmo apresente caráter ácido (abaixo de 7) antes do tratamento. A capacidade de redução do cátodo obtida pelo processo de eletroflotação, torna o processo capaz de aumentar o valor de pH do efluente a ser tratado (CERQUEIRA, 2006).

De acordo com KOBYA, CAN e BAYRAMOGLU (2003), o material do eletrodo influencia grandemente nas mudanças de pH durante a eletroflotação, bem como o pH do efluente bruto. Tomando por base o eletrodo de alumínio, temos que o pH no efluente tratado será elevado, caso o efluente bruto apresente valores de pH menores que 8. Por sua vez, quando o eletrodo é constituído de ferro, o pH no efluente ao final do tratamento será sempre maior em relação ao pH inicial.

- **Efeito da densidade de corrente**

A densidade de corrente é outra influência no tamanho das bolhas de gás (KETKAR; MALLIKARJUNAN; VENKATACHALAM, 1988, 1991). Além disso, o número de bolhas de gás disponíveis por segundo e a unidade de área de secção transversal da célula de flotação também desempenham um papel importante na recuperação de partículas finas e colóides (KETKAR; MALLIKARJUNAN; VENKATACHALAM, 1991). Como também foi observado por CHEN (2003), a distribuição do tamanho da bolha de gás pode ser diminuída com o aumento da intensidade da corrente.

Segundo SANTOS e DUTRA (2011) o valor da densidade de corrente está interligado ao tamanho da bolha formada durante o processo de eletroflotação, uma vez que são inversamente proporcionais. Altas densidades de corrente geram bolhas de menores dimensões, devido à nucleação e expansão de uma nova fase na parte superior do eletrodo. É possível afirmar, portanto, que a variação de tensão é um parâmetro que influencia na eficiência do método.

- **Efeito da salinidade**

Segundo CERQUEIRA (2006), quanto maior for a concentração de íons no efluente, maior será sua capacidade de condução de corrente elétrica e a possibilidade de ocorrência de reações entre as substâncias presentes no efluente. Dessa forma, o efeito da salinidade mostra-se um fator positivo que possibilita a redução do consumo energético.

- **Efeito do tempo**

De acordo com CERQUEIRA, MARQUES e RUSSO (2011) quanto maior for o tempo de eletrólise, maior será a eficiência de remoção de cor, turbidez e óleos e graxas. Isso porque esses fatores estão diretamente ligados à quantidade de íons produzidos nos eletrodos que, por sua vez, são proporcionais ao tempo.

- **Efeito da acidez e alcalinidade**

A investigação dos parâmetros acidez e alcalinidade são relevantes na determinação do desempenho dos reatores.

Do ponto de vista sanitário, a alcalinidade e a acidez não são considerados parâmetros relevantes. No entanto, tais parâmetros influenciam grandemente no processo de coagulação, correção da dureza e prevenção da corrosão de equipamento, tendo grande importância tanto no âmbito econômico, quanto no âmbito comercial.

Segundo DI BERNARDO e DANTAS (2005), a alcalinidade é de extrema importância no tratamento químico da água e de efluentes, visto que, quando a água ou efluente a serem tratados não possuem a alcalinidade ideal, deve-se adicionar compostos básicos, a cal virgem (CaO), cal hidratada ($Ca(OH)_2$) e carbonato de sódio (Na_2CO_3).

3.8 REUSO DA ÁGUA

MINOWA et al. (2007) definem o reaproveitamento ou reuso da água como o processo pelo qual esta é reutilizada para o mesmo ou outros fins menos nobres.

O artigo 3º da Resolução N° 54/2005 pertencente ao CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos, trata da gestão do reuso da água, nela estão dispostas as

modalidades que o reuso direto não potável de água pode abranger:

> *I. Reuso para fins urbanos: utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;*
> *II. Reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;*
> *III. Reuso para fins ambientais: utilização de água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;*
> *IV. Reuso para fins industriais: utilização de água de reuso em processos, atividades e operações industriais; e,*
> *V. Reuso na aquicultura: utilização de água de reuso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.*

No entanto, não há direcionamento relacionado aos padrões de qualidade da água para cada tipo de reuso. O estado de São Paulo é um dos pioneiros na utilização de água residuais tratadas para diversas atividades. A capital, por exemplo, utiliza água de reuso para fins urbanos, através de contrato firmado com a SABESP, uma sociedade anônima de economia mista. O contrato celebrado entre a empresa e a Prefeitura Municipal de São Paulo estabelece padrões de qualidade da água de reuso para fins urbanos não potáveis, como observado na Tabela 1:

Tabela 1 - Padrões de qualidade da água de reuso para fins urbanos.

Monitoramento dos Caminhões Pipa – Prefeituras	
Sólidos Suspensos Totais	<35 mg/L, em 95% das amostras
Cloro Residual Total	Entre 2 e 10 mg/L
Turbidez	< 20 uT
pH	Entre 6,0 e 9,0
Teor de Óleos e Graxas	Visualmente ausente
Coliformes fecais (E. Coli)	< 200 NMP/100 mL
Tempo de contato (desinfecção)	30 minutos

FONTE: SABESP (apud SAMPAIO, 2014). Adaptado pelos autores.

3.9 TRABALHOS PUBLICADOS SOBRE ELETROFLOTAÇÃO

A eletroflotação vem sendo bastante explorada em pesquisas acadêmicas devido aos excelentes resultados obtidos para processos de separação água e óleo. O Quadro 1, a seguir, apresenta alguns estudos realizados aplicando a eletroflotação no tratamento de efluentes.

Quadro 1 - Trabalhos publicados sobre eletroflotação

REFERÊNCIA	TIPO DE EFLUENTE	PARÂMETROS AVALIADOS	RESULTADOS
AVALIAÇÃO DO PROCESSO ELETROLÍTICO EM CORRENTE ALTERNADA NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE PRODUÇÃO Cerqueira, Marques e Russo (2011)	Emulsão óleo/água	pH (9) Frequência (60 Hz) Concentração de coagulante Distância entre eletrodos (0,5 cm) Tempo (3 min) Corrente (3 A)	97% de remoção de óleos e graxas, 99% de remoção de cor e 99% de remoção de turbidez.
OIL FIELD EFFLUENT WATER TREATMENT FOR SAFE DISPOSAL BY ELECTROFLOTATION Bande et al. (2008)	Águas residuais de campos de petróleo	Tensão (5,0 V) Corrente (0,4 A) pH (4,7) Tempo (20 – 30 min) Salinidade (4.0 mg/L)	Remoção de mais de 90% do óleo a pH 4,72; Remoção de 94,44% a 4 mg/L de salinidade.
COUPLING FLOCCULATION WITH ELECTROFLOTATION FOR WASTE OIL/WATER EMULSION TREATMENT. OPTIMIZATION OF THE OPERATING CONDITIONS Mostefa e Tir (2004)	Emulsão óleo/água residual	pH Densidade de corrente Concentração de floculante	Remoção de 99% de óleo em emulsão de 4% (em peso).
TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE COCO UTILIZANDO ELETROFLOTAÇÃO Crespilho, Santana e Rezende (2004)	Águas residuais da indústria de côco	pH (5 - 7)	Remoção de 96,3% de óleos e graxas presentes no efluente bruto.

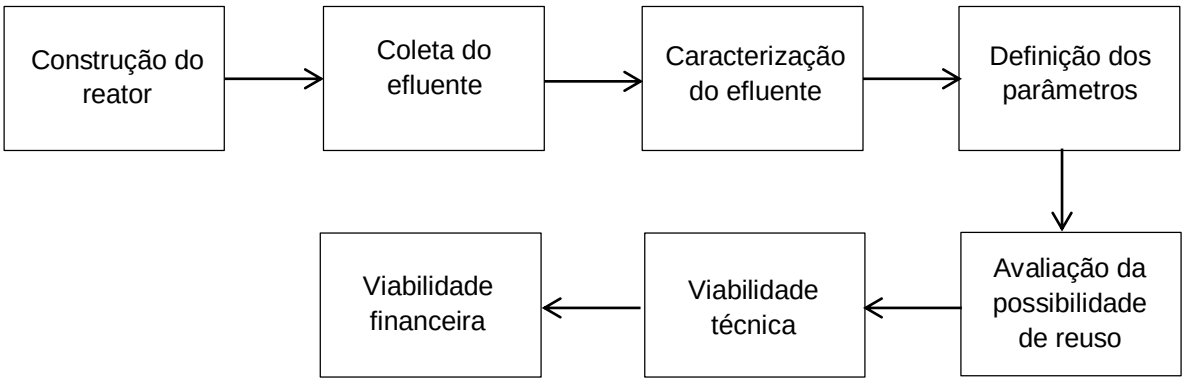
FONTE: Autoria Própria

Os parâmetros e resultados apresentados por esses autores permitem definir variáveis e faixas de trabalhos para iniciar os ensaios e, posteriormente, adequar à demanda do efluente tratado no presente trabalho.

4 METODOLOGIA

A fim de atingir os objetivos traçados, a metodologia foi dividida conforme disposto na Figura 2:

Figura 2 - Diagrama esquemático das etapas da metodologia.



FONTE: Autoria própria.

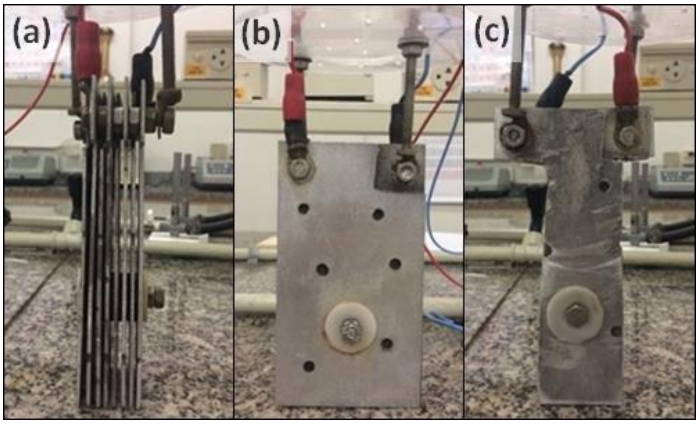
4.1 CONSTRUÇÃO DO REATOR

Os eletrodos foram confeccionados e dimensionados em função da capacidade do reator, constituindo-se de seis placas de alumínio de 15 cm de altura, 8 cm de largura e 0,2 cm de espessura (a), perfuradas uniformemente para facilitar a passagem e movimentação do fluido na superfície.

