

**UNIVERSIDADE DE UBERABA**  
**GABRIELLA NARA RODRIGUES OLIVEIRA**  
**NATHÁLIA REIS SANTOS**

**REMOÇÃO DE FERRO EM EFLUENTE INDUSTRIAL DE TINTAS ATRAVÉS DE  
FILTRAÇÃO ADSORTIVA DE FLUXO ASCENDENTE EM LEITO FIXO COM  
BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum*)**

**UBERABA – MG**  
**2018**

**GABRIELLA NARA RODRIGUES OLIVEIRA**

**NATHÁLIA REIS SANTOS**

**REMOÇÃO DE FERRO EM EFLUENTE INDUSTRIAL DE TINTAS ATRAVÉS DE  
FILTRAÇÃO ADSORTIVA DE FLUXO ASCENDENTE EM LEITO FIXO COM  
BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum*)**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Química da Universidade de Uberaba, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientador (a) Prof. (a): José Waldir de Sousa Filho

**UBERABA – MG**

**2018**

**GABRIELLA NARA RODRIGUES OLIVEIRA  
NATHÁLIA REIS SANTOS**

**REMOÇÃO DE FERRO EM EFLUENTE INDUSTRIAL DE TINTAS ATRAVÉS DE  
FILTRAÇÃO ADSORTIVA DE FLUXO ASCENDENTE EM LEITO FIXO COM  
BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum*)**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Química da Universidade de Uberaba, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA:**

Nome do Professor

---

Nome do Professor

---

Nome do Professor

---

Às nossas queridas famílias, pelo  
cuidado de sempre e por nunca deixarem de  
acreditar em nós.

## **AGRADECIMENTOS**

Acima de tudo a Deus, pela benção da vida e por nos fortalecer nesta longa caminhada.

Aos nossos pais que sempre acreditaram em nós e nunca mediram esforços para nos auxiliar em todos os momentos.

A todos os nossos familiares e amigos pelos conselhos, compreensão e o incansável apoio.

Ao nosso orientador, por todo incentivo, conhecimento e horas dedicadas para o sucesso deste trabalho.

Ao prof. Alexandre de Faria Lima, pela coorientação, suporte e colaboração durante a fase experimental deste trabalho.

Aos técnicos de laboratório da Universidade, Antônio, Cárita e Walkiria, por todo auxílio e disposição em nos ajudar no decorrer da pesquisa.

A todos os envolvidos direta ou indiretamente nesta jornada acadêmica que contribuíram para nosso crescimento e formação, fica aqui o nosso agradecimento.

“O sucesso é a capacidade de ir de um  
fracasso ao outro sem perder o  
entusiasmo”.

**Winston Churchill**

## RESUMO

Frente ao agravamento das condições de poluição e o descarte inadequado de rejeitos industriais, a água não é mais vista como um recurso inesgotável na Terra. A indústria de tintas é responsável pelo descarte de grande quantidade de poluentes metálicos na água, como o ferro, que apesar de não possuir significado sanitário, pode gerar uma série de transtornos materiais e operacionais. A fim de minimizar os impactos negativos sobre os recursos hídricos e o meio ambiente, novas tecnologias de tratamento de efluentes vem sendo desenvolvidas. O processo de filtração adsortiva reúne diversas vantagens em relação a remoção de sólidos suspensos, remoção da cor e turbidez e remoção de metais solúveis e matéria orgânica residual. Deste modo, este trabalho propôs o tratamento de um efluente de tinta para avaliar a remoção de ferro através de filtração adsortiva empregando bagaço de cana de açúcar, areia e carvão ativado granular. Para proceder com os ensaios de tratamento, após realizar a caracterização do efluente o preparo dos materiais filtrantes, montou-se um sistema de filtração de fluxo ascendente em leito fixo e realizou-se testes em diferentes faixas de pH. A concentração final de ferro nas amostras de efluente tratado foi determinada através de equipamento de espectroscopia de emissão atômica com fonte de plasma. Em pH 2 obteve-se a melhor resposta ao tratamento com taxa de remoção de ferro de aproximadamente 97,8%, pois nesta faixa de pH a solubilidade dos íons ferro favoreceu a adsorção dos mesmos pela biomassa. A adição de carvão ativado e areia ao sistema proporcionou ainda bons resultados em relação a retenção de compostos orgânicos e particulados, conferindo expressiva diferença na cor do efluente tratado.

**Palavras-chave:** Efluente de tinta. Ferro. Filtração adsortiva. Bagaço de cana-de-açúcar.

## ABSTRACT

Fronted the worsening of pollution conditions and the inadequate disposal of industrial waste, water is no longer seen as inexhaustible resource on Earth. The ink industry is responsible for the disposal of huge amounts of metallic pollutants in water, such as iron, which, although not sanitary, can generate a series of material and operational problems. To minimize impacts on water resources and environment, new effluent treatment technologies have been developed. The adsorption filtration process has several advantages over the removal of suspended solids, color, turbidity and of soluble metals and residual organic matter. Thus, this work proposed the treatment of an ink effluent to evaluate iron removal through adsorptive filtration using sugar cane marc, sand and granular activated charcoal. To proceed with the treatment trials, after the effluent characterization of the preparation of the filter stuffs, an upflow filtration system was setup in packed bed and tests were performed in different pH ranges. The final iron concentration in the treated effluent samples was determined by atomic emission spectroscopy equipment with plasma source. At pH 2, the best response to treatment with iron removal rate of approximately 97.8% was obtained, because in this pH range the solubility of iron ions favored the adsorption of by the biomass. The addition of activated charcoal and sand to the system provided good results in relation to the retention of organic and particulate compounds, giving a significant difference on color of the treated effluent.

**Keywords:** Effluent ink. Iron. Adsorptive filtration. Sugarcane marc.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Volume de tinta produzido no Brasil no ano de 2017 .....	16
<b>Figura 2</b> – Método de clarificação físico-química .....	18
<b>Figura 3</b> - Exemplo de incrustações causadas em tubulações pela presença excessiva de ferro .....	19
<b>Figura 4</b> - Fluxograma representativo do processo de biossorção.....	21
<b>Figura 5</b> - Representação esquemática da parede celular vegetal e seus grupos funcionais .....	22
<b>Figura 6</b> – Fisiologia da cana-de-açúcar .....	23
<b>Figura 7</b> - Bagaço de cana-de-açúcar .....	24
<b>Figura 8</b> - Efluente bruto .....	28
<b>Figura 9</b> - Digestão ácida das amostras .....	28
<b>Figura 10</b> - Efluente após digestão .....	29
<b>Figura 11</b> - Areia, bagaço de cana-de-açúcar e carvão granular .....	29
<b>Figura 12</b> - Bagaço de cana-de-açúcar imerso em solução de NaOH .....	31
<b>Figura 13</b> - Lavagem do bagaço de cana em filtro à vácuo.....	31
<b>Figura 14</b> - Sistema de filtração de fluxo ascendente em leito fixo .....	32
<b>Figura 15</b> - Mecanismo do espectrômetro de emissão atômica com fonte de plasma ..	34
<b>Figura 16</b> - Curva de solubilidade de ferro e manganês em função do pH.....	35
<b>Figura 17</b> - Diagrama de Pourbaix para o ferro .....	36
<b>Figura 18</b> - Gráfico de análise de remoção de ferro em diferentes faixas de pH.....	37
<b>Figura 19</b> - Gráfico da porcentagem de remoção de íons ferro .....	38
<b>Figura 20</b> - Amostras do efluente pós-tratamento em pH 2.....	39

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Alguns pigmentos constituintes das tintas .....	17
<b>Tabela 2</b> - Ensaio em diferentes faixas de pH .....	33
<b>Tabela 3</b> - Resultados dos ensaios realizados.....	37

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	13
2.1. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	13
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
3.1. ABORDAGEM HISTÓRICA .....	14
3.2. PIGMENTOS E CORANTES DE TINTAS.....	15
3.3. FERRO .....	19
3.4. ADSORÇÃO .....	20
<b>3.4.1. Biossorventes</b> .....	21
<b>3.4.2. Cana-de-Açúcar</b> .....	23
<b>3.4.3. Carvão ativado</b> .....	25
3.5. FILTRAÇÃO ADSORTIVA .....	26
<b>3.5.1. Areia</b> .....	26
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	27
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE .....	27
<b>4.1.1. Digestão ácida</b> .....	28
4.2. TRATAMENTO DO MATERIAL FILTRANTE.....	29
<b>4.2.1. Areia</b> .....	29
<b>4.2.2. Carvão ativado</b> .....	30
<b>4.2.3. Bagaço de cana-de-açúcar</b> .....	30
4.3. ENSAIOS DE TRATAMENTO DO EFLUENTE .....	31
4.4. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FERRO .....	33
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	35
5.1. DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES FAVORÁVEIS AOS ENSAIOS .....	35

5.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS SOBRE A RESPOSTA PORCENTAGEM DE REMOÇÃO DE ÍONS FERRO.....	36
5.3. AVALIAÇÃO DOS MATERIAIS FILTRANTES E ADSORVENTES .....	38
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>40</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A presença de ferro na água é um parâmetro associado à sua qualidade química, a qual está relacionada sobretudo às ações humanas. Por exemplo, embora o organismo humano necessite de uma quantidade de ferro para produção de hemoglobina, o Ministério da Saúde estabelece uma concentração máxima permitida para cumprir com os padrões de potabilidade e consumo (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

Tradicionalmente, a remoção de ferro ocorre por meio da precipitação do mesmo oxidado. Entretanto, a adsorção pela utilização de biossorventes, ou *in natura*, ou pré-tratados quimicamente e/ou fisicamente se mostra uma opção alternativamente viável para tal fim (CARVALHO *et al.*, 2005). Além do tratamento químico, o tratamento físico com plasma frio tem se difundido nas comunidades científicas, pois também pode modificar as propriedades superficiais e estruturais das biomassas levando a uma otimização dos mecanismos de adsorção sem geração de resíduos (MERIÇER, 2016).

