

MEMBRANA FILTRANTE A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA DE AÇÚCAR PARA CORRIGIR TURBIDEZ DA ÁGUA DO RIO DOCE AFETADA PELO DESASTRE DA SAMARCO

Gessiane Costa Tamagnoni¹
Ingrid Oreste da Silva²
Laryssa Souza Santana³
Mariana de Jesus Lima⁴

RESUMO

A cana de açúcar é uma planta muito cultivada no Brasil desde o ano de 1975. Sua produção obteve crescimento acelerado após o estabelecimento do Proálcool (2003) (Programa de Incentivo à Produção do Etanol e seu Uso como Combustível Automobilístico), o que fez com que sua produção saltasse de 100 milhões para 220 milhões de toneladas por ano. A cana de açúcar possui elevada importância para a economia do país, que se alavancou por volta de 1993 com as exportações. A partir deste período a produção cresceu continuamente, sendo uma importante fonte de renda para a mão de obra rural. Um quarto de cada tonelada de cana que é processada, corresponde a massa de bagaço gerada pelo processo extrativo. Embora já possua algumas finalidades no mercado a quantidade de bagaço descartada indevidamente ainda é exorbitante, o que faz com que o bagaço excedente seja depositado em pátios de usinas ocupando grandes áreas e causando impactos ao meio ambiente e danos à população. A presente pesquisa trata-se de um estudo sobre a eficiência do processo de filtração utilizando uma membrana filtrante constituída de bagaço da cana de açúcar, utilizada com o intuito de corrigir a turbidez da água do rio doce, afetado pelo desastre da Samarco na cidade de Colatina-ES. O aparato de filtragem foi construído a partir do bagaço de cana de açúcar, um subproduto advindo desta matéria prima cultivada em larga escala nas regiões norte, nordeste e centro sul do Brasil, utilizada em sua maioria em usinas sucroalcooleiras, ou seja, na produção de etanol e açúcar. Tomando a necessidade de encontrar uma nova alternativa sustentável para este subproduto, a membrana foi construída com a finalidade de ser utilizada em um sistema de filtração de forma a realizar um pré-tratamento da água, com objetivo de reduzir a turbidez da água do rio Doce, facilitando as próximas etapas do processo de potabilidade. A membrana vem se destacando por possuir alta capacidade de separação para qualquer fluido de baixa viscosidade contaminado com partículas em suspensão. Os resultados demonstraram que a membrana filtrante construída neste trabalho atendeu às expectativas apresentando resultados satisfatórios. A membrana construída nas condições de eficiência maximizadas reduziu a turbidez do efluente de 10,10 NTU para 5,49 NTU, demonstrando zonas de estabilidade de filtração nos limites de 7,14 ml de efluente por grama de fibra de bagaço.

PALAVRAS CHAVE: Sustentabilidade. Biodegradável. Purificação.

¹ Graduanda em Engenharia Química pela Faculdade Norte Capixaba de São Mateus.

² Graduanda em Engenharia Química pela Faculdade Norte Capixaba de São Mateus.

³ Graduanda em Engenharia Química pela Faculdade Norte Capixaba de São Mateus.

⁴ Mestre em Energia e graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal do Espírito Santo.

ABSTRACT

The Sugarcane is a very cultivated plant in Brazil since 1975, its production has had an accelerated increasing after the proalcohol (Ethanol's production incentive program and its use as a automobile fuel), which helped its production to jump from 100 million to 220 tons a year. Sugarcane has an elevated importance for the country's economy, which was increased around 1993 with the exports. From this period on the production grew continuously, being an important source of income for the rural workforce. A quarter of each ton processed corresponds to the pulp generated by the extractive process. Even though it's already has some finalities in the Market, the quantity of discarded pulp still is exorbitant, which makes the surplus be deposited in mill's courtyards therefore. Taking huge spaces and causing impacts to the environment and to the population. The given research refers to the study of efficiency in the filtration process using a filter membrane composed by Sugarcane pulp, used to correct the turbidity of the water in Rio Doce affected by the Samarco disaster in Colatina, ES. The filter equipment was built from the sugarcane pulp, a byproduct come from this raw material cultivated on a large scale in the north, northeast and South center regions of Brazil, used for the largest part in sugarcane alcohol companies, looking for the necessity of finding a new sustainable alternative for this byproduct. The membrane was built to be used in a filtration system in order to pre-treat water, with the aim of reducing Rio Doce's turbidity making it easier the next steps in the potability process. The membrane has been succeeding because of its high capacity when it comes to separating any low viscosity fluid contaminated with suspended particles. The results show that the filter membrane built in this work have fulfilled all the requests showing a satisfying outcome. The membrane built in this conditions of maximized efficiency reduced the sample's turbidity from 10,10 NTU to 5,49 NTU, showing stability in filtration zones with samples of 7,14 mL per gram for a gram of pulp fiber.

KEY-WORDS: Sustainability. Biodegradable. Purification.

1 INTRODUÇÃO

A produção de cana-de-açúcar no Brasil tem como objetivo atender às necessidades e metas ligadas à produção de etanol do mercado consumidor interno e externo.