O eletrodo foi montado formando dois conjuntos de três placas, arranjados em paralelo e em formato de colmeia. As placas de alumínio foram separadas por discos de nylon com diâmetro de 1 polegada e 0,5 cm de espessura.

A fim de avaliar a viabilidade financeira, utilizou-se 2 eletrodos de diferentes larguras, sendo o Eletrodo A (b) de 8 cm e o Eletrodo B (c) de 4 cm de largura, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Placas constituintes dos Eletrodos A e B.



FONTE: Acervo do Autor.

O reator eletrolítico, indicado na Figura 4 é constituído de um cilindro de acrílico, com capacidade volumétrica de 5 L, adaptado com duas torneiras de plástico centralizadas e distanciadas 14 cm umas das outras. O reator possui uma tampa com dois respiradores e dois orifícios para a passagem da fiação elétrica. O eletrodo montado foi posicionado verticalmente no reator e o conjunto foi conectado à uma fonte de corrente alternada de 30 V Power Supply MPS 3006D.

Figura 4 - Reator eletroquímico de bancada.

FONTE: Acervo do Autor.

4.2 COLETA DO EFLUENTE

O efluente oleoso utilizado nas análises foi cedido por um posto de combustível situado no município de Aracruz/ES.

Em cada uma das 11 bateladas foram tratados 3,5 L do efluente. Coletaram-se, através de um coletor de alumínio, 45 L diretamente do segundo compartimento da Caixa SAO, armazenados em bombonas de 5 L. Paralelamente, foram coletados 5 L do efluente de saída da Caixa SAO para posterior comparação com o efluente tratado pela eletroflotação, como observado na Figura 5.

Figura 5 - Coleta do efluente da entrada da caixa SAO e na saída da caixa SAO respectivamente.

FONTE: Acervo do Autor.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O efluente coletado foi caracterizado quanto à turbidez, teor de óleos e graxas, pH, condutividade elétrica, teor de sólidos suspensos totais, acidez e alcalinidade nos laboratórios das Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ. As análises de cloro residual foram realizadas em parceria com o laboratório de controle de qualidade do Frigorífico Frisa e as análises de coliformes fecais no laboratório de controle de qualidade do Serviço Colatinense de Saneamento Ambiental - Sanear, ambos no município de Colatina/ES.

4.3.1 Determinação do Teor de Óleos e Graxas – Método Soxhlet

O processo foi realizado de acordo com o manual do equipamento extrator de óleos e graxas Marconi MA – 044/491 e consiste em três fases, a saber, fervura, lavagem por refluxo e recuperação do solvente.

A amostra foi filtrada por sistema à vácuo previamente. Conectou-se o funil de buchner

no kitassato de 1L e este à bomba de vácuo. O tecido de musseline foi colocado no kitassato e sobre este o papel de filtro, sendo posteriormente umedecidos com água destilada, usando uma pisseta;

No sistema a vácuo montado, passou-se pelo funil de buchner 100 mL de suspensão auxiliar de filtração (sílica diatomácea 10 g/L) e em seguida lavou-se o filtro com 1L de água destilada. O vácuo foi aplicado até o esgotamento da água no filtro;

A amostra do efluente foi acidificada na proporção 1 mL/80 mL, para promover a quebra da emulsão e facilitar a separação do óleo, em seguida a amostra foi filtrada aplicando o vácuo;

Com a pinça, o filtro, juntamente com o tecido, foi enrolado e transferido para o cartucho de celulose. O funil foi limpo usando pedaços de papel de filtro umedecidos com solvente hexano, tomando cuidado para remover todo o filme formado pelos óleos e graxas presentes, coletando todo o material sólido existente. Todos os pedaços de papel foram colocados no cartucho de celulose;

Os cartuchos foram tampados com algodão, colocados em beckeres de 100 mL e o conjunto foi seco em estufa a 105 ± 5º C por 30 minutos.

Os reboilers foram limpos, secos em estufa à 105 ± 5º C durante 1 hora e suas massas foram registradas.

a) Fervura

Foram adicionados 120 mL de hexano nos reboilers e os cartuchos foram inseridos no suporte metálico e conectados no condensador. O sistema foi fechado, abriu-se a válvula de passagem para permitir o refluxo e iniciou-se o aquecimento.

O aquecimento foi iniciado lentamente para que a temperatura de ignição do solvente não fosse ultrapassada. Após o início da fervura, o cartucho foi mergulhado no solvente por 30 minutos.

b) Lavagem por refluxo

Após o tempo de mergulho ter se esgotado, os cartuchos foram suspensos até a altura do bico gotejador, ficando em refluxo por aproximadamente 1,5 h a fim de extrair os óleos da amostra, além de um possível resíduo oleoso presente no suporte metálico.

c) Recuperação do solvente

Ao final do tempo de refluxo, a válvula de passagem foi fechada, impedindo o retorno do solvente condensado para o reboiler, deixando-o retido para recuperação de hexano.

Após cerca de 80% do solvente ter sido condensado, o aquecimento foi interrompido, os reboilers foram desacoplados do sistema e dispostos em estufa à 105 ± 5º C por 30 minutos para a evaporação completa do solvente residual, colocados em dessecador até temperatura ambiente e pesados novamente.

A determinação do teor de óleos e graxas presente na amostra foi calculada pela diferença entre a tara e o peso final dos reboilers, como demonstrado na Equação 7:

$$TOG\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(W_2 - W_1)\times 1000}{V_{amostra}\ (L)} \quad (7)$$

Onde: W_1 e W_2 são as massas dos reboilers antes e depois da extração, respectivamente.

4.3.2 Determinação de pH

O pH das amostras foi medido em um pHmetro de bancada JK-PHM-0,05 com compensação automática de temperatura, com faixa de leitura de 0,0 a 14,0, resolução de 0,001.

Foi utilizado um eletrodo de vidro de calomelano, calibrado com soluções tampões de pH 4 e 6,86.

4.3.3 Determinação da Condutividade Elétrica

A determinação de condutividade elétrica foi realizada de acordo com o manual do equipamento. Foi medida com o auxílio do condutivímetro de bancada Fluxo Tecnologia CD - 4303 com faixa de medição entre 0,1 a 199,9 mS, resolução de 0,1 mS.

4.3.4 Determinação de Sólidos Suspensos Totais

A determinação dos sólidos suspensos totais foi baseada na metodologia do Standard

Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005) e se deu através da filtração à vácuo de uma amostra de efluente de 200 mL em uma membrana de fibra de vidro que foi previamente calcinada em mufla à 550 ± 5º C por 30 minutos e teve sua massa registrada.

Após a filtração, a membrana foi colocada em estufa a 105 ± 5º C por 1 hora ou até peso constante. Ao final do tempo de secagem, a amostra foi colocada em dessecador até atingir temperatura ambiente e pesada novamente.

O resultado pode ser expresso pela Equação 8:

$$SST\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(W_2 - W_1)\times 1000}{V_{amostra}\ (L)} \tag{8}$$

Onde: W_1 e W_2 são as massas das membranas após a calcinação e estufa, respectivamente.

4.3.5 Acidez - Método titulométrico com indicador

Para determinação da acidez das amostras, foi utilizada a metodologia do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Foram utilizadas soluções de hidróxido de sódio 0,02 mol/L, de fenolftaleína e biftalato de potássio.

a) Padronização da solução de NaOH 0,02 mol/L

Na padronização da solução de NaOH 0,02 mol/L, a massa de biftalato de potássio foi calculada considerando um gasto de 20 mL desta solução. Posteriormente adicionou-se 90 mL de água destilada juntamente com o biftalato anteriormente calculado em um erlenmeyer de 250 mL e 3 a 4 gotas de fenolftaleína.

As amostras foram tituladas com a solução de NaOH até a coloração levemente rósea. O volume gasto foi anotado para, posteriormente, determinar o fator de correção volumétrico.

b) Determinação da acidez da amostra

Transferiu-se 10 mL de amostra homogeneizada com 90 mL de água destilada para um erlenmeyer de 250 mL. Adicionou-se 3 a 4 gotas de fenolftaleína e realizou-se a

titulação com a solução de hidróxido de sódio 0,02 mol/L.

A acidez foi obtida a partir do volume gasto de hidróxido de sódio, através da Equação 9:

$$CaCO_3\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{V_0 \times F_C \times 1{,}0 \times 1000}{V_{amostra}\ (mL)} \quad (9)$$

Em que: V_0 é o volume de titulante gasto em mL, F_C é o fator de correção volumétrico e $V_{amostra}$ é o volume (mL) da amostra.

4.3.6 Alcalinidade - Método titulométrico com indicador

Para determinação da Alcalinidade das amostras, foi utilizada a metodologia do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

As soluções de ácido sulfúrico 0,01 mol/L, de fenolftaleína, de alaranjado de metila, de indicador misto e de carbonato de sódio 0,025 mol/L foram preparadas previamente.

a) Preparação do indicador misto.

Dissolveu-se 0,02 g de sal sódico de vermelho de metila e 0,1 g de sal sódico de verde bromocresol em 100 mL de água destilada (NBR 13736/96).

b) Padronização da solução de H_2SO_4 0,01 mol/L

Transferiu-se 10 mL de solução de Na_2CO_3 com 90 mL de água destilada em um erlenmeyer de 250 mL e adicionar 3 a 4 gotas de indicador misto (NBR 13736/96).

A amostra foi titulada utilizando a solução de ácido sulfúrico 0,01 mol/L até a mudança de azul esverdeada para salmão (pH 4,6). O fator de correção volumétrico da solução de H_2SO_4 foi determinado com o volume gasto na titulação.

c) Determinação da alcalinidade da amostra

Transferiu-se 10 mL de amostra homogeneizada com 90 mL de água destilada para um erlenmeyer de 250 mL e adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína. A amostra foi titulada com a solução de ácido sulfúrico 0,01 mol/L até o desaparecimento da cor e o volume foi anotado.

Adicionou-se à mesma amostra 3 gotas de alaranjado de metila e titulou-se com a solução de H_2SO_4 até o aparecimento de uma coloração levemente avermelhada. O volume gasto foi anotado, incluindo aquele para a fenolftaleína.

Com o volume gasto de ácido sulfúrico para o indicador fenolftaleína, obteve-se a alcalinidade através da Equação 10:

$$CaCO_3\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{V_1 \times F_C \times 0{,}01 \times 100000}{V_{amostra}\ (mL)} \quad (10)$$

Onde: V_1 é o volume gasto (mL) da solução titulante, F_C é o fator de correção volumétrico da solução H_2SO_4 e $V_{amostra}$ o volume (mL) da amostra.