Em relação aos métodos convencionais, a adsorção é boa uma opção para o tratamento de efluentes industriais do ponto de vista econômico e ambiental, pois adsorventes de baixa custo requerem pouco processamento, encontram-se em abundância na natureza e podem ser oriundos de materiais residuais de outros processos como os subprodutos agrícolas. Outro fator importante é que, após serem utilizados, os subprodutos agrícolas podem ser descartados sem uma regeneração cara devido ao seu baixo custo. A adsorção reúne assim diversos pontos positivos como a abundância de material, rentabilidade, facilidade de operação e eficiência (DEMIRBAS, 2009).

Nesse sentido, estão envolvidos os estudos ligados ao descarte de efluentes industriais nos ecossistemas aquáticos. A geração de efluente com resíduos metálicos, o tratamento do mesmo e seu descarte, é uma problemática comum na maioria dos processos industriais, estando diretamente ligada a composição química da água que recebe grande parte deste, o que proporciona o aumento de pesquisas na área. A concentração inadequada de metais dificulta o tratamento final da água e, em relação ao ferro, promove alterações no sabor e na coloração da mesma (BARROS; CARVALHO; RIBEIRO, 2017).

A utilização do bagaço de cana de açúcar como material adsorvente pode apresentar resultados favoráveis para remoção de ferro em efluentes com altas concentrações (CARVALHO *et al.*, 2005).

Por mecanismos físico-químicos semelhantes ao do carvão ativado, os tecidos vegetais tendem a adsorver contaminantes devido a grandes poros e alta área superficial. Portanto, essa iniciativa visa reduzir a problemática da contaminação das águas ao passo que agrega valor aos resíduos minimizando os impactos da poluição ambiental a baixos custos operacionais (RUTHVEN, 1984).

## **2. OBJETIVOS**

Avaliar a eficiência da remoção de ferro através de filtração adsortiva empregando bagaço de cana de açúcar como material biossorvente.

### **2.1. OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Identificar as condições mais favoráveis ao processo através do monitoramento de parâmetros como pH ideal, tempo de tratamento e quantidade de massa.
- Adição de materiais filtrantes como carvão ativado granular e areia para otimização do tratamento.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. ABORDAGEM HISTÓRICA

O planejamento integrado para tratamento dos recursos hídricos e sua manipulação é assunto de grande destaque global, uma vez que se tornou evidente a degradação da qualidade das reservas de água e a perspectiva de escassez gerada. Aproximadamente 12% das fontes de água doce do mundo estão abrigadas no Brasil e, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), cerca de 9,2% do total de água utilizada destina-se as práticas industriais (SILVA, 2012).

Na indústria de tintas e, ainda, na indústria têxtil a geração de rejeitos de difícil degradação ocorre sobretudo devido ao uso de corantes e pigmentos e produtos químicos auxiliares (OLIVEIRA, 2016).

A viabilidade técnica e econômica de um processo de tratamento é fator determinante para sua escolha (PEREIRA NETO et al., 2008). O tratamento de água realizado no Brasil engloba processos relativamente simples e tradicionais como a coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (FOLZKE, 2013).

Empresas de grande porte, sobretudo, efetuam tratamento prévio ao descarte de seus efluentes, a fim de atingir padrões legais vigentes e definidos no país (PEREIRA NETO et al., 2008). A nível nacional, os padrões de qualidade de efluentes para lançamento em corpos d'água são definidos pelo CONAMA 357/05 e no estado de Minas Gerais, o lançamento de efluentes oriundos de fontes poluidoras nos corpos de água também deve seguir as condições estabelecidas pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 (SILVA, 2012; SEMAD, 2018). Portanto, se faz importante ações para redução de emissões na fonte, reciclagem e reaproveitamento durante as operações e processos industriais (PEREIRA NETO et al., 2008).

A oxidação e a precipitação destacam-se como técnicas clássicas e eficazes para remoção de metais. A precipitação química é a mais recorrente, envolvendo princípios de solubilidade dos metais (FOLZKE, 2013). Através da utilização de agentes coagulantes como, sulfato de alumínio e cloreto férrico, e elevação do pH do meio é promovida uma condição de baixa solubilidade dos

hidróxidos dos metais que se precipitam (PEREIRA NETO et al., 2008; FOLZKE, 2013).

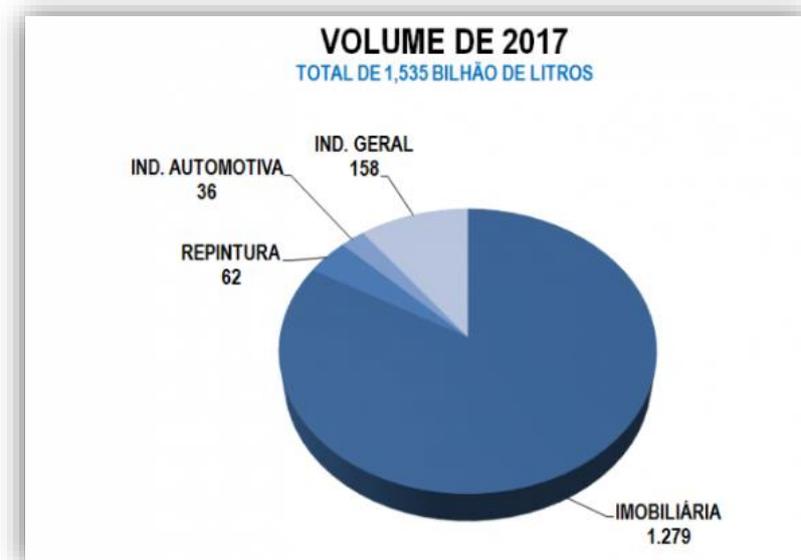
Uma das vantagens desse método é o baixo custo dos produtos utilizados. Entretanto, a ocorrência de reações paralelas em função da composição química do efluente e a necessidade de se estabelecer a dosagem correta do alcalinizante são desvantagens significativas da técnica. Além disso, o resíduo gerado no processo de tratamento é considerado perigoso e tóxico e deve ter destinação específica para não gerar efeitos ambientais negativos (PEREIRA NETO et al., 2008).

Dessa forma, embora algumas técnicas apresentem maiores custos de investimento e tecnologias específicas, destacam-se os tratamentos não-convencionais, como os processos por membrana, troca iônica e adsorção (PEREIRA NETO et al., 2008).

### 3.2. PIGMENTOS E CORANTES DE TINTAS

Utilizada para exprimir sentimentos e ideias, proteger superfícies e materiais, aumentar a durabilidade, melhorar o desempenho, ou ainda, ornar e decorar os locais, as tintas já são conhecidas há mais de 30.000 anos (MELLO; SUAREZ, 2012).

Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas, o Brasil representa um dos cinco maiores mercados mundiais, produzindo em 2017 um volume equivalente a 1,535 bilhão de litros. Dessa produção, 83,3% correspondem a tintas imobiliárias, 10,3% a tintas para indústria em geral como os móveis e eletrodomésticos, 2,3% a tintas automotivas e 4% a tintas para repintura automotiva (Figura 1).

**Figura 1** – Volume de tinta produzido no Brasil no ano de 2017

Fonte: ABRAFATI, 2018.

Além das resinas, solventes, óleos secativos, ácidos graxos e plastificantes, os pigmentos e os corantes fazem parte de seus componentes essenciais (SILVA, 2012). Ambos são responsáveis pelo fornecimento da cor e se diferem segundo o coeficiente de solubilidade. Segundo relatos baseados nas análises das pinturas rupestres, acredita-se que os pigmentos partiam de partículas inorgânicas minerais finamente moídos. Por exemplo, a hematita e a goethita, minerais compostos por óxidos de ferro, originavam as colorações vermelha e amarelo, respectivamente (MELLO; SUAREZ, 2012). Os pigmentos orgânicos são considerados livres de toxicidade e os inorgânicos são compostos por óxidos de metais pesados (SILVA, 2012). A tabela 1 demonstra alguns pigmentos que constituem as tintas.