4.3.7 Turbidez

A determinação do índice de Turbidez foi realizada de acordo com o manual do equipamento. Inicialmente, o turbidímetro Tecnopon TB - 1000 foi calibrado de acordo com as instruções do fabricante;

A amostra foi agitada suavemente, aguardando o tempo necessário para que as bolhas de ar desaparecessem e foi colocada na célula de amostra do turbidímetro.

A leitura da turbidez foi realizada diretamente na escala do instrumento ou na curva de calibração apropriada.

4.3.8 Coliformes Totais e Coliformes Fecais

Para determinação de CT e CF, foi utilizado o método para análise de tubos múltiplos, utilizando cinco tubos para cada análise desejada. Em cada tubo, acrescentou-se 10 mL de meio de cultura previamente autoclavado e em seguida, adicionou-se 10 mL da amostra.

O meio de cultura utilizado foi o da Merck chamado Fluorocult LMX Broth modified com força dupla (double strenth, 34g/1L). Este meio possui substrato cromogênico e fluorogênico. As amostras permaneceram entre 24 a 48 horas em estufa a 35 °C.

Para análise de resultados, a mudança de cor de amarelo para verde-azul indica a presença de CT e a fluorescência a luz UV indica presença CF (SANEAR, 2017).

4.3.9 Cloro Residual

A análise de cloro residual foi realizada com o auxílio de um Colorímetro de bancada. Foi adicionado, numa cubeta limpa e vazia, 5 gotas de CL-S1, posteriormente, acrescentaram-se 2 gotas de CL-S2. A amostra foi adicionada nessa mesma cubeta até a marca, totalizando, com os reagentes 10 mL.

A cubeta foi agitada para a total homogeneização e inserida no porta-cubetas do aparelho Aquacolor Cloro para que fosse realizada a leitura. Para esse procedimento a análise da amostra possui faixa de 0 a 5 mg/L. (FRISA, 2017).

4.4 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS E EFICIÊNCIA DA ELETROFLOTAÇÃO

Os valores de corrente e tensão foram definidos com base nos valores máximos alcançados pela fonte. Para cada conjunto de eletrodos, foi variado o tempo em uma escala de 5 em 5 minutos.

Os resultados obtidos nas análises de cada amostra foram comparados ao efluente bruto a fim de avaliar a eficiência da eletroflotação. Além disso, a eficiência do eletroflotador foi comparada à eficiência da Caixa SAO através da análise entre os efluentes tratados nos dois processos.

4.5 AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE REUSO

Ao final dos testes, os resultados obtidos nas análises laboratoriais foram comparados aos parâmetros estipulados pela Tabela 1 (pág. 23), com o objetivo de avaliar se o efluente se encontra adequado para a utilização nas atividades do posto de combustível.

4.6 VIABILIDADE TÉCNICA

A análise da Eficiência de Remoção (%) é de suma importância para comparar os

dados obtidos em diferentes parâmetros e analisar qual método de separação é o mais eficiente. O cálculo é realizado através da Equação 11:

$$ER_{(\%)} = \frac{E_{CS-S}}{S}.100 \quad (11)$$

Onde, ER é a Eficiência de Remoção, E_{CS} é a Entrada da Caixa SAO e S é a Saída da Caixa SAO ou Saída do Reator Eletroquímico.

4.7 VIABILIDADE FINANCEIRA

A avaliação da viabilidade financeira para instalação e operação de uma unidade de eletroflotação em postos de combustíveis em comparação às Caixas SAO foi realizada a partir do levantamento de custos com materiais, consumo energético, custo de operação e custo relacionado à demanda de água para as diversas atividades realizadas no posto de combustível.

A fim de avaliar os custos relacionados ao consumo do eletrodo, foi necessário estimar o consumo dos eletrodos ao final de cada batelada, através da Equação 12.

$$M_{eletrodo} = \frac{i.t.\mathcal{M}}{F.n} \quad (12)$$

Em que: $M_{eletrodo}$ é a massa de eletrodo consumida (g), i é a corrente elétrica aplicada (A); t, o tempo de eletrólise (s); $\mathcal{M}$, a massa molar do alumínio (g/mol); n, o número de elétrons envolvidos na reação de oxidação do alumínio; e F, a constante de Faraday ($9{,}65 \times 10^4$ C/mol).

A Equação 13 foi utilizada para estimar o consumo energético para um reator em batelada, segundo com KOBYA, CAN e BAYRAMOGLU (2003).

$$C_{energia} = \frac{U.i.t'}{V} \quad (13)$$

Onde: $C_{energia}$ é o consumo de energia (Wh/m^3); U, a tensão elétrica aplicada no sistema (V); i, a corrente elétrica aplicada (A); t', o tempo de aplicação da corrente (h); e, V o

volume de efluente tratado (m^3).

Visto que a soma dos custos de energia e do material do eletrodo representa cerca de 80% dos custos de operação (KOBYA, CAN e BAYRAMOGLU, 2003), foram considerados apenas estes dois fatores na estimativa do custo de operação do reator em batelada, segundo a Equação 14.

$$C_{operação} = a.C_{energia} + b.C_{eletrodo} \quad (14)$$

Em que: $C_{operação}$ é o custo de operação (R$/$m^3$ efluente); a, o custo de energia (R$/kWh); $C_{energia}$, o consumo de energia (kWh/m^3 efluente); b, o custo mássico da placa (R$/kg eletrodo); e $C_{eletrodo}$, o consumo do eletrodo (kg/m^3 efluente).

Para estimar o consumo de água anual utilizada nas principais atividades no Posto de Gasolina no Município de Aracruz (abastecimento de banheiros, limpeza de pisos e lavagem de carros), foi realizado um levantamento, no próprio posto, contemplando as seguintes informações:

- Número médio de descargas no banheiro por dia;
- Volume estimado de água utilizada em cada descarga;
- Periodicidade da lavagem do piso;
- Volume médio de água utilizado a cada lavagem do piso;
- Estimativa da quantidade de carros lavados por dia;
- Volume de água utilizada para lavagem de cada carro, em média.

Por fim, foi utilizado o valor médio da geração de água tratada a cada batelada realizada, a fim de quantificar o volume de água a ser reutilizado e a economia anual (em R$) relacionada ao abastecimento de água para as atividades do posto de gasolina.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

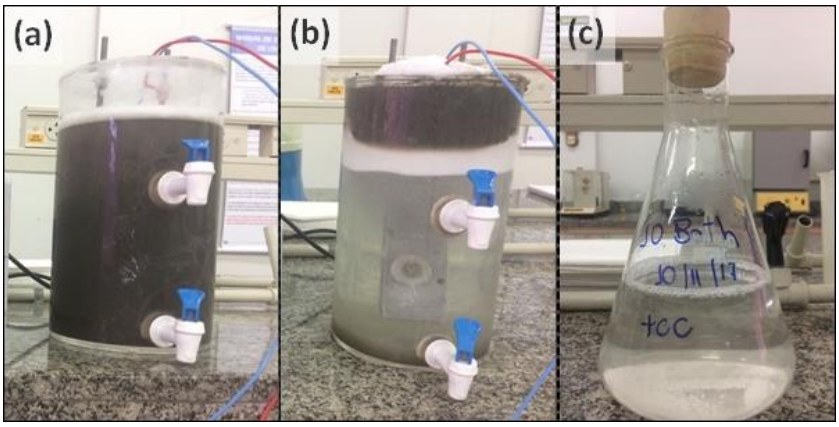
Após a construção do reator eletroquímico, os ensaios foram iniciados. Para cada batelada, foram utilizados 3,5 L de efluente, caracterizados quanto aos parâmetros de pH, turbidez, sólidos suspensos totais, teor de óleos e graxas, condutividade, alcalinidade, acidez, coliformes fecais e cloro residual. As mesmas análises foram realizadas para o efluente de saída do reator eletroquímico e da Caixa SAO.

5.1 EFEITO DOS PARÂMETROS EM FUNÇÃO DO TEMPO

Foram realizadas bateladas com o efluente proveniente da entrada da Caixa SAO, apropriando-se do valor máximo de tensão alcançado pela fonte, que oscilou entre 10 e 15 V. Para o Eletrodo A, foram avaliados os tempos de 20, 25, 30, 35, 40 e 45 minutos. Para o Eletrodo B, foram avaliados os tempos de 20, 25, 30, 35 e 40 minutos. O tempo de 45 minutos foi descartado levando em consideração sua ineficiência no ensaio anterior.

Na Figura 6, observamos o funcionamento do reator eletroquímico em diferentes tempos de reação: início da eletroflotação (a), no tempo de 25 minutos, ainda no eletroflotador (b) e o efluente tratado após 25 minutos (c).

Figura 6 - Fotos do reator eletroquímico em diferentes tempos de reação.



FONTE: Acervo do Autor.

Para cada parâmetro avaliado foram feitas análises em triplicata e, posteriormente, foi

utilizado o valor médio dos valores na discussão dos resultados.

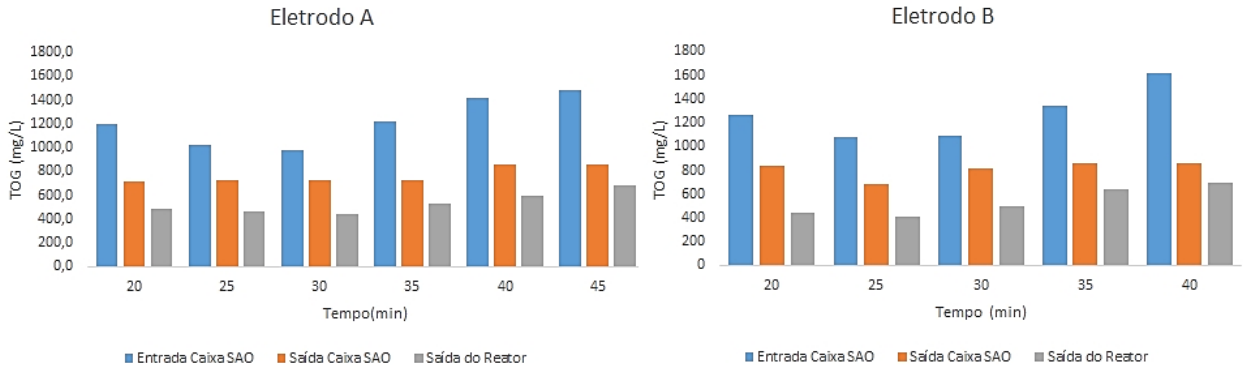
5.1.1 Teor de Óleos e Graxas

Em relação ao teor de óleos e graxas, a Tabela 1 (pág. 23) não define valores quantitativos para esse parâmetro. O efluente deve apenas estar visivelmente isento de resíduos oleosos. Dessa forma, todos os efluentes tratados no eletroflotador possuem essa característica, podendo ser classificados como adequados ao reuso.

Entretanto, alguns efluentes apresentaram um odor característico desse tipo de resíduo, podendo conter traços de material oleoso residual que pode ser demonstrado na análise de eficiência de remoção do mesmo, discutido no item 5.3.1 (pág. 48).

Todos os resultados encontrados para TOG podem ser observados nas Tabelas 1 e 2 do APÊNDICE A e o comportamento desse parâmetro para os efluentes bruto, pós tratamento na Caixa SAO e pós tratamento eletroquímico podem ser observados no Gráfico 2:

Gráfico 2 – Influência do tempo de eletroflotação no TOG.



FONTE: Dados do Autor.

Nota-se um comportamento semelhante para ambos os eletrodos, onde é possível observar que tempos superiores a 30 minutos apresentaram uma maior concentração de TOG em todos os efluentes.

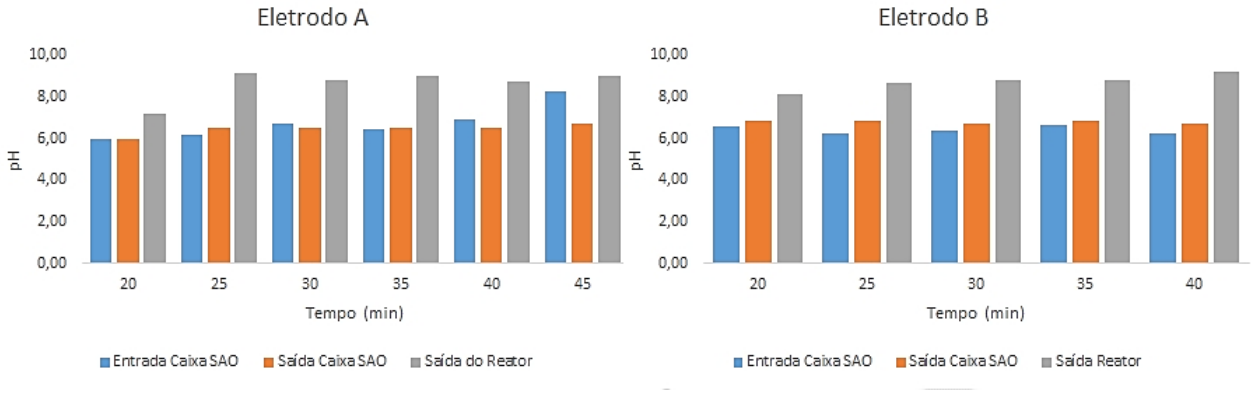
5.1.2 pH

Em relação ao efluente de entrada, nota-se pouca variação entre os valores do pH de

todas as coletas, sendo que o efluente possuía característica moderadamente ácida. No entanto, o efluente de entrada utilizado no teste de 45 minutos apresentou pH acima de 8, sendo caracterizado como alcalino. Isso pode ser explicado devido ao fato de que, no dia da coleta, segundo o gerente do posto, houve um maior fluxo de lavagem de veículos, fazendo com que houvesse uma maior concentração de sabão no efluente, dando caráter mais básico ao mesmo.

Todos os resultados aferidos no pHmetro podem ser observados no Gráfico 3:

Gráfico 3 – Influência do tempo de eletroflotação no pH.



FONTE: Dados do Autor.

O pH aferido para o efluente de saída da Caixa SAO não sofreu variações consideráveis, estando entre a faixa de 5,99 e 6,83.

O efluente tratado pelo reator eletroquímico obteve resultado satisfatório em relação ao parâmetro pH, exceto nos tempos de 25 minutos para o Eletrodo A e 40 minutos para o Eletrodo B, onde excedeu a faixa estabelecida para o padrão de reuso disposto na Tabela 1 (pág. 23). Isso pode ser explicado pela formação de hidróxido de alumínio durante o processo de eletroflotação, tornando o efluente mais alcalino.

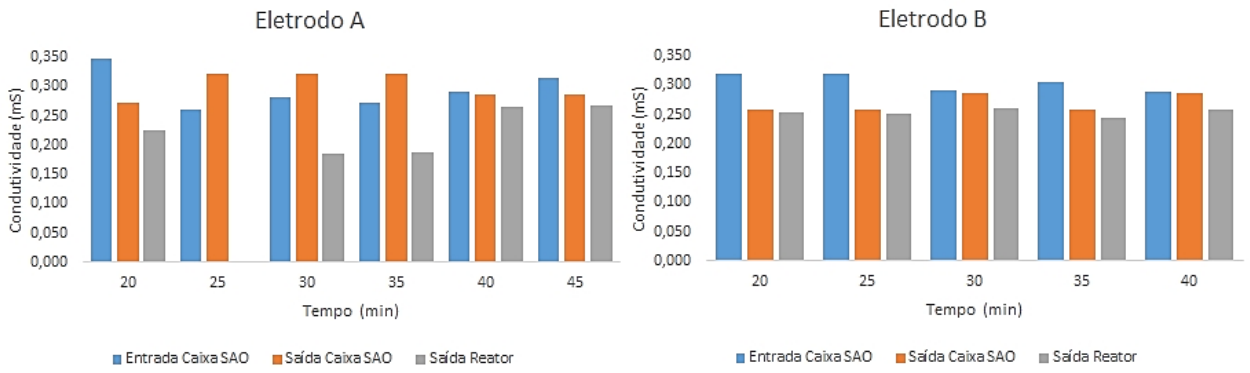
5.1.3 Condutividade

O parâmetro condutividade não está descrito na Tabela 1 (pág. 23), que dispõe sobre os padrões de reuso de efluente tratado para fins urbanos. No entanto, a condutividade caracteriza o efluente quanto à quantidade de sais dissolvidos e, está diretamente

ligada ao gasto energético do processo. Desta maneira, a sua medição é importante, para quantificar uma grande quantidade de compostos contidos na amostra, permitindo a passagem de eletricidade quando em meio aquoso. Materiais orgânicos como óleos e graxas não são condutores elétricos e, quando dissolvidos em água, reduzem a sua condutividade.

As Tabelas 1 e 2 do APÊNDICE A demonstram os valores de condutividade apurados no efluente bruto, efluente de saída da Caixa SAO e efluente tratado pelo processo de eletroflotação para o Eletrodo A e Eletrodo B, respectivamente. Todos os resultados aferidos no condutivímetro podem ser observados no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Influência do tempo de eletroflotação na Condutividade.



FONTE: Dados do Autor.

De acordo com o Gráfico 4, o efluente bruto apresentou maiores valores de condutividade em relação ao efluente tratado pelo reator eletroquímico. Isso significa que o efluente de entrada do sistema de tratamento possuía considerável quantidade de sais dissolvidos, sendo favorável ao processo devido à promoção de um menor gasto energético.

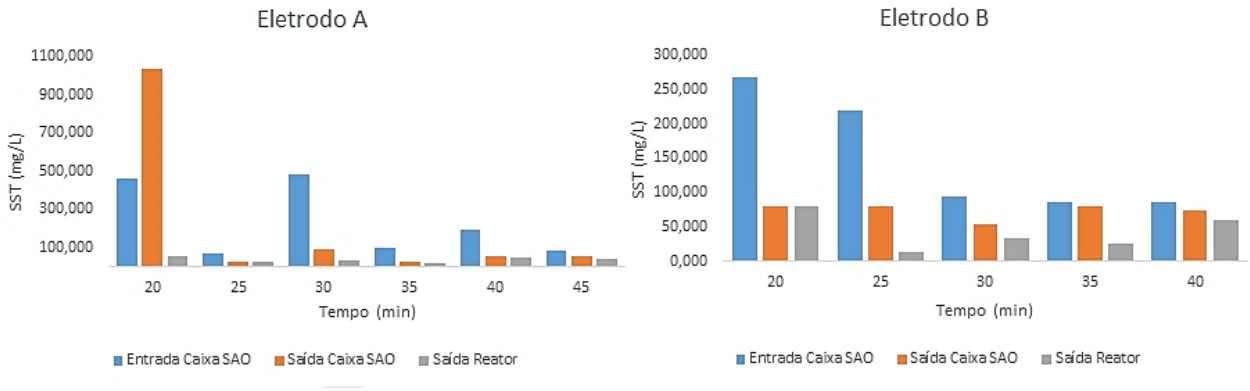
5.1.4 Sólidos Suspensos Totais

Nas Tabelas 1 e 2 do APÊNDICE A encontram-se os resultados das análises de sólidos em suspensão total nas amostras do efluente bruto, tratado pela Caixa SAO e pós tratamento no eletroflotador utilizando o Eletrodo A e Eletrodo B, respectivamente.

Os resultados das análises do efluente após o tratamento eletroquímico demonstram

um comportamento que se repete para os dois eletrodos utilizados, como pode ser observado no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Influência do tempo de eletroflotação na quantidade de SST.



FONTE: Dados do Autor.

Em relação ao efluente bruto, notam-se altos valores para esse parâmetro, visto que todo o efluente proveniente das atividades do posto é destinado à Caixa SAO e que este apresenta em sua composição areia e outros resíduos particulados provenientes da lavagem de pisos e veículos, por exemplo.

Para o efluente tratado pela Caixa SAO, observa-se uma queda significativa nos valores, visto que o mesmo passa por diversos compartimentos, separados por paredes, fazendo com que ocorra uma redução na velocidade ao longo do tratamento, podendo haver uma sedimentação de partículas devido ao tempo de retenção do efluente na caixa separadora.