**Tabela 1** - Alguns pigmentos constituintes das tintas

<b>PRINCIPAIS PIGMENTOS CONSTITUINTES DAS TINTAS</b>		
<b>Pigmentos</b>		<b>Função</b>
Pigmentos brancos de cobertura: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dióxido de titânio</li> <li>• Óxido de zinco</li> <li>• Lipotônio</li> <li>• Sulfeto de zinco</li> <li>• Óxido de antimônio</li> </ul>	Pigmentos amarelos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Litargiro</li> <li>• Ocre</li> <li>• Cromato de chumbo ou de zinco</li> <li>• Amarelos de ferrita</li> <li>• Lipotônio de cádmio</li> </ul>	Para proteger a película pela reflexão da radiação ultravioleta destrutiva, para fortalecer a película e atribuir-lhe aspecto estético. Os pigmentos devem possuir as seguintes propriedades: opacidade e bom poder de cobertura, molhabilidade pelo óleo, inércia química, atoxidez ou toxidade básica, custo razoável.
Pigmentos negros: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Negro de carvão</li> <li>• Negro de fumo</li> <li>• Grafita</li> <li>• Negro de ferro</li> </ul>	Pigmentos alaranjados: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cromato de chumbo básico</li> <li>• Alaranjado de cádmio</li> <li>• Alaranjado de molibdênio</li> </ul>	
Pigmentos azuis: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ultramarino</li> <li>• Ftalocianina de cobre</li> <li>• Azuis de ferro</li> </ul>	Pigmentos verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Óxido de cromo</li> <li>• Verde de cromo</li> <li>• Óxido de cromo hidratado</li> <li>• Ftalocianina verde</li> <li>• Verdes Permansa (ftalocianina azul mais cromato de zinco)</li> </ul>	
Pigmentos vermelhos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zarcão</li> <li>• Óxido de ferro</li> <li>• Vermelhos de cádmio</li> <li>• Toners e lacas</li> </ul>	Pigmentos castanhos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Siena queimada</li> <li>• Umbra queimada</li> <li>• Castanho Van Dyke</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metálicos</li> <li>• Alumínio</li> <li>• Pó de zinco</li> <li>• Pó de bronze</li> </ul>	Pigmentos metálicos protetores: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zarcão</li> <li>• Azul de chumbo</li> <li>• Zinco, sais básicos de chumbo, cromatos de potássio e bário</li> </ul>	

Fonte: Adaptada de Shreve; Brinck Jr., 1997.

Os primeiros pigmentos sintéticos também foram desenvolvidos por antepassados, que descobriram a mudança de coloração dos metais por meio da calcinação destes. Com o passar do tempo, o início do uso de produtos sintéticos estimulou novas pesquisas para substituição dos pigmentos a base de metais

pesados no ramo industrial. A alta toxicidade destes provocava o aparecimento de doenças crônicas em profissionais (MELLO; SUAREZ, 2012).

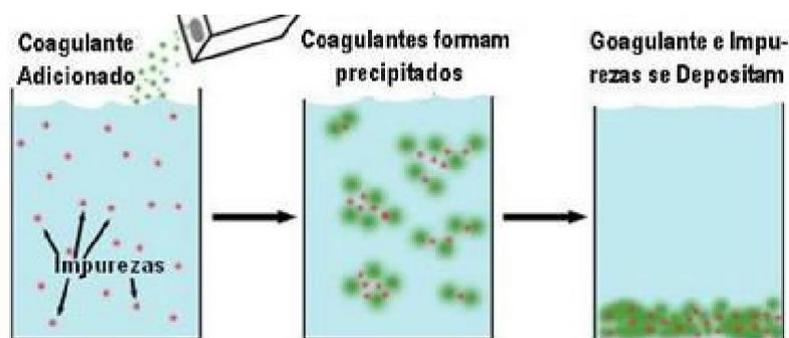
Alguns corantes reativos possuem ação carcinogênica e mutagênica e, além disso, podem afetar diretamente a fotossíntese das plantas aquáticas ao dificultar as trocas gasosas (SCHEUFELE et al., 2014).

A busca por tecnologias limpas e recursos renováveis é crescente no novo século, objetivando substituir as matérias-primas de origem fóssil (MELLO; SUAREZ, 2012). Entretanto, apesar de bases orgânicas ainda é comum a ocorrência de corantes e pigmentos compostos por metais.

As características do efluente gerado a partir dos processos de produção de tintas variam juntamente com o tipo de produto produzido. Indústrias de simples mistura geram efluentes oriundos dos processos de lavagem dos equipamentos e da higiene pessoal na área de produção. Já as indústrias que sintetizam também as bases das tintas produzem rejeitos das águas de condensação desta etapa do processo que apresenta elevada carga orgânica e alta toxicidade (SILVA, 2012).

O tratamento de tais efluentes envolve sobretudo processos físico-químicos e biológicos aeróbicos, visando a redução da carga orgânica, carga tóxica e concentração de metais pesados. A clarificação físico-química geralmente é realizada a partir da adição de coagulantes químicos, como o sulfato de alumínio, seguida de uma etapa de floculação (SILVA, 2012), como demonstrado na figura 2 a seguir. Entretanto, apesar de controlada a concentração deste metal na água, seu uso pode ser prejudicial à saúde humana.

**Figura 2 – Método de clarificação físico-química**



Fonte: Sousa Filho, 2018

### 3.3. FERRO

O Ferro é um metal que possui grande importância para o metabolismo humano, entretanto, quando em excesso, pode acumular-se no corpo gerando problemas de saúde nos indivíduos (FOLZKE, 2013).

Frequentemente é encontrado nas águas naturais por ser um elemento abundante e apresenta-se nas formas insolúvel (íon férrico) e dissolvida (íon ferroso) (FOLZKE, 2013).

A principal preocupação com níveis elevados de Fe dissolvidos na água está relacionada à formação de precipitados de hidróxido de ferro insolúvel. Em presença de oxigênio, os íons solúveis na água ( $\text{Fe}^{2+}$ ) podem sofrer oxidação, sendo convertidos a íons férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ) que são responsáveis pela formação de hidróxidos de ferro. Desse modo, uma das principais técnicas para remoção do ferro dissolvido em meio aquoso, é fundamentada na oxidação da forma reduzida deste metal. Promove-se a aeração do meio para garantir condições de aerobiose e após a transformação do íon, este é removido por filtração (LIBANIO, 2008; VON SPERLING, 2005).

Não possui características com grande significado sanitário, porém pode provocar a ocorrência de manchas em roupas e aparelhos sanitários, além de reações secundárias com formação de água suja associada ao elevado grau de incrustações nas tubulações (Figura 3). Associado ao Manganês e, em função da concentração, este metal pode conferir uma coloração amarelada e turva a água, além de alterar o sabor para amargo e adstringente (LIBANIO, 2008; VON SPERLING, 2005).

**Figura 3** - Exemplo de incrustações causadas em tubulações pela presença excessiva de ferro



Fonte: Paz, 2016.

Atualmente, a Portaria vigente nº 2914/2011 determina uma concentração máxima de 0,3mg de Fe/L para os padrões de potabilidade da água (FOLZKE, 2013). E, para lançamento de efluentes, o valor máximo permitido para ferro dissolvido corresponde a 15mg/L (SEMAD, 2018).

### 3.4.ADSORÇÃO

O processo de adsorção consiste em estudar certos sólidos e suas habilidades ao concentrar substâncias presentes em fluidos, líquidos ou gasosos, em sua superfície, sendo possível assim separar os componentes desses fluidos através da operação de transferência de massa. Portanto, é possível afirmar que usualmente os adsorventes são sólidos e porosos. Adsorvato ou adsorbato são os nomes dados para o material acumulado e a superfície é denominada como adsorvente ou adsorbente (RUTHVEN, 1984).

É uma boa opção para remoção de íons, cor, odor e poluentes orgânicos, além de tornar-se um processo eficaz e econômico que gera pequena quantidade de resíduo através dos mecanismos de fisissorção ou quimissorção que variam de acordo com a força física ou química atuante (OLUYEMI et al., 2009; FRANCISCHETTI, 2004).

Além das características físicas e químicas do adsorvente, algumas condições podem afetar diretamente o desempenho da adsorção e, por isso, a determinação de parâmetros no que tange sobretudo o pH, temperatura, concentração e tempo de contato é fundamental (BARROS; CARVALHO; RIBEIRO, 2017). A concentração atua como força motriz durante o processo, visto que o aumento da concentração do adsorvato auxilia na quebra da resistência de transferência de massa para o adsorvente (EL-SAYED; EL-SAYED, 2014).

Em relação a granulometria e área superficial do material é importante frisar que uma superfície externa maior proporciona uma adsorção mais favorável, visto que os componentes adsorvidos se concentram na mesma (LORENA et al., 2014).

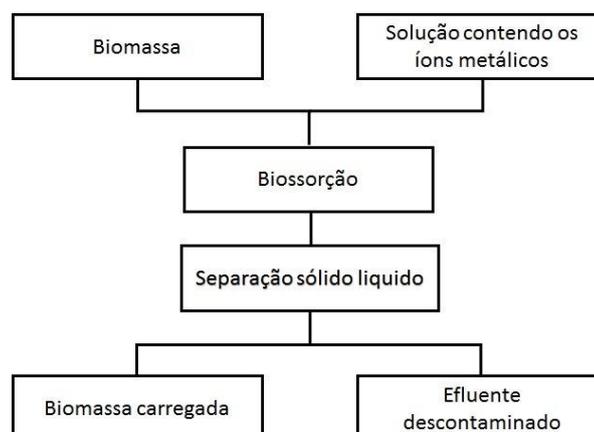
Para o tratamento de efluentes de grande volume os sistemas de adsorção em leito fixo são os mais recomendados pois além de serem mais

econômicos proporcionam um uso mais eficiente do adsorvente (SCHMIDT, 2011).

### 3.4.1. Biossorventes

A biossorção é uma variação do processo de adsorção que ocorre através da ligação passiva entre os íons metálicos e os grupos funcionais da biomassa viva ou morta (Figura 4), uma vez que o metabolismo desta não afeta a interação físico-química dos materiais (MONTEIRO et. al, 2009; KUYUCAK, 1988). Destaca-se como tratamento alternativo de grande eficácia através da utilização de resíduos agroindustriais, os chamados bioadsorventes que reúnem benefícios econômicos e ambientais (BARROS; CARVALHO; RIBEIRO, 2017).