Uma particularidade foi que o efluente bruto utilizado no primeiro ensaio do Eletrodo A apresentou valor de sólidos suspensos menor do que seu respectivo efluente de saída da Caixa SAO. Isso pode ser explicado devido ao fato de que as caixas separadoras são processos contínuos, sendo possível que o efluente de saída não seja o mesmo da entrada ou que tenha havido elevação de partículas no momento da coleta. Além disso, o compartimento de saída da Caixa SAO se encontra em um local descoberto, diferente dos demais compartimentos onde foram coletados o efluente de entrada, o que pode ter resultado em um aumento de partículas devido à possível ocorrência de chuvas que

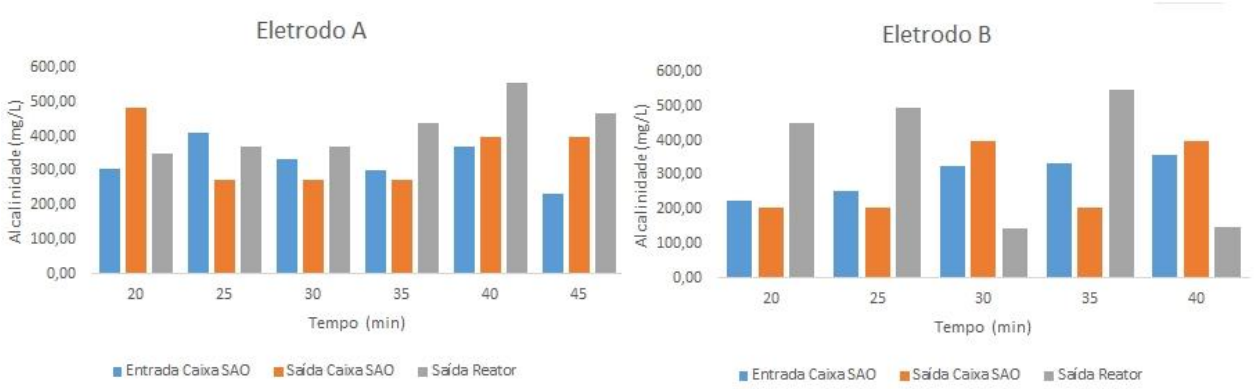
pode ter ocasionado arraste de materiais particulados.

Assim, para tempos de exposição entre 25 e 35 minutos, todos os efluentes após o tratamento encontram-se enquadrados para reuso em ambos os eletrodos.

5.1.5 Acidez e Alcalinidade

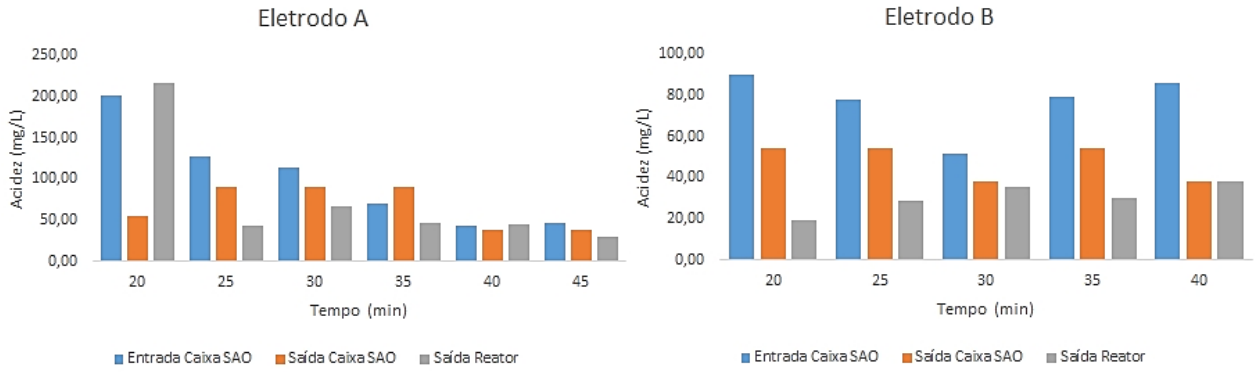
Os dados obtidos nas Tabelas 1 e 2 do APÊNDICE A e demonstrados nos Gráficos 6 e 7 foram calculados através das Equações 9 e 10 e demonstram o comportamento dos parâmetros acidez e alcalinidade após cada tempo de eletroflotação, bem como do efluente bruto e do efluente tratado pela Caixa SAO.

Gráfico 6 – Influência do tempo de eletroflotação na Alcalinidade.



FONTE: Dados do Autor.

Gráfico 7 – Influência do tempo de eletroflotação na Acidez.



FONTE: Dados do Autor.

Apesar de não haver limites para os parâmetros de acidez e alcalinidade estabelecidos para efluente tratado a ser descartado em corpos hídricos (Resolução CONAMA 430/2011) e tais parâmetros também não são considerados padrões de reuso para fins urbanos de acordo com a Tabela 1 (pág. 23). As análises de acidez e alcalinidade foram realizadas a fim de se obter as características do efluente. Em relação à alcalinidade, pode-se afirmar que esta obteve valores consideravelmente baixos no efluente bruto, o que é interessante para o processo, uma vez que altos valores de alcalinidade representam concentrações de substâncias incrustantes. O efluente tratado pelo reator eletroquímico demonstrou maior alcalinidade em relação ao de entrada devido a concentração de hidróxido de alumínio formado durante o processo de tratamento. Em relação à acidez, é evidente que o efluente bruto obteve maiores valores quando comparado ao efluente de saída do reator eletroquímico. Tal fato foi favorável ao processo, visto que o pH ácido favorece a reação de formação do hidróxido de alumínio, que é a substância responsável pela aglutinação das partículas de poluentes contidas no efluente.

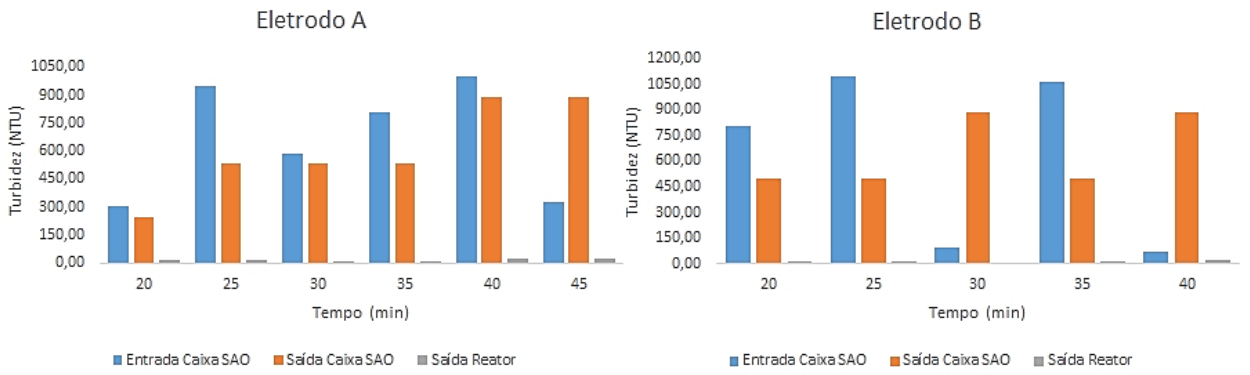
5.1.6 Turbidez

Com os dados das Tabelas 1 e 2 do APÊNDICE A é possível verificar que os efluentes de entrada apresentaram altos valores de turbidez.

Com relação ao efluente de saída do reator eletroquímico para o processo realizado com o Eletrodo A, pode-se afirmar que para tempos inferiores à 40 minutos, o mesmo obteve valores inferiores a 20 NTU, mostrando-se adequado para o reuso. Os tempos de 40 e 45 minutos, obtiveram valores de turbidez de 24,03 e 27,8 NTU, respectivamente, ultrapassando o limite indicado na Tabela 1 (pág. 23). Esse comportamento pode ser justificado pelo excesso de hidróxido de alumínio formado durante a reação.

No processo utilizando o Eletrodo B, o mesmo comportamento pode ser observado, indicando que a área do eletrodo teve pouca influência na turbidez do efluente tratado. Esse comportamento pode ser observado no Gráfico 8:

Gráfico 8 – Comportamento da Turbidez nos Eletrodos A e B.



FONTE: Dados do Autor.

É possível notar que os valores do efluente de saída da Caixa SAO referentes aos tempos de 45 minutos do Eletrodo A e 30 e 40 minutos de Eletrodo B demonstraram valores de turbidez superiores aos seus respectivos efluentes de entrada. Visto que a turbidez pode estar diretamente ligada à quantidade de sólidos em suspensão, esse fato pode ser justificado de forma semelhante ao ocorrido no item 5.1.4 (pág. 41).

Apesar do efluente do processo com tempo de exposição de 30 minutos ter apresentado o menor valor de turbidez entre todas as bateladas realizadas tanto para o Eletrodo A, quanto para o Eletrodo B (dados que podem ser melhor observados nas Tabelas 1 e 2 do APÊNDICE A), o ensaio que mostra-se mais eficiente para esse intervalo de tempo pode ser apontado como sendo o ensaio com tempo de 25 minutos utilizando o Eletrodo B, visto que este conseguiu remover uma maior quantidade de turbidez, quando comparados aos valores do efluente de entrada.

5.1.7 Coliformes Totais, Coliformes Fecais e Cloro Residual

Considerando que os resultados das análises obtidas foram melhores nos intervalos de tempo de 25 a 35 minutos os parâmetros de CF, CT e CR, foram realizados com base nestes ensaios, a fim de atingir o objetivo proposto de enquadrar a água tratada para reuso.

Na Tabela 2 encontram-se os valores de CT, CF e CR. Parâmetros importantes para caracterização da água e que estão intimamente ligados.

Tabela 2 - Dados de CT, CF e CR para os Eletrodos A e B.

Tempo de eletroflotação	CT		CF		CR	
	E_A	E_B	E_A	E_B	E_A	E_B
25 min	< 2,2	<2,2	0	0	0,53	0,27
30 min	< 2,2	<2,2	0	0	0,34	0,32
35 min	2,2	<2,2	< 2,2	0	0,17	0,19

FONTE: Dados do Autor.

Quanto maior o índice de CR, menores as chances de haver presença de bactérias e coliformes, pois o cloro possui ação desinfectante. Porém, se esse nível for muito alto pode apresentar problemas à saúde humana.

Segundo a Tabela 2, o efluente tratado obteve concentração de CR abaixo do padrão estabelecido pela Tabela 1 (pág. 23). Ainda assim, é preferível valores inferiores, uma vez que a concentração de cloro pode ser corrigida através de uma cloração.

Apesar da baixa concentração de cloro residual, é possível afirmar que o efluente tratado não apresentou contaminação por CT ou CF em nenhuma das amostras, adequando-se aos padrões de reuso para fins urbanos em relação a tais parâmetros. Foi identificada a presença de CT apenas em uma amostra (Eletrodo A para o tempo de 35 minutos). Isso pode ser explicado pela menor concentração de cloro na amostra citada, em relação às demais amostras.