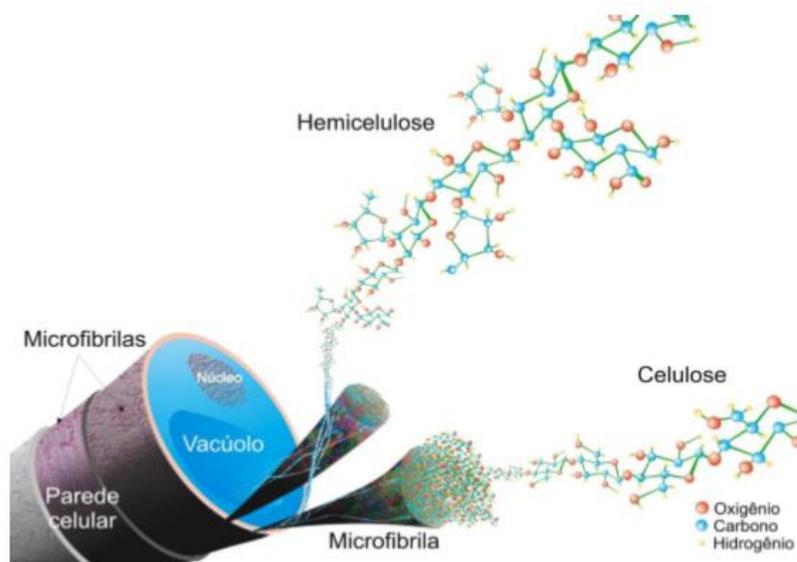
**Figura 4** - Fluxograma representativo do processo de biossorção



Fonte: Vinaud, 2018.

Macromoléculas como lignina, celulose, hemicelulose, proteínas, pectina e substâncias húmicas são as principais constituintes desses resíduos e seus grupos funcionais como carbonila ( $-C=O$ ), hidroxil ( $-OH$ ), fosfato ( $-OPO_3H_2$ ), amida ( $-CONH_2$ ), entre outros, são determinados como os principais sítios ativos de adsorção (Figura 5) (DEMIRBAS, 2009).

**Figura 5** - Representação esquemática da parede celular vegetal e seus grupos funcionais



Fonte: Buckeridge; Santos; Souza, 2014.

Quando este processo é então aplicado na descontaminação são evidenciadas vantagens como a possibilidade de recuperação do adsorvato e regeneração do adsorvente (OLIVEIRA, 2016).

De acordo com Barros, Carvalho e Ribeiro (2017) os metais presentes nas soluções são removidos na forma catiônica, pois a grande maioria dos íons metálicos encontra-se nesse estado de valência.

Para garantir a eficiência do método é necessário conhecer o bioissorvente mais adequado ao metal que se pretende remover. Entretanto, em efluentes industriais aquosos isso se torna um desafio dado que estes possuem múltiplas espécies poluentes que podem sofrer interação entre si, sendo menos trabalhoso o tratamento de soluções sintéticas que possuem um único íon metálico (BARROS; CARVALHO; RIBEIRO, 2017).

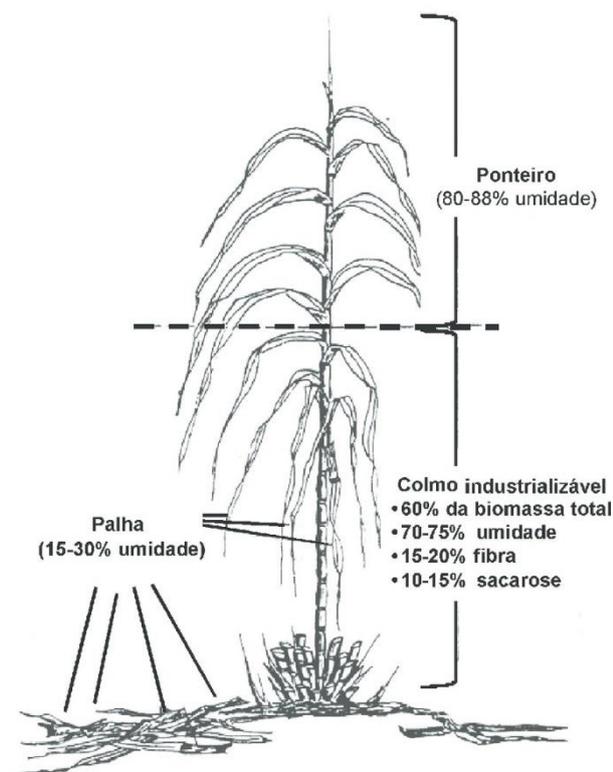
Outra condição importante é a capacidade de bioissorção da biomassa após sua regeneração para utilização em novos ciclos. Após a lavagem do bioissorvente, onde acontece a dessorção dos metais, esta capacidade não deve ser alterada, assim como, não deve ocorrer danos físico-químicos ao material, pois um processo de regeneração caro e trabalhoso pode inviabilizar a utilização da biomassa (DEMIRBAS, 2009).

### 3.4.2. Cana-de-Açúcar

Foi por volta século XVI que a cultura da cana de açúcar teve início no Brasil devido a condições diversas como a sua existência em abundância, solo propício e a atratividade de mercado do açúcar no comércio Europeu, podendo assim gerar grandes lucros (RODRIGUES, 2010).

Oriunda da família *Poáceas*, *Saccharum officinarum*, é o nome científico dado a cana-de-açúcar, a qual integra o grupo de plantas herbáceas do gênero *Saccharum sp* (Figura 6). Acredita-se que a origem da cana-de-açúcar, hoje proveniente de vários cruzamentos, deu-se em Nova Guine, ilha localizada no sudoeste do oceano pacífico, onde encontra-se em abundância plantas do gênero *Saccharum sp*. (CONSECANA, 2006).

**Figura 6 – Fisiologia da cana-de-açúcar**



Fonte: Matsuoka et al., 2016.

Atualmente é uma das maiores produções agrícolas brasileiras e é por meio da cana que se tem a obtenção de açúcar, álcool e aguardente (ÚNICA,

2011). O seu plantio está espalhado por todo o país, porém, a maior parte da produção concentra-se no Centro-Oeste, Sul e Sudeste (KARNITZ JÚNIOR, 2009).

O bagaço de cana-de-açúcar (Figura 7) é o resíduo agroindustrial proveniente da moagem da cana, sendo que a cada mil toneladas desta obtém-se 280 toneladas de bagaço, o que corresponde a 30% da cana moída (SOARES et al., 2015). Isso acarreta uma enorme preocupação sobre como o mesmo deve ser descartado ou reaproveitado em novos processos com geração de subprodutos que agreguem valor para sociedade. Fatores como o baixo custo e a abundância de matéria tem aumentado o foco na utilização do bagaço como material adsorvente (SILVA, 2015).

**Figura 7** - Bagaço de cana-de-açúcar



Fonte: CENPEM, 2018.

Scheufele et al. (2015) analisaram o bagaço de cana, caracterizando-o como um material não poroso que apresenta um diâmetro médio característico de microporos e ponto de carga zero (PCZ) equivalente a 6,0. O ponto de carga zero é definido como o valor de pH onde a carga superficial do material está neutra, ou seja, a adsorção de íons  $H^+$  e  $OH^-$  é equivalente. Sua consideração no mecanismo de adsorção é muito importante, pois ao variar o pH do meio que está em contato com o adsorvente favorece-se a aderência de cátions ou ânions, aumentando assim sua capacidade de biossorção (RIBEIRO et al., 2011).

### 3.4.3. Carvão ativado

Aplicado na remoção de poluentes presentes em lixiviados, sobretudo moléculas orgânicas, o carvão ativado é usualmente utilizado no tratamento de águas para abastecimento e águas de reuso com a finalidade de filtrar e purificar, desintoxicar, desodorizar, descolorir e remover ou modificar o sabor (KAWAHIGASHI, 2012).

É constituído por vários materiais carbonosos e uma das suas principais características são as suas propriedades de superfície, como a porosidade, que vem sendo utilizada há anos por indústrias químicas para sistemas de purificação. É através destes poros que sua superfície é capaz de promover adsorção, podendo assim interagir com diversas superfícies simultaneamente, sobretudo removendo contaminantes orgânicos (SCHMIDT, 2011).

Para submetê-lo ao processo de ativação e garantir sua eficiência de adsorção, o carvão ativado, considerado quimicamente inerte, deve ser tratado em ambiente com gases oxidantes como o oxigênio, em baixo teor, ou dióxido de carbono à altas temperaturas que variam de 800 a 1000°C. O agente oxidante reage com o carbono e o CO<sub>2</sub> liberado é responsável pela formação de novos poros no material ao se difundir através dos grãos de carvão (KAWAHIGASHI, 2012).

Quaisquer materiais com alta concentração de carbono, denominados precursores, podem ser utilizados no processo de produção do carvão ativado, observando-se alguns critérios como potencial para obtenção de um carvão ativado de alta qualidade, presença mínima de compostos inorgânicos, volume, custo, trabalhabilidade e tempo de conservação da matéria-prima (KAWAHIGASHI, 2012).

Assim, as principais propriedades físicas e adsorptivas de um carvão ativado variam de acordo com as propriedades do agente precursor para sua obtenção (KAWAHIGASHI, 2012).

### 3.5. FILTRAÇÃO ADSORTIVA

A filtração é um processo mecânico que se baseia no princípio de separação de sólidos suspensos em fluidos através da retenção de partículas em um meio pelo qual apenas o fluido consegue passar.

Logo, a granulometria do material que compõe o meio filtrante deve ser responsável por reter uma quantidade significativa de sólidos do efluente e, além disso, facilitar o processo de limpeza durante a retrolavagem do filtro (SALCEDO; TESTEZLAF; MESQUITA, 2011).

A filtração adsortiva diz respeito a técnicas que unem a filtração comum com o processo de adsorção, somando vantagens em relação a remoção de sólidos suspensos, remoção da cor e turbidez e remoção de metais solúveis e matéria orgânica residual (FRANCISCHETTI, 2004). Em relação aos métodos de tratamento convencionais já citados anteriormente, este destaca-se em relação ao menor tempo de ciclo de tratamento e ainda à compactação do sistema (PAZ, 2016).

Dantas et al. (2011) demonstra em seus estudos que um sistema de coagulação com pH mais ácido, filtração em areia e filtração em carvão ativado granular (CAG) é eficiente na remoção de ferro e manganês complexados com matéria orgânica dissolvida, conferindo uma água com cor e turbidez adequadas ao padrão de potabilidade.

#### 3.5.1. Areia

O método de filtração através da areia foi estabelecido por meio de uma analogia com a percolação de águas naturais no solo, portanto se tornou uma forma simples de tratamento e é considerado também um dos modos mais antigos de purificação de água (MURTH; HELLER; LIBÂNIO; 1997).

O fato de não fazer uso de produtos químicos, custos baixos de instalação e manutenção e a facilidade da prática são os principais pontos que no decorrer do tempo alavancaram o processo de filtração lenta em areia como alternativa tecnológica para países em desenvolvimento (MURTH; HELLER; LIBÂNIO; 1997).

A utilização da areia em processos de filtração deve-se a capacidade desta deter materiais inorgânicos e orgânicos, o que pode ser observado através da retenção promovida pelo meio granular por meio de forças de atração entre as partículas presente no material a ser filtrado (SALCEDO; TESTEZLAF; MESQUITA, 2011).

#### **4. METODOLOGIA**

Com o objetivo de comprovar as hipóteses levantadas, os principais métodos de pesquisa utilizados para o desenvolvimento deste estudo foram a pesquisa aplicada e explicativa, valendo-se sobretudo de métodos experimentais. Para análise dos dados e informações, estes foram abordados tanto de maneira quantitativa quanto qualitativa.

Avaliou-se o efluente proveniente dos processamentos de uma indústria de tintas localizada no Distrito Industrial da cidade de Uberaba - MG.

##### **4.1. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE**

Coletou-se cerca de 18L do efluente bruto não tratado (Figura 8), oriundo dos processos de lavagem dos tanques das formulações de tintas. Constatou-se, sobretudo, a presença de corantes verde, amarelo, vermelho e preto.

Para realização das análises, separou-se então cerca de 6L do extrato primário após constante agitação para homogeneização do mesmo.

O efluente foi então avaliado antes de ser submetido ao tratamento. Utilizando uma alíquota de 2mL realizou-se a digestão ácida para remoção da matéria orgânica presente no meio e, posteriormente, este foi avaliado quanto a concentração de metais e óxidos de ferro através de espectroscopia de emissão atômica com fonte de plasma.

**Figura 8 - Efluente bruto**

Fonte: Autores, 2018.

#### 4.1.1. Digestão ácida

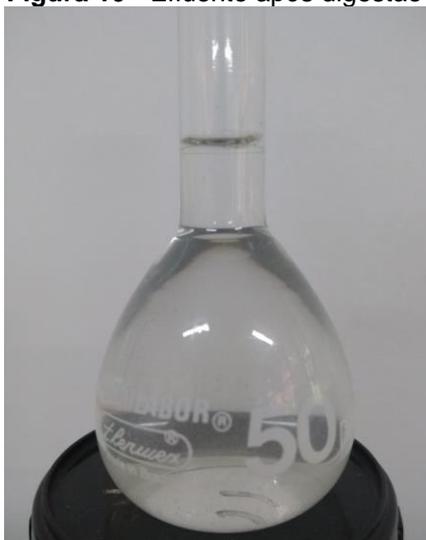
A digestão ácida é empregada para decomposição de materiais orgânicos, uma vez que esta pode eliminar espécies interferentes durante as análises (Figura 9).

Então, para avaliar a concentração de ferro presente no efluente procedeu-se a digestão da alíquota. E uma proporção de 1:1 adicionou-se na amostra 5mL de ácido clorídrico e 5mL de ácido nítrico e, posteriormente, esta foi levada para o bloco digestor durante 30min à 200°C. Após o resfriamento, avolumou-se o extrato em um balão de 50mL (Figura 10) com água destilada e analisou-o para determinar a concentração de metais.

**Figura 9 - Digestão ácida das amostras**

Fonte: Autores, 2018.

**Figura 10** - Efluente após digestão



Fonte: Autores, 2018.

## 4.2. TRATAMENTO DO MATERIAL FILTRANTE

**Figura 11** - Areia, bagaço de cana-de-açúcar e carvão granular



Fonte: Autores, 2018.

### 4.2.1. Areia

A areia foi adquirida em uma loja de materiais para construção da cidade. Como estava com alto teor de sujeiras e impurezas esta foi lavada com água destilada em filtro à vácuo e, então, seca em estufa com circulação de ar à 150°C por aproximadamente 3h.

A fim de promover uma superfície de contato ideal, realizou-se uma seleção granulométrica utilizando apenas a areia passante pela peneira de abertura 0,425mm, a qual é considerada como areia média.

#### **4.2.2. Carvão ativado**

. O carvão ativado granular foi encontrado em loja de suprimentos para animais de estimação que conta com materiais para limpeza de aquários, não sendo necessário nenhum tipo de tratamento prévio ao seu uso.

#### **4.2.3. Bagaço de cana-de-açúcar**

O bagaço da cana-de-açúcar foi selecionado através do residual oriundo do processo de produção da garapa em comércio local. Para submetê-lo a moagem, foi primeiramente seco em estufa com circulação de ar à 100°C durante cerca de 10h. Então, este foi moído em moinho de facas Marconi – Modelo Ma048.

Posteriormente, determinou-se a granulometria para os testes de adsorção utilizando peneiras granulométricas com aberturas equivalentes a 30, 35 e 40 mesh, respectivamente, devido a critérios como a superfície de contato, sendo selecionada a faixa granulométrica correspondente ao intervalo de 30 e 35 mesh.

Em seguida, realizou-se o tratamento químico do bagaço para ativação dos sítios de adsorção com cargas negativas visando o aumento da capacidade de remoção (adsorção) dos cátions. Para isso preparou-se uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1M considerando o grau de pureza do mesmo (97% P.A.). Para proceder com o tratamento, a cada grama de fibra adicionou-se 25mL de solução deixando o sistema sob agitação constante à temperatura ambiente durante 3h (Figura 12). Em sequência, realizou-se a lavagem do material com água destilada utilizando filtro a vácuo até que o pH se equilibrasse na faixa de 7 a 8 (Figura 13). Após esse procedimento, o bagaço foi seco em estufa com recirculação forçada de ar e temperatura na faixa de 75°C e 80°C por aproximadamente 4h.

**Figura 12** - Bagaço de cana-de-açúcar imerso em solução de NaOH



Fonte: Autores, 2018.

**Figura 13** - Lavagem do bagaço de cana em filtro à vácuo



Fonte: Autores, 2018.

#### 4.3. ENSAIOS DE TRATAMENTO DO EFLUENTE

O sistema de filtração de fluxo ascendente em leito fixo foi montado a partir de uma bomba peristáltica com fluxo contínuo de 100 mL/min, mangueiras (especificação) e cartuchos nos quais foram acondicionados a areia, o carvão ativado granular e o bagaço de cana-de-açúcar, respectivamente (Figura 14).

**Figura 14** - Sistema de filtração de fluxo ascendente em leito fixo



Fonte: Autores, 2018.

O primeiro teste de tratamento foi realizado em triplicata com a amostra de efluente bruto, sem nenhum ajuste, por cerca de 30 minutos. Após seu término, coletou-se uma alíquota de 2mL do efluente tratado para submeter a digestão ácida, conforme realizado na caracterização do efluente, e posterior análise do teor de ferro, cor e turbidez.

Os testes subsequentes, também em triplicata, foram realizados em três diferentes etapas com variação das faixas de pH, onde definiu-se trabalhar com pH 2, pH 3 e pH4, respectivamente. O pH das amostras foi ajustado a partir da acidificação do meio com ácido nítrico 10%.

Os parâmetros de massa utilizados para os meios filtrantes estão descritos na tabela 2 a seguir e foram determinados aliando fatores como a eficiência de filtração que é influenciada pela quantidade de material filtrante disponível e problemas oriundos de compactação dos filtros.