5.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS DO PROCESSO

Durante o processo de eletroflotação foi possível fazer algumas considerações relevantes:

1) Houve formação e desprendimento de bolhas de gás nas placas de alumínio que formam o eletrodo, possivelmente devido à formação de hidrogênio e oxigênio, dadas as reações de eletrólise da água em determinados valores de potencial. As bolhas possuem a capacidade de arrastar as partículas de poluentes para o topo da solução, onde ele pode ser concentrado e posteriormente removido;
2) Houve formação de uma camada de espuma sobrenadante, proveniente do arraste acima citado, que demonstrou comportamento consideravelmente estável, mantendo suas características ao longo do dia em que ficou no interior do reator;

3) Houve depósito de material particulado no fundo do reator, devido à decantação de partículas de areia e sujeira provenientes das lavagens de veículos e do próprio piso do estabelecimento. Uma vez que todo o efluente é destinado às caixas separadoras e que durante a coleta o mesmo foi agitado para garantir que não fossem coletadas apenas camadas mais superficiais, que poderiam ser compostas, em sua maioria, por resíduo oleoso, as amostras apresentaram uma quantidade de sólidos relativamente alta, que foi quantificada em analises posteriores;
4) A formação de duas camadas de resíduo (topo e fundo) ocasionou certa dificuldade na retirada da água tratada devido à posição em que as torneiras foram instaladas;
5) O efluente tratado pelo reator eletroquímico resultou em uma água límpida e incolor. Entretanto, algumas amostras possuíam um odor residual de óleo, que pode ser quantificado em posteriores análises para determinação do teor de óleos e graxas;
6) O efluente tratado apresentou a formação de precipitado de coloração branca, proveniente da formação de hidróxido de alumínio, insolúvel, pela reação de oxidação ocorrida no eletrodo.

5.3 VIABILIDADE TÉCNICA

A Tabela 3 dispõe dos valores referentes aos principais parâmetros analisados para os efluentes após o tratamento com os Eletrodos A e B para o melhor intervalo de tempo definido.

Tabela 3 - Dados dos parâmetros analisados nos efluentes, após tratamento eletroquímico com os Eletrodos A e B, para os três melhores tempos.

	25 min		30 min		35 min	
Parâmetros	E_A	E_B	E_A	E_B	E_A	E_B
TOG	468,00	412,00	446,00	500,00	534,00	642,00
pH	9,15	8,68	8,79	8,78	8,98	8,75
CE	0,000	0,25	0,186	0,26	0,186	0,24
SST	26,67	13,33	33,33	33,33	20,00	26,67
AC	42,72	28,59	67,09	35,47	46,38	30,01
AL	371,30	494,7	371,98	142,5	436,96	547,9
TB	13,67	4,3	9,21	10,1	11,17	14,5

FONTE: Dados do Autor.

Esse intervalo foi definido em função dos parâmetros que melhor se enquadram nos padrões dispostos no acordo da SABESP (Tabela 1, pág. 23) com a finalidade de comparar os resultados e a eficiência dos processos de eletroflotação e Caixa SAO.

5.3.1 Eficiência de Remoção

Para obter melhores análises, foi calculada a ER (%) através da Equação 11 para os parâmetros, dos E_A e E_B, comparando as eficiências dos mesmos frente a eficiência da Caixa SAO, dispostos nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Eficiência de remoção para E_A.

Tempo de eletroflotação	SST		TB		TOG	
	S_{CS}	S_{RE}	S_{CS}	S_{RE}	S_{CS}	S_{RE}
20 min	-	88,41	18,94	94,08	40	60
25 min	63,64	63,64	43,82	98,56	29,01	54,12
30 min	80,82	93,15	8,67	98,42	26,12	54,49
35 min	73,33	80,00	34,22	98,62	40,66	56,23
40 min	72,41	75,86	11,22	97,59	39,44	57,75
45 min	38,46	53,85	-	91,48	41,90	54,05

FONTE: Dados do Autor.

Tabela 5 - Eficiência de remoção do E_B.

Tempo de eletroflotação	SST		TB		TOG	
	S_{CS}	S_{RE}	S_{CS}	S_{RE}	S_{CS}	S_{RE}
20 min	70,00	70,00	38,16	98,52	33,55	65,19
25 min	63,64	93,94	54,47	98,97	37,04	61,85
30 min	42,86	64,29	-	89,42	25,06	54,30
35 min	7,69	69,23	53,02	98,64	35,82	52,09
40 min	38,46	30,77	-	72,12	46,91	56,79

FONTE: Dados do Autor.

A partir da análise das eficiências, pode-se afirmar que, em ambos os eletrodos, a eficiência de remoção de sólidos em suspensão, turbidez e TOG foram satisfatórios, com ênfase para a turbidez, que apresentou valores superiores a 90% em todos os ensaios com tempo de reação de até 35 minutos.

A remoção de óleos e graxas se assemelha em relação aos valores, mostrando pouca interferência do tamanho do eletrodo. A eficiência de remoção demonstrou ser relativamente baixa para TOG (em torno de 50%), podendo ser justificada uma vez que o efluente já apresentava baixas quantidades de resíduo oleoso, sendo assim, o método pode não ter sido eficiente em sua remoção. Ainda assim, não se considera um grande problema, visto que o efluente tenha atingido o valor requerido para que o efluente seja enquadrado para reuso.

Nota-se que ambos os eletrodos tiveram uma eficiência de remoção menor para todos os parâmetros no tempo de 45 minutos, porém o tratamento no eletroflotador se mostrou mais eficiente em todos os parâmetros quando comparados à Caixa SAO.

Alguns resultados de eficiência referentes à Caixa SAO não puderam ser calculados devido ao fato de que os parâmetros do efluente de saída apresentaram-se mais altos que os de entrada, já discutidos no item 5.1 (pág. 38).

De posse dos resultados dos ensaios realizados nos dois eletrodos para o melhor intervalo de tempo, pode-se definir o tempo de 25 minutos de eletroflotação utilizando o E_B como sendo o mais eficiente para o processo, visto que o mesmo apresentou um efluente tratado que se encontra dentro de todos os parâmetros definidos para o reuso de águas residuais. Assim, a fim de adequar em uma viabilidade financeira o mesmo se mostra eficiente e mais viável em custo e benefício.

5.4 VIABILIDADE FINANCEIRA

A avaliação da viabilidade financeira foi realizada a partir do levantamento de projeção de custos com materiais, consumo energético, custo de operação e custo relacionado à demanda de água para as diversas atividades realizadas no posto de combustível.

É importante frisar que tanto o processo de eletroflotação quanto o sistema separador de água e óleo (caixa SAO) geram resíduos sólidos oleosos, que devem ser corretamente destinados. Os resíduos atualmente gerados no posto de gasolina do município de Aracruz são coletados por uma empresa especializada em coleta de resíduos contaminados com óleo. Cabe ressaltar que, a geração de borra oleosa não

foi considerada nos cálculos de custo de operação em virtude do sistema de contrato firmado entre o posto de gasolina e a empresa coletora de resíduos. Segundo as informações do posto, uma mensalidade é paga para que as coletas ocorram bimestralmente, sendo concedido um crédito anual, em kg de resíduos, e o excedente cobrado à parte. Uma vez que o posto gera outros tipos de resíduos contaminados com óleo e os mesmos são armazenados e coletados juntamente com a borra retirada da caixa separadora, não é possível estimar os custos que envolvem a coleta apenas do resíduo sólido gerado pela caixa SAO, impossibilitando a comparação com a geração de resíduo sólido do processo de eletroflotação.

5.4.1 Consumo dos Eletrodos

Através da Equação 12, foi possível estimar a massa de eletrodo consumida a cada batelada. Sabendo que a massa molar do alumínio é 27 g/mol e que três elétrons estão envolvidos na reação, pode-se chegar aos seguintes resultados:

Tabela 6 - Consumo dos eletrodos de alumínio (g).

Tempo de eletroflotação	Massa do Eletrodo A (g)	Massa do Eletrodo B (g)
25 min	0,85599	0,86281
30 min	1,02719	1,20907
35 min	1,20267	1,22912

FONTE: Dados do Autor.

Através dos resultados da Tabela 6, verifica-se que quanto maior o tempo de eletrólise, maior será o desgaste do eletrodo.

5.4.2 Consumo Energético

Os dados de consumo energético para cada batelada, expressos na Tabela 7, foram obtidos utilizando a Equação 13.

Tabela 7 - Consumo energético (kW/m³) da eletroflotação com os eletrodos A e B.

Tempo de eletroflotação	CEE - A (KWh/m³)	CEE - B (KWh/m³)
25 min	8370,8730	9480,1984
30 min	10290,4008	18754,8571
35 min	11000,6944	14639,8912

FONTE: Dados do Autor.

Com os resultados avaliados, pode-se afirmar que o consumo energético do eletrodo A em 25 minutos, foi menor quando comparado aos demais, sendo energeticamente mais viável que o eletrodo B.

O consumo energético do Eletrodo B no tempo de 30 minutos foi maior do que para o tempo de 35 minutos. Isso pode ser explicado pelo fato da média da tensão aplicada ao sistema ter sido maior no primeiro caso, ocasionando um maior consumo.

Novamente, o tempo de 25 minutos se mostra mais eficiente para ambos os eletrodos.

5.4.3 Consumo de Água

De acordo com informações fornecidas pelo responsável de um posto no município de Aracruz, foi possível estimar a quantidade de água consumida em cada atividade realizada no estabelecimento.

No banheiro, por exemplo, são dadas em média 20 descargas/ dia, sendo que cada descarga consome em média 5 L de água. Portanto:

$$Consumo\ em\ banheiros = \frac{20\ descargas}{dias}\ x\ \frac{5\ litros}{descarga}\ x\ \frac{365\ dias}{ano}\ x\ \frac{1\ m^3}{1000\ litros}$$

$$Consumo\ em\ banheiros = 36{,}5\ m^3/ano$$

O piso é lavado duas vezes por semana, sendo que cada lavagem consome em média 400L de água. Então:

$$Consumo\ em\ limpeza\ = \frac{2\ dias}{1\ semana}\ x\ \frac{400\ litros}{dia}\ x\ \frac{48\ semanas}{1\ ano}\ x\ \frac{1\ m^3}{1000\ litros}$$

$$Consumo\ em\ limpeza = 38{,}4\ m^3/ano$$

São lavados em média 5 carros por dia no lavador do Posto de Gasolina. São oferecidos dois tipos de serviços de lavagem de veículos. Para a lavagem simples são consumidos em média 400 L de água. Já a lavagem completa, consome em média 600 L de água/ lavagem. Não há estimativa de quantas lavagens completas e simples são realizadas num dia, portanto, tomaremos como base o consumo médio de água entre a lavagem simples e a lavagem completa. Logo:

$$Consumo\ no\ lavador = \frac{5\ carros}{dia}\ x\ \frac{500\ litros}{carro}\ x\ \frac{365\ dias}{ano}\ x\ \frac{1\ m^3}{1000\ litros}$$

$$Consumo\ no\ lavador\ = 912{,}5\ m^3/ano$$

Considerando a tarifa média de água no estado do Espirito Santo como R$ 7,94/m³, segundo dados da CESAN (2017), a Tabela 8 a seguir estima o consumo médio/ano de um posto de médio porte, que ofereça serviço de lava-jato.