**Tabela 2** - Ensaio em diferentes faixas de pH

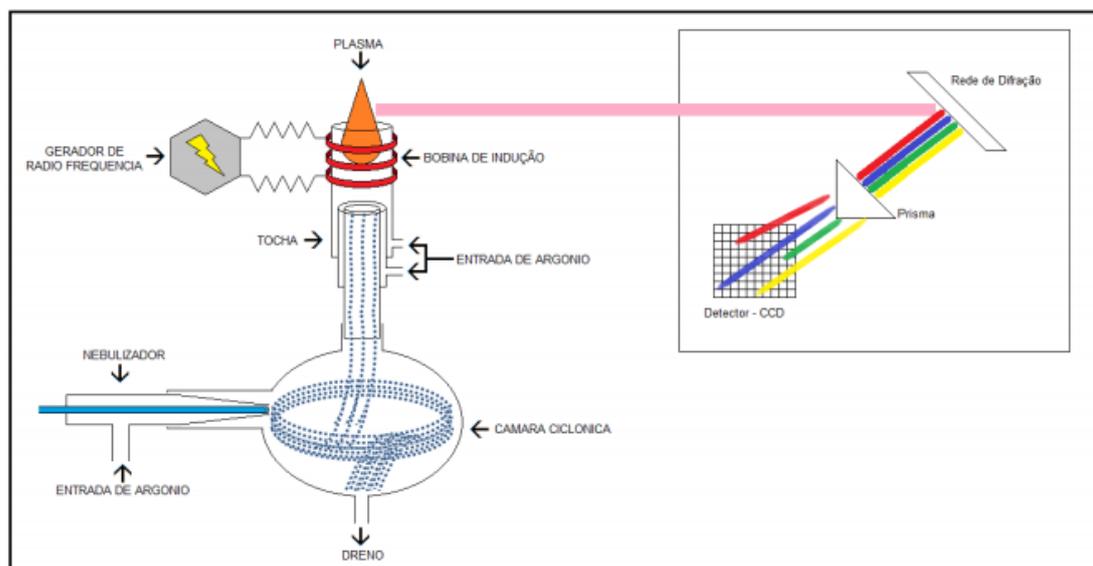
pH	Amostra	Areia (g)	Carvão (g)	Biomassa (g)
<b>7,65</b>	1	18,016	6,832	0,601
	2	18,007	6,805	0,607
	3	18,011	6,803	0,603
	Média	18,011	6,813	0,604
	Desvio Padrão	0,004	0,016	0,003
<b>2,00</b>	1	18,020	6,830	0,610
	2	18,010	6,813	0,600
	3	18,019	6,818	0,609
	Média	18,016	6,820	0,606
	Desvio Padrão	0,005	0,009	0,005
<b>3,00</b>	1	18,018	6,827	0,609
	2	18,014	6,813	0,604
	3	18,010	6,817	0,607
	Média	18,014	6,819	0,606
	Desvio Padrão	0,004	0,007	0,002
<b>4,00</b>	1	18,008	6,812	0,601
	2	18,010	6,802	0,607
	3	18,003	6,803	0,608
	Média	18,007	6,806	0,605
	Desvio Padrão	0,004	0,005	0,004

Fonte: Autores, 2018

#### 4.4. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FERRO

Para determinar a concentração final de ferro nas amostras de efluente tratado utilizou-se o equipamento de espectroscopia de emissão atômica com fonte de plasma (Figura 15). Seu princípio de funcionamento baseia-se na identificação do elemento por meio de seu espectro de emissão.

**Figura 15** - Mecanismo do espectrômetro de emissão atômica com fonte de plasma



Fonte: Lima, 2016.

A amostra é vaporizada e suas ligações químicas são rompidas, ocorrendo a atomização e excitação de seus elementos constituintes. Assim, os íons no estado gasoso emitem radiações eletromagnéticas com comprimento de onda característicos nas regiões do UV-Vis e, posteriormente, retornam ao seu estado fundamental (LIMA, 2016).

As configurações eletrônicas peculiares a cada elemento químico, faz com que cada um tenha comprimentos de onda de absorção e emissão de radiação eletromagnética específicos, tornando esta técnica instrumental uma das mais eficientes para determinação de metais em solução (LIMA, 2016).

O equipamento foi previamente calibrado com o branco e soluções padrões de ferro de concentração conhecida iguais a 1, 2, 4 e 10 ppm, respectivamente. E o comprimento de onda utilizado na análise foi de 371,993 nm.

Obteve-se a equação da reta e o coeficiente de correlação:

$$\text{Intensidade} = 14162,68 \times \text{Concentração} - 8,17$$

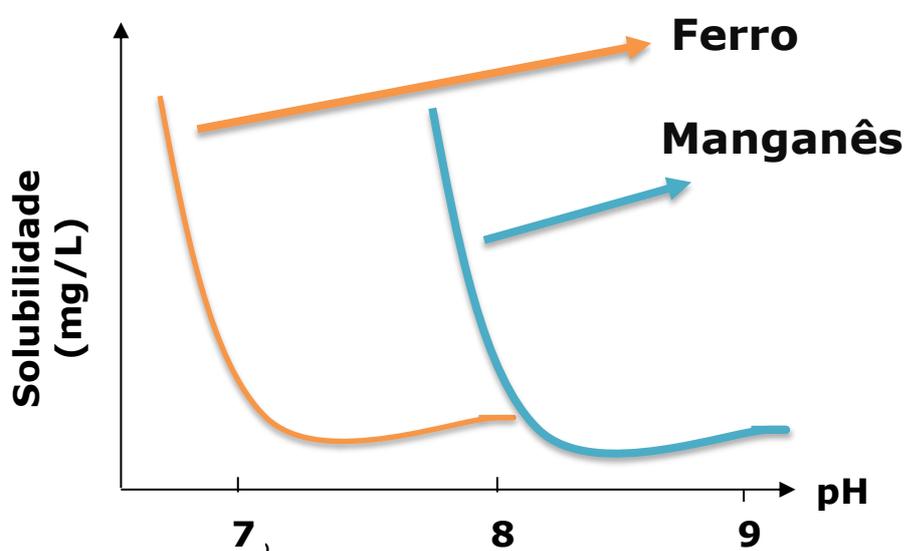
$$\text{Coeficiente de correlação} = 0,99970$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES FAVORÁVEIS AOS ENSAIOS

O efluente coletado na empresa que apresentou pH 7,65, indicou sobretudo a presença de íon férrico, que comumente apresenta-se na forma insolúvel como demonstrado a seguir:

**Figura 16** - Curva de solubilidade de ferro e manganês em função do pH

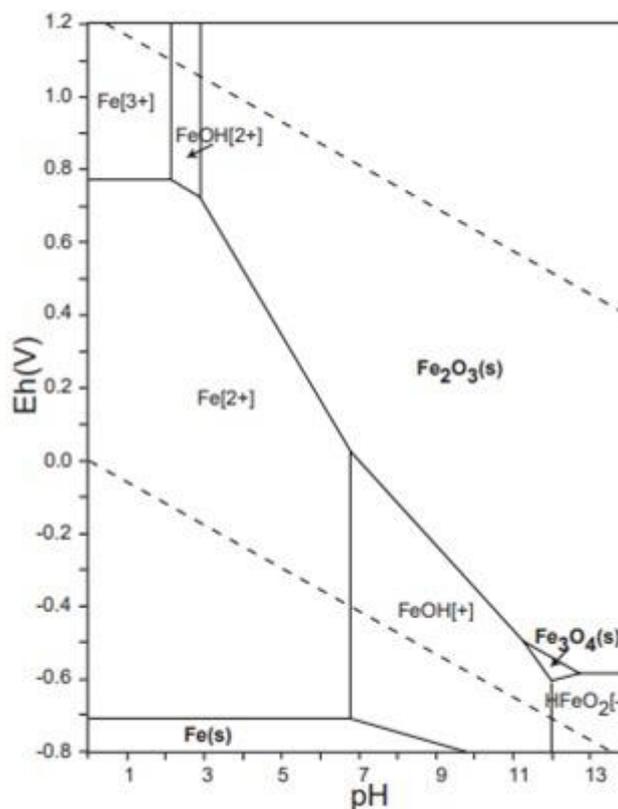


Fonte: Ecohouse, 2018.

Através da análise do gráfico conclui-se que acima de pH 7,00 há uma queda expressiva na solubilidade do ferro. E para promover condições favoráveis a filtração adsortiva acidificou-se o meio a fim de deslocar a reação para formação de íon ferroso e proporcionar resultados satisfatórios à remoção do metal.

Correlacionando as informações fornecidas pelo Diagrama de Pourbaix (Figura 17), foram definidas as faixas de pH utilizadas nos ensaios. O Diagrama permite visualizar a relação do pH com o potencial eletroquímico das espécies, onde observa-se a dinâmica entre suas fases aquosa (solúvel) e sólida (insolúvel) que se refere a sua solubilidade (VINAUD, 2018).

**Figura 17** - Diagrama de Pourbaix para o ferro



Fonte: Takeno, 2005.

Nota-se que na faixa de pH 7 e 8 predomina-se a ocorrência de óxido de ferro III, insolúvel. Desse modo, dentro desta faixa as espécies catiônicas não se encontram devidamente solúveis dificultando o processo de adsorção pela biomassa.

No rejeito analisado, a ocorrência dos óxidos de ferro, pode ser justificada pela presença dos pigmentos que compõem as tintas. O óxido de ferro III, por exemplo, é representado pela hematita que, quando em pó, torna-se avermelhada.

## 5.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS SOBRE A RESPOSTA PORCENTAGEM DE REMOÇÃO DE ÍONS FERRO.

Ao realizar a caracterização do efluente bruto a média de concentração de ferro obtida foi de 136 ppm nos 50mL de extrato analisado. Então, partindo-se

dos cálculos de diluição determinou-se a concentração de ferro no extrato primário equivalente a 3400 ppm, o que corresponde a 61,2 g de Fe a cada 18L de efluente.

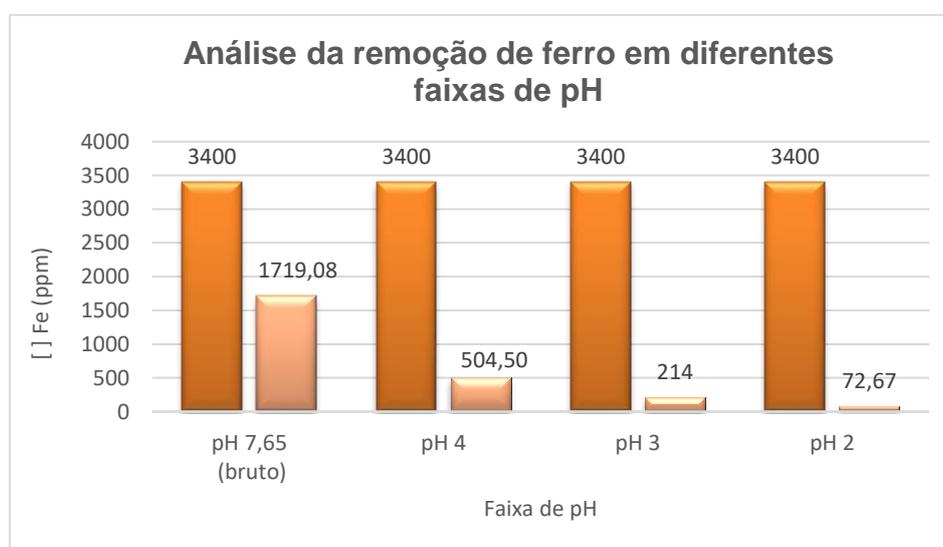
Determinada a concentração final de ferro nas amostras, obteve-se os resultados expressos na tabela e gráficos abaixo:

**Tabela 3 - Resultados dos ensaios realizados**

Amostra	pH	[ ] <sub>1</sub> (ppm)	V <sub>1</sub> (mL)	[ ] <sub>2</sub> (ppm)	V <sub>2</sub> (mL)	Desvio Padrão
1	7,65	63,29	50	1023,25	2	
2	7,65	61,97	50	1549,25	2	501,45
3	7,65	81,03	50	2025,75	2	
1	2,00	1,59	50	39,75	2	
2	2,00	4,25	50	106,25	2	33,25
3	2,00	2,88	50	72	2	
1	3,00	8,56	50	214	2	
2	3,00	8,33	50	208,25	2	5,75
3	3,00	8,79	50	219,75	2	
1	4,00	22,09	50	552,25	2	
2	4,00	21,36	50	534	2	57,52
3	4,00	17,09	50	427,25	2	

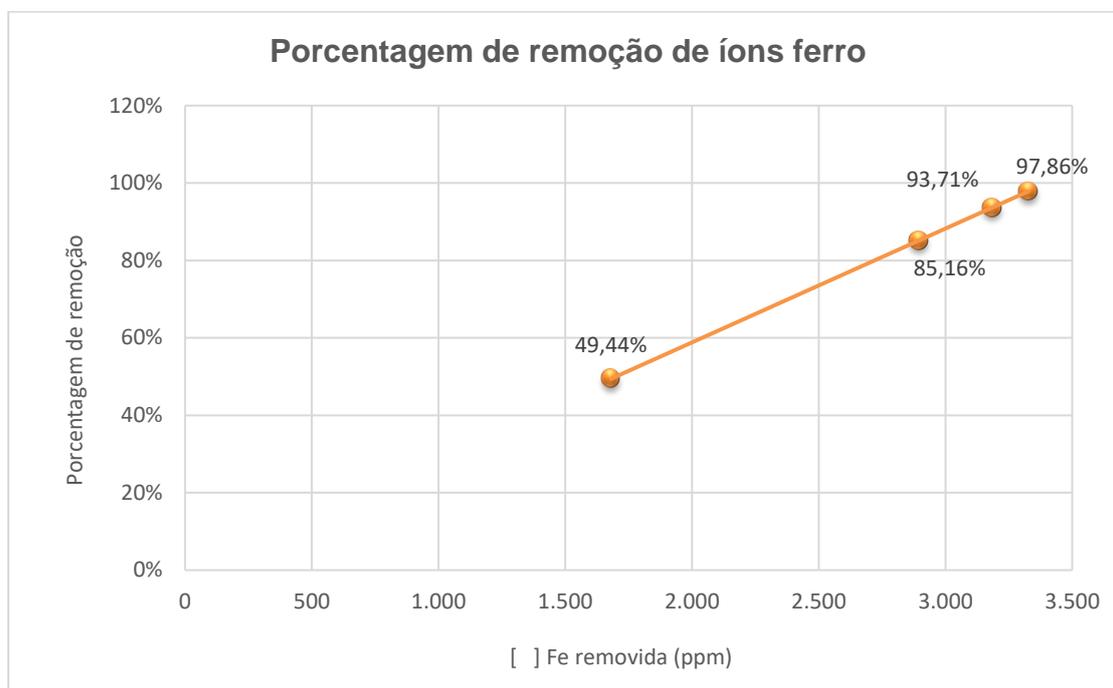
Fonte: Autores, 2018

**Figura 18 - Gráfico de análise de remoção de ferro em diferentes faixas de pH**



Fonte: Autores, 2018

**Figura 19** - Gráfico da porcentagem de remoção de íons ferro



Fonte: Autores, 2018

Diante do exposto, observa-se que em pH 2,00 obteve-se a maior taxa de remoção de ferro (97,86%), seguido das faixas de pH 3 e 4. Logo, o tratamento apresentou melhor desempenho quando a amostra de efluente encontrava-se acidificada.

### 5.3. AVALIAÇÃO DOS MATERIAIS FILTRANTES E ADSORVENTES

O tratamento químico da biomassa com hidróxido de sódio foi realizado a fim de promover o aumento da capacidade de biossorção do bagaço. A lavagem da biomassa favorece a aderência dos cátions ( $Fe^{2+}$ ) quando considerado o ponto de carga zero do material.

Scheufele et al. (2015) analisaram o bagaço de cana encontrando PCZ (ponto de carga zero) 6,00. Já Oliveira (2016) que avaliou o ponto de carga zero de alguns materiais biossorventes *in natura* e tratado em diferentes soluções, encontrou para o bagaço de cana-de-açúcar *in natura* PCZ igual a 4,60. Portanto, quando a biomassa entra em contato com uma solução de pH maior que seu PCZ

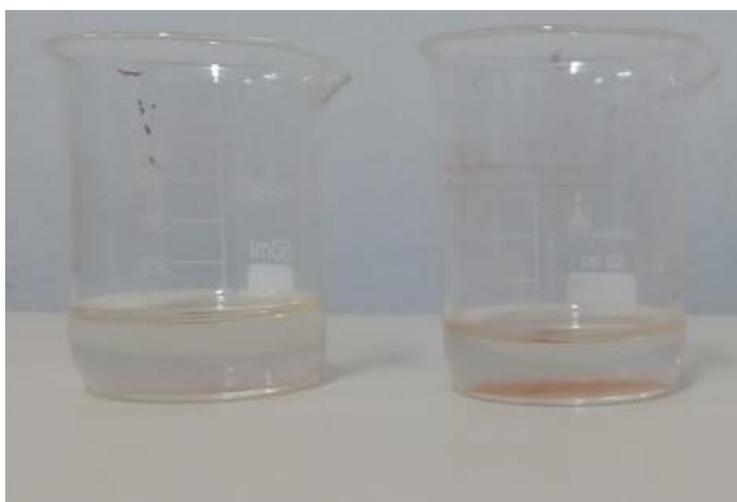
ocorrem alterações nos grupamentos superficiais do material, como a perda de cargas positivas. Assim, a superfície da biomassa é carregada negativamente, favorecendo a adsorção de cátions.

A respeito da capacidade adsortiva da cana pode-se concluir que foi necessário um baixo tempo de residência no filtro para que os resultados fossem satisfatórios.

O estudo realizado por Carvalho *et al.* (2005) mostra que em concentrações maiores que  $1\text{mg.L}^{-1}$  de Fe, o equilíbrio desloca-se para a adsorção, possibilitando então uma rápida adsorção pelo bagaço quando a concentração de equilíbrio é atingida em 5 minutos para uma concentração inicial de  $4\text{mg.L}^{-1}$  e de 10 minutos para  $10\text{mg.L}^{-1}$ .

A adição de carvão ativado e areia ao sistema proporcionou bons resultados em relação a retenção de compostos orgânicos e particulados, conferindo expressiva diferença na cor do efluente tratado (Figura 20).

**Figura 20** - Amostras do efluente pós-tratamento em pH 2



Fonte: Acervo dos Autores, 2018.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados obtidos pode-se concluir:

- A união do processo de filtração comum ao processo de adsorção demonstrou-se favorável para o tratamento do efluente analisado, podendo-se observar com clareza as vantagens em relação a remoção de sólidos suspensos e remoção da cor.

- Em pH 2 obteve-se a melhor resposta ao tratamento com taxa de remoção de ferro, em relação a sua concentração inicial, de aproximadamente 97,8%, pois nesta faixa de pH a solubilidade dos íons ferro favoreceu a adsorção dos mesmos pela biomassa. Entretanto, mesmo após o tratamento a concentração de ferro ainda ficou acima do limite estabelecido pelos órgãos governamentais para o correto descarte do efluente.

- O bagaço de cana demonstrou uma rápida e efetiva adsorção para o metal ferro na concentração inicial avaliada, reafirmando o estudo realizado por Carvalho *et al.*

- Os materiais filtrantes, areia e carvão, podem passar por lavagem específica para assim serem reutilizados, condição esta que diminui impactos ambientais.

Buscando otimizar o processo para adequar a concentração final de ferro à legislação, recomenda-se para trabalhos futuros o desenvolvimento de um projeto de filtro com dimensionamento dos parâmetros ideais ao sistema.