Tabela 8 - Consumo de água/ano no posto de combustível.

Finalidade da água	Volume Consumido (m³)	Custo (R$)
Limpeza de pisos	38,4	304,89
Banheiros	36,5	289,81
Lavagem de veículos	912,5	7245,25
Total	**987,4**	**7839,96**

FONTE: CESAN (2017)

Levando em consideração que o posto em questão é de médio porte e o mesmo terá como sistema de tratamento de efluente uma unidade eletroflotadora, é possível estimar a geração de água tratada, que poderia ser enquadrada para reuso. Para tanto, foram utilizados os valores da capacidade e da média dos volumes de água tratada a cada batelada, no reator de bancada.

Assim, tomando por base a informação de que toda água consumida na limpeza de pisos e na lavagem de veículos é destinada à Caixa SAO, foi possível estimar o volume médio de água que seria enquadrada para reuso, utilizando um reator com capacidade para tratar todo o efluente que seria gerado no posto (aproximadamente 1000 m³), relacionando as informações do reator de bancada com as informações do reator real, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Capacidade e geração de água para reuso de um Reator de Bancada x Reator Real.

Escala do reator	Capacidade do eletroflotador (m^3)	Geração média de água tratada (m^3)
Bancada	0,0035	0,0028
Real	1000	800

FONTE: Dados do Autor.

Portanto, o volume anual de água gerada pela eletroflotação apropriada para o reuso será de aproximadamente 800 m^3. A economia anual relacionada à água utilizada nas atividades do posto de gasolina será de aproximadamente R$ 6352,00.

5.4.4 Custo de Operação

Para o cálculo do custo de operação de cada experimento, foi utilizada a Equação 14. O preço do material do eletrodo foi obtido através da realização de cotação com algumas empresas do Estado do Espírito Santo e o valor médio encontrado foi de R$ 192,00 para uma placa de alumínio de 2 m^2 de área e 2 mm de espessura. Apropriando-se dessa informação e da densidade do material (2697 kg/m^3 para o alumínio), pode-se obter o preço mássico da placa (R$ 17,80/kg Al). A avaliação do custo foi estimada pela tarifa estabelecida pela EDP (2016), considerando abastecimento de ponta e bandeira tarifária VERDE, sendo o valor do KW/h de aproximadamente R$0,33 para o subgrupo “demais classes”. A Tabela 10 apresenta os custos de operação estimados para cada experimento.

Tabela 10 - Custo de operação (R$/$m^3$ de efluente) da eletroflotação com os Eletrodos A e B.

Tempo de eletroflotação	CO - A (R$/$m^3$ de efluente)	CO - B (R$/$m^3$ de efluente)
25 min	2,86	3,24
30 min	3,52	6,40
35 min	3,76	5,00

FONTE: Dados do Autor.

O custo operacional médio para os experimentos foi de R$ 4,00 /m^3.

Visto que para a unidade eletroflotadora operar, foi estimado um custo médio de energia elétrica igual a R$ 4,00/m³, é possível determinar o custo anual (C_{anual}) para que a unidade opere, considerando que o volume de água necessário para as atividades do posto é de 987 m³/ano.

$$C_{anual} = \frac{R\$\ 4{,}00}{m^3}\ x\ \frac{987\ m^3}{1\ ano}$$

$$C_{anual} = R\$\ 3.948{,}00/ano$$

Através dos custos calculados, é possível afirmar que a instalação de uma unidade eletroflotadora em um posto de gasolina é financeiramente viável, uma vez que a economia alcançada com o reuso da água é capaz de suprir o custo energético.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo demonstra que o tratamento de efluentes oriundos de postos de combustíveis pelo método de eletroflotação mostra-se eficiente. A construção do reator foi satisfatória, sendo as dimensões adequadas ao tratamento do volume de efluente requerido para as análises posteriores. A escolha do material do eletrodo foi eficaz tanto do ponto de vista técnico quanto do ponto de vista financeiro. A caracterização dos efluentes foi suficiente para avaliar a viabilidade técnica e comparar com os padrões de reuso.

A implantação de uma unidade eletroflotadora no posto de combustível seria vantajosa do ponto de vista técnico, levando-se em consideração o ensaio com o eletrodo B, no tempo de 25 minutos, uma vez que o efluente tratado sob essas condições apresentou valores dentro dos limites estabelecidos pelos padrões de reuso. Portanto, a técnica foi dita eficiente no tratamento de efluente contaminado com óleo e derivados de petróleo.

Do ponto de vista financeiro, a utilização da eletroflotação no tratamento do efluente não foi considerada viável. De fato, o reuso do efluente tratado propiciou economia na demanda anual de água para as atividades do posto de gasolina. Todavia, os custos relacionados ao consumo energético se mostraram elevados. Entretanto, considerando a atual conjuntura do mundo, que vem passando por crise hídrica e necessidade da utilização e desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, pode-se avaliar a possibilidade da utilização de fontes alternativas de energias. Tal prática exige alto investimento, porém permite que o processo opere de forma mais econômica.

Além disso, visto que a Caixa SAO entrega o efluente fora das condições necessárias para que seja destinado aos corpos hídricos, muitas vezes o efluente tratado por esse sistema é incorporado à rede de esgoto, acarretando o aumentando da carga orgânica e do teor de resíduos oleosos, podendo prejudicar o tratamento posterior. Por fim, apesar de haver punições ao estabelecimento responsável, os prejuízos ambientais com o despejo inadequado do efluente gerado não podem ser mensurados e os danos podem ser irreparáveis.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR – Normas Brasileiras. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/normalizacao/abnt-catalogo>. Acesso em: 17 de Maio de 2017.

ANP - Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Distribuição e revenda. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/2441-anuario-estatistico-2016>. Acesso em: 16 de Maio de 2017.

APHA. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 21th ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

AUFLEM, I. H. Influence of Asphaltene Aggregation and Pressure on Crude Oil Emulsion Stability. Department of Chemical Engineering, Norwegian University of Science and Technology - Trondheim, 2002.

BANDE, R.M., PRASAD, B.B., MISHRA, I.M., WASEWAR, K.L. Oil field effluent water treatment for safe disposal by electroflotation. Chemical Engineering Journal, v.34, n.28, p, 503-509. 2007.

BARROS, P. E. O. Diagnóstico Ambiental Para Postos De Abastecimento De Combustíveis - DAPAC. 2006. 187 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade do Vale do Itajaí, Santa Catarina - Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – CTTMAR, 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 357 de 17 de março de 2015*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> Acesso em: 08 de março de 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente *Resolução n° 273 de 29 de novembro de 2000.* [s.l.]: CONAMA, 2000. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27300.html>. Acesso em: 23 de março de 2017.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 55, de 28 de novembro de 2005. Disponível em: < http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14>. Acessado em: 16 de Maio de 2017.

BRITO, J. F.; FERREIRA, L. O.; SILVA, J. P. Tratamento da água de purificação do biodiesel utilizando eletroflotação. Química nova, São Paulo, v.35, n.4, Janeiro, 2012. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol35No4_728_13-AR11408.pdf>. Acesso em: 14 de Maio de 2017.

BUCHAN, R. e YARAR, B. Recovering Plastics for Recycling by Mineral Processing Techniques. JOM, v. 47, n. 2, p. 52-55, 1995.

CASQUEIRA, R. G.; TOREM, M. L.; SOUZA, V. M. M.; CUNHA, F. O. e PACHECO, A. C. C. Influência das Cargas Minerais na Remoção de Tinta por Flotação. In: 57º Congresso Anual da ABM, 2002, São Paulo. Anais do 57º Congresso Anual da ABM. São Paulo: Tec Art Editora, v. único. p.2326 – 2335, 2002.

CERQUEIRA, A., Aplicação técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis. 2006. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2006.

CERQUEIRA, A. A.; MARQUES, M. R. C.; RUSSO, C.. Avaliação do processo eletrolítico em corrente alternada no tratamento de água de produção. Quimica Nova, v. 34, n. 1, Novembro, 2010. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol34No1_59_11-AR10022.pdf>. Acesso em: 07 de Março de 2017.

CESAN - Companhia Espírito Santense de Saneamento. Preço dos serviços em vigor a partir de 03 de Agosto de 2012 - Atual. Disponível em: <https://www.cesan.com.br/servicos/atendimento-e-informacoes/tarifas-e-precos/>. Acesso em: 14 de Outubro de 2017.

CHEN, X.; CHEN,G; YUE P.L. Novel Electrode System for Electroflotation of Wastewater, Environmental Science & Technology, Hong Kong, China. 17 Jan. 2002. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es011003u>. Acesso em: 15 de Março de 2017.

CHEN, G. Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment. Separation and Purification Technology , v.28, p.1-31, 2003.

COSTA, P. R. F. Tratamento eletroquímico de efluente proveniente da caixa separadora de água e óleo de postos revendedores de combustíveis. Dissertação (Tese de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.

CRESPILHO, F. N., REZENDE, M.O.O. Eletroflotação: Princípios e Aplicações. ed. 1. São Carlos: Ed4 FREY, M. R.; WITTMANN, M. L. Gestão ambiental e desenvolvimento regional: uma análise da indústria fumageira. EURE (Santiago), Santiago, v. 32, n. 96, ago. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612006000200006&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 23 de março de 2017.

CRESPILHO, F. N.; SANTANA, C. G.; REZENDE, M. O. O. Tratamento de efluente de indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação. Química Nova, v. 27, n. 3, p. 387-392, 2004.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; Métodos e técnicas de tratamento de água. V. 1. São Carlos: RIMA, 2005.