Além disso, sugere-se o estudo do resíduo biomassa e ferro oriundos do processo de tratamento para utilização como insumo agrícola destinado à incorporação de micronutrientes no solo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAFATI (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tinta). **O setor de tintas no Brasil**. Disponível em: < <https://www.abrafati.com.br/indicadores-do-mercado/numeros-do-setor/>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

BARROS, D. C.; CARVALHO, G.; RIBEIRO, M. A. Processo de biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão. **Revista Biotecnologia & Ciência**, v.6, n.1, p.01-15, 2017.

BUCKERIDGE, M. S.; SANTOS, W. D.; SOUZA, A. P. Routes for cellulosic ethanol in brazil. **Sugarcane bioethanol — R&D for Productivity and Sustainability**, São Paulo: Editora Edgard Blücher, p.365-380. 2014.  
[http://dx.doi.org/10.5151/BlucherOA-Sugarcane-SUGARCANEETHANOL\\_37](http://dx.doi.org/10.5151/BlucherOA-Sugarcane-SUGARCANEETHANOL_37)

CARVALHO, M. N. et al. **Remoção do ferro da água potável da grande Recife por adsorção em materiais naturais: fase II – avaliação comparativa da baronesa com o bagaço de cana-de-açúcar**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTA, 23., 2005, Campo Grande/MS. **Anais.... Campo Grande/MS: Abes, 2005.** p. 1 - 13. Disponível em: <<file:///C:/Users/w8.1/Desktop/TCC/REMOÇÃO DO FERRO DA ÁGUA POTÁVEL.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2018.

**CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS (CENPEM)**. 2017. Disponível em: <<http://cnpem.br/brasil-planeja-despoluir-a-agua-utilizando-bagaco-da-cana/>>. Acesso em: 28 dez 2018.

CONSECANA. **Manual de Instruções**. 5 ed. Piracicaba: Consecana, 2006.

DANTAS, A. D. B. et al. Remoção de cor, de ferro e manganês em água com matéria orgânica dissolvida por meio de pré-oxidação, coagulação, filtração e adsorção em carvão ativado granular. **Revista DAE**, v. maio, n.186, p. 46-55, 2011.

DEMIRBAS, A. Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: A review. **Journal of Hazardous Materials**, v.167, p.1–9, 2009.

ECOHOUSE. **Tratamento de água: remoção de Fe e Mn**. 18 slides, color.

EL-SAYED, H. E. M.; EL-SAYED, M. M. H. Assessment of Food Processing and Pharmaceutical Industrial Wastes as Potential Biosorbents : A Review. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, v. janeiro 2014, p.1–24, 2014.

FOLZKE, C. T. **Estudo da remoção de alumínio de água para abastecimento utilizando quitosana**. Florianópolis: UFSC, 2013. 138 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2013.

FRANCISCHETTI, J. **Remoção de metais pesados em efluentes líquidos através da filtração adsortiva**. 2004. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

KARNITZ JÚNIOR, O. Adsorption of Cu(II), Cd(II), and Pb(II) from aqueous single metal solutions by mercerized cellulose and mercerized sugarcane bagasse chemically modified with EDTA dianhydride (EDTAD). *Carbohydrate Polymers*, Kidlington, v. 77, n. 3, p. 643–650, 2009 b.

KAWAHIGASHI, Flávia. **Aplicabilidade do pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário por adsorção em carvão ativado granular e avaliação ecotoxicológica**. 2012. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

KUYUCAK, N.; VOLESKY, B. Biosorbents for recovery of metals from industrial solutions. **Biotechnol Letters**, v.10, n 2, p.137 -142, 1988.

<https://doi.org/10.1007/BF01024641>

LIBANIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 2.ed. Editora Átomo. 444 p. 2008.

LIMA, A. F. **Desenvolvimento de métodos para a determinação de metais em diferentes partes do cultivo da soja: solo, fertilizante, tecido foliar, farelo e óleo**. 2016. 115 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

LORENA, J. et al. **Biosorption heavy metals: a review**. v. 3, n. 1, p. 137–149, [s.d.].

MATISUOKA, S. BRESSIANI, J. MACCHERONI, W. FOUTO, I. **Bioenergia de cana**. 2016. cap 20. p. 547-572. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/299605199\\_Bioenergia\\_de\\_cana\\_book\\_chapter](https://www.researchgate.net/publication/299605199_Bioenergia_de_cana_book_chapter)>. Acesso em: 29 nov. 2018.

MELLO, V. M; SUAREZ, P. A. Z. As Formulações de Tintas Expressivas Através da História. **Revista Virtual de Química**, v.4, n.1, p.2-12. 2012.

MERIÇER C. et al. Atmospheric plasma assisted PLA/microfibrillated cellulose (MFC) multilayer biocomposite for sustainable barrier application. **Ind. Crops Prod.**, v.93, p. 235-243. 2016.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ms, 2006. 212 p. (B). Disponível em: <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia\\_controle\\_qualidade\\_agua.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf)>. Acesso em: 16 ago. 2018.

MONTEIRO, R. A. et al. **Uso das fibras de coco na biossorção de chumbo em águas residuárias industriais**. In: VI Congresso de Meio Ambiente da AUGM. São Paulo: AUGM AMBIENTE, 2009.p. 1 – 15.

MURTH, N. A., HELLER, M., LIBÂNIO, L. Filtração lenta em areia como alternativa tecnológica para o tratamento de águas de abastecimento no Brasil. In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: **ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 1997. p. 1542-1556.

OLIVEIRA, F. M. **Resíduos agroindustriais como adsorventes para remoção de azul de metileno em meio aquoso**. 2016. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Química, Unidade Acadêmica Especial de Física e Química, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2016.

OLUYEMI, E. A. et al. A comparative study of the removal of heavy metal ions from synthetic wastewaters using different adsorbents. **Adsorption Science & Technology**. v. 27, p. 493- 502, 2009

PAZ, E. C.; **Análise da eficiência de remoção de ferro e manganês de águas de abastecimento por filtração adsortiva**. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016. 123 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2016.

PEREIRA NETO, A. et al. Alternativas para o tratamento de efluentes da Indústria Galvânica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.13, n.3, p.263-270. 2008.

RIBEIRO, G. A. C. et al. **Casca de arroz in natura e tratada com ácido nítrico como adsorventes para remoção do corante têxtil violeta brilhante remazol**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 51., 2011. São Luís. Anais... São Luís, 2011.

RODRIGUES, L. D. **A cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis: impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação.** 2010. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Especialização em Análise Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010. Disponível em: <<http://atividaderural.com.br/artigos/5601927a79cad.pdf>>. Acesso em: 9 out. 2018.

RUTHVEN, D. M. **Principles of Adsorption and Adsorption Process.** New York: John Wiley & Sons, 1984

SALCEDO, Juan C. et al. Processo da retrolavagem em filtros de areia usados na irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 6, p.1226-1237, dez. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162011000600020&script=sci\\_abstract&lng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162011000600020&script=sci_abstract&lng=pt)>. Acesso em: 21 nov. 2018.

SCHMIDT, C. G. **Desenvolvimento de filtros de carvão ativado para remoção do cloro da água potável.** 2011. 90 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28835/000768731.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 09 out. 2018.

**SEMAD.** Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

SHREVE, R.N.; BRINCK Jr., J.A. **Indústria de processos químicos.** 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. 717p.

SILVA, J. V. **Tratamento de Efluentes da Indústria de Tintas Através de Reação de Fenton Associado ao Processo de Sedimentação**. 2012. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Unidade Acadêmica do Centro de Tecnologia Maceió, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

SILVA, N. C. **Adsorção de antibióticos em meio aquoso utilizando diferentes adsorventes**. 2015. 179 f. Tese (Doutorado) – Curso de Química dos Materiais, Faculdade de Engenharia - Unesp - Campus Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2015. Disponível em: <<http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/cathedra/18-06-2015/000837208.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

SOARES, M. S; et al. Utilização do bagaço de cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. **Nutritime**, Revista Eletrônica, v. 12, p.3837-3855, jan. 2015. Mensal. Disponível em: <[http://www.nutritime.com.br/arquivos\\_internos/artigos/ARTIGO287.pdf](http://www.nutritime.com.br/arquivos_internos/artigos/ARTIGO287.pdf)>. Acesso em: 09 out. 2018

SOUSA FILHO, J. W. **Tratamento de água para consumo humano**. Uberaba, 2018. 59 slides, color

TAKENO, N. **Atlas of Eh-pH diagrams: Intercomparison of thermodynamic databases**. Geological Survey of Japan. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2005

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – ÚNICA. Setor sucroenergético. São Paulo: [s.n.], 2013. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/linha-do-tempo/>>. Acessado em: 16 mai. 2018.

VINAUD, L. U. P. **Remoção de íons cálcio e magnésio do rejeito da mineração de rocha fosfática, empregando cascas de banana, batata e fibra da casca de coco como materiais biossorventes**. 2018. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Inovação Tecnológica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 452p. 2005.

MONTEIRO, R. A. et al. **Uso das fibras de coco na bioissorção de chumbo em águas residuárias industriais**. In: VI Congresso de Meio Ambiente da AUGM. São Paulo: AUGM AMBIENTE, 2009. p. 1 – 15.

SCHEUFELE, F. B.. et al. **Aplicação do bagaço de cana-de-açúcar como material adsorvente na remoção do corante reativo azul 5G**. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis: Edgard Blücher, 2015. p 1-9. DOI: 10.5151/chemeng-cobeq2014-0891-22778-169487.