EDP Brasil. Resolução Homologatória 2.158 de 21/10/2016. Disponível em: <http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-bandeirante/informacoes/comerciais/tarifas-de-fornecimeto/Documents/TABELA%20DE%20TARIFAS%20BT%20PRE%C3%87OS%20ABERTOS%2023%2010%202016.pdf> Acesso em:

ENGENHO NOVO. Artigos Técnicos. Tratamento de águas oleosas nas indústrias. Disponível em: <http://www.engenovo.com.br/pt/artigostecnicos/taoind.pdf> Acesso em: 07 de março de 2017.

FORDEDAL, H., NODLAND, E., SJOBLOM, J. FRISA – Frisa Frigorífico Rio Doce S/A. Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais. 2017.
Journal of Colloid and Interface Science. Vol. 173, No. 2, pp 396-405, 1995.

FRISA – Frisa Frigorífico Rio Doce S/A. Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais. 2017.

FUKUI, Y., YUU, S. Development of apparatus for electroflotation. Chemical Engineering Science 39, p. 939-945, 1984.
GOBBI, L. C. A. Tratamento de água oleosa por eletrofloculação. Dissertação (Mestrado em Energia), UFES - Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

GROBÉRIO, F.; BRAGA, F. S.; SOUZA M. R.; BERTOLDE, A. I.; NASCIMENTO, D. I. Caracterização de resíduos sólidos oleosos de postos de serviço automotivo da cidade de Vitória-Es. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2004, Joinville. Anais… Joinville: ABES, 2004

HOSNY, A. Y. Separating Oil from Oil-Water Emulsions by Electroflotation Technique. Separation Technology, v. 6, p. 9-17, 1996.

KETKAR, D. R., MALLIKARJUNAN, R., VENKATACHALAM, S. Electroflotation of quartz fines. International Journal of Mineral Processing 31, p. 127-138, 1991.

KETKAR, D. R., MALLIKARJUNAN, R., VENKATACHALAM, S. Size determiation of electro generated gas bubbles. Journal of Electrochemical Society, India 37 (4), p. 313, 1988.

KOBYA, M.; CAN, O. T.; BAYRAMOGLU, M., Treatment of textile wastewater byelectrocoagulation usig iron and aluminum electrodes, Journal of Hazardous Materials, B100, p. 163-178, 2003
LIMA, U.A.; AQUARONE. E.; BORZANI, W.; SCHIMIDELL, W. Biotecnologia Industrial, v.3,1 ed., São Paulo: Edgard Lücher, p.513-546, 2001.

LORENZETT, D. B.; ROSSATO, M. V. A gestão de resíduos em postos de abastecimento de combustíveis. Revista Gestão Industrial, v. 6, n. 2, p. 110-125. Ponta Grossa - PR, 2010. Disponível em: <http://www.pg.utfpr.edu.br/depog/periodicos/index.php/revistagi/article/view/598/479>. Acesso em: 23 de março de 2017.

LORENZETT, D. B.; NEUHAUS, M.; ROSSATO, M. V.; GODOY, L. P. Gestão de recursos hídricos em postos de combustíveis. Diálogos & Ciência, v. 9, n. 26, p. 01-11. Salvador, Bahia, 2011. Disponível em:<http://dialogos.ftc.br/index.php?option=com_content&task=view&id=273&Itemid=1> . Acesso em: 23 de março de 2017.

MASSI, L.; SOUSA, S. R.; LALUCE, C.; JAFELICCI JR, N. Fundamentos e Aplicação da Flotação como Técnica de Separação de Misturas. In: Revista Química Nova na Escola, n° 28, p.20-23, 2008.

MINOWA, C.; IWASHITA, D. N.; SETUGUTI, J. A.; MORI L. M.; CHUANG, L. K. Reuso da água. 2007, 19 f. Dissertação (PHD) – Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007.

MITTAL, K. L. Solution Chemistry of Surfactants, v. 1, 1ª Ed. New York. 1979

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

MOLLAH, M. Y. A.; MORKOVSKY, P., GOMES, J. A. G.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials, v. B114, p. 199-210, 2004.

NAHUI, F. N. B., NASCIMENTO, M. R., CAVALCANTI, E. B., VILAR, E. O. Electroflotation of Emulsified Oil in Industrial Wastes Evaluated with a Full Factorial Design. Brazilian Journal of Chemical engineering, v. 3, n. 25, p. 435–442, 2008.

NETO, A. S; MAGRI, T. C; SILVA, G. M; ANDRADE, A. R. Tratamento de resíduos de corante por eletroflotação: um experimento para cursos de graduação em química. Química nova, São Paulo, v.34, n.8, p.1468-1471, 2011.

OLIVEIRA, R.C.G. Estudos de variáveis operacionais e interfaciais na flotação de óleo por gás dissolvido. Dissertação (Mestrado em Engenharia), COPPE/UFRJ, 120 p., Rio de Janeiro, 1995.

PINTO M., SILVA D. O Brilho Da Bandeira Branca: Concorrência No Mercado De Combustíveis No Brasil. 2008;

RAJKUMAR, D., PALANIVELU, K. Electrochemical treatment of industrial wastewater. Journal of hazardous materials, v. 13. n. 1. p. 123-129. 2004.

RUBIO, J.; SOUZA, M. L.; SMITH, R. W.; Overview of flotation as a wastewater treatment technique. Minerals Engineering, v.15, p. 139 - 155, 2002.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Disponível em <www.site.sabesp.com.br>. Acesso em: 26 de junho de 2017.

SABESP apud SAMPAIO, A. O. Reúso de Águas Residuais e Águas Regeneradas. 2014. Disponível em: <http://abes-sp.org.br/arquivos/8%20Tecnologias%20globais.pdf>. Acesso em: 26 de junho de 2017.

SANEAR - Serviço Colatinense de Saneamento Ambiental. Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais. 2017.

SANTOS, A.J. Tratamento de água produzida. Curso de preparação para químico de petróleo - Petrobrás. Salvador - BA, 2004.

SANTOS, E.P., DUTRA, A.J.B. Concentração de partículas minerais finas e ultrafinas por eletroflotação, holos, v. 5, n. 1, p. 20-29. 2011.

SANTOS, R. J. S. A gestão ambiental em posto revendedor de combustíveis como instrumento de prevenção de passivos ambientais. 217f. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

SHAW, D.J. Introduction to colloid and surface chemistry. Butterworths. London, 1975.

SILVA, P. K. L. Remoção de óleo da água de produção por flotação em coluna utilizando tensoativos de origem vegetal. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

SILVEIRA, E. L. C.; CALAND, L. B.; MOURA, C. V. R. Determinação de contaminantes em óleos lubrificantes usados em esgotos contaminados por esses lubrificantes. Química Nova, v.29, p. 1193-1197, 2006.

SP Combustíveis. Disponível em: <http://spdistribuidora.com/>. Acesso em: 26 de Junho de 2017.

THOMAS, C. D.; BODSWORTH, E. J.; SIMMONS, A. D.; DAVIES, Z. G.; MUSCHE, M. and CONRADT, L. Ecological and evolutionary processes at expanding range margins. Nature 411, p. 577-581. 2001.

ZOUBOULIS, A.I.; GOETZ, L. Ion Flotation as a Tool for Speciation Studies Selective Separation in the System Cr^{3+}/Cr^{6+}. Toxicological and Environmental Chemistry, 1991.

APÊNDICE A

Tabela 1 - Parâmetros analisados nos efluentes de entrada e saída, após cada tempo de eletroflotação, para o Eletrodo A.

	20 min			25 min		
Parâmetros	E_{CS}	S_{CS}	S_{RE}	E_{CS}	S_{CS}	S_{RE}
TOG	1200	720	480	1020	724	468
pH	5,99	5,99	7,17	6,17	6,51	9,15
CE	0,348	0,272	0,226	0,26	0,322	0
SST	460	1033,3	53,33	73,33	26,667	26,67
AC	200,55	54,57	215,97	126,9	90,04	42,72
AL	305,8	483,43	351,17	411,31	273,86	371,3
TB	302,67	245,33	17,91	950	533,67	13,67
	30 min			35 min		
Parâmetros	E_{CS}	S_{CS}	S_{RE}	E_{CS}	S_{CS}	S_{RE}
TOG	980	724	446	1220	724	534
pH	6,72	6,51	8,79	6,43	6,51	8,98
CE	0,281	0,322	0,186	0,272	0,322	0,186
SST	486,67	93,33	33,33	100	26,67	20
AC	114,52	90,04	67,09	70,94	90,04	46,38
AL	335,17	273,86	371,98	302,85	273,86	436,96
TB	584,33	533,67	9,21	811,33	533,67	11,17
	40 min			45 min		
Parâmetros	E_{CS}	S_{CS}	S_{RE}	E_{CS}	S_{CS}	S_{RE}
TOG	1420	860	600	1480	860	680
pH	6,89	6,51	8,74	8,26	6,7	8,96
CE	0,291	0,285	0,266	0,316	0,285	0,266
SST	193,33	53,33	46,67	86,67	73,33	40
AC	43,66	38,2	44,2	46,38	38,2	30,01
AL	371,98	400,14	553,72	234,88	400,14	465,27
TB	997,63	885,73	24,03	326,33	885,73	27,8

FONTE: Dados do Autor.

Tabela 2 - Parâmetros analisados nos efluentes de entrada e saída, após cada tempo de eletroflotação, para o Eletrodo B.

	20 min			25 min			30 min		
Parâmetros	E_{CS}	S_{CS}	S_{RE}	E_{CS}	S_{CS}	S_{RE}	E_{CS}	S_{CS}	S_{RE}
TOG	1264	840	440	1080	680	412	1094	820	500
pH	6,56	6,83	8,1	6,27	6,83	8,68	6,39	6,7	8,78
CE	0,32	0,26	0,25	0,32	0,26	0,25	0,29	0,29	0,26
SST	267	80	80	220	80	13,3	93,3	53,3	33,3
AC	90	54,6	19,6	77,72	54,6	28,6	51,8	38,2	35,5
AL	225	204	450	253,4	204	495	324	400	143
TB	806	499	12	1095	499	11,3	95,4	886	10,1

	35 min			40 min		
Parâmetros	E_{CS}	S_{CS}	S_{RE}	E_{CS}	S_{CS}	S_{RE}
TOG	1340	860	642	1620	860	700
pH	6,65	6,83	8,75	6,25	6,7	9,16
CE	0,31	0,26	0,24	0,29	0,29	0,26
SST	86,7	80	26,7	86,67	53,3	60
AC	79,1	54,6	30	85,8	38,2	38,2
AL	333	204	548	357,5	400	148
TB	1061	499	14,5	68,9	886	19,2

FONTE: Dados do Autor.