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma planta que apresenta elevada importância econômica. Além de ser de fácil manejo, seu produto (caldo) e subproduto (bagaço) são utilizados como matéria-prima para produção de cachaça, rapadura, açúcar, etanol, energia elétrica, ração animal e adubo (MACEDO, 2008).

Após o processo de extração do caldo, passado por várias etapas de moagem, é produzido um resíduo conhecido como bagaço. Romero (2007) explica que para cada tonelada de cana são geradas cerca de 0,25 toneladas de bagaço.

Segundo a Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo (FAPESP) 2017, a cada ano, sobra uma quantidade acima de 10 milhões de toneladas deste material. Na busca por alternativas para reutilizar o bagaço de cana-de-açúcar, subproduto advindo da cana moída nas usinas sucroalcooleiras, é realizada a queima do bagaço nas caldeiras para geração de energia e vendido como alimento para ruminantes.

Mesmo sendo utilizada para essas atividades, grande quantidade de bagaço acaba sendo descartada de forma incorreta, nos pátios das empresas, devido sua produção em grande escala. Desta forma, surgiram estudos para analisar possibilidades de inovações tecnológicas com o bagaço, desenvolvendo suporte para novos projetos de

Reaproveitamento. Uma usina sucroalcooleira é autossuficiente de energia, pois obtém potência necessária para movimentar a fábrica pela queima do bagaço. Uma usina projetada e operada adequadamente sempre produzirá bagaço em excesso (COMIN, 2010).

Como ainda não se aplicam técnicas de reciclagem a essa grande quantidade de resíduo, o mesmo acaba sendo descartado em áreas vagas da usina, onde seu despejo além de ocupar grandes territórios, pode causar impactos ambientais, conseqüentemente, acarretar danos a população local (GROENWOLD, 2010). O que antes era considerado descarte vem sendo transformado em matéria prima para outras finalidades, com fator de importância elevado e com custo baixo.

No dia 5 de novembro de 2015, o rompimento da barragem da mineradora Samarco (empresa fruto da sociedade entre as empresas Vale do Rio Doce e a anglo-australiana BHP Billiton), na cidade de Mariana, no estado de Minas Gerais, despejou sessenta bilhões de litros de rejeitos de mineração de ferro ao longo de mais de 500 km na bacia do rio Doce, a quinta maior do Brasil. Possui extensão de 879 quilômetros e suas nascentes estão em Minas, nas Serras da

Mantiqueira e do Espinhaço. O dano ambiental de tamanho irreparável tem como um dos mais graves efeitos do despejo do rejeito nas águas, o assoreamento pela lama de rios e riachos da bacia do rio Doce. A avalanche de rejeitos gerada no estado de Minas Gerais pelo rompimento causou danos ambientais imensuráveis e irreversíveis (JACOBI, 2015).

A contaminação da bacia hidrográfica do rio Doce pelos rejeitos elevou consideravelmente os níveis de turbidez da água, tornando-a imprópria tanto para o consumo humano como para a agropecuária (LOPES, 2016).

Mazza (2013), realizou centenas de experimentos que comprovam a eficácia do bagaço de cana para purificar a água. Esta matéria prima é muito mais barata do que o carvão ativado promovendo um processo com resultados semelhantes de purificação. A matéria prima que está sendo muito utilizada no momento, o bagaço de cana, foi descoberta a partir de propriedades funcionais para diversos outros tipos de produtos, que podem ser feitos com um custo benefício mais acessível, o que o torna viável para produzir uma membrana para filtração, capaz de realizar correção de turbidez de águas poluídas.

Empresas que trabalham com os subprodutos advindos da cana, na maioria das vezes realizam o descarte desse material de forma incorreta por conterem uma quantidade excessiva de bagaço. Dessa forma, foi pensado numa membrana filtrante oriunda desse resíduo para correção de turbidez da água do Rio Doce.

Partindo do princípio de que a sustentabilidade passou a ser uma necessidade para a vida humana, o projeto retrata justamente o reaproveitamento do bagaço. Levando em consideração a fauna e a flora prejudicadas pelo desastre da Samarco que completou 2 anos no último dia 05 de novembro, ainda é pouco o que se sabe sobre projetos de recuperação em andamento do Rio Doce. A membrana filtrante foi desenvolvida e testada afim de mitigar níveis elevados de turbidez da água, conforme exige o Ministério de Saúde.

Com a realização deste trabalho objetivou-se comprovar a eficiência do bagaço de cana no tratamento da água com alto teor de turbidez, atingida pela lama da

Samarco após o rompimento da barragem localizada na cidade de Mariana, Minas Gerais.

Segundo Mazza (2015), o bagaço da cana já processada, pode retirar corantes de águas contaminadas resultantes de processos industriais na fabricação de tintas. Também conseguiu comprovar que o pó do bagaço da cana retira até 80% do corante da água contaminada. Ele afirma que esse procedimento com o resíduo pode ser usado para a retirada de cor, metais, carga orgânica, efluentes industriais e todo o processo que usa o carvão ativado para tratamento de água.

Devido ao alto nível de materiais em suspensão da água do Rio Doce, que antes do incidente o grau não passava de 100 NTU (unidade de turbidez) e após, chegou a atingir níveis acima de 100.000 NTU (IBAMA, 2016), o tratamento convencional da água para consumo humano se tornou complexo.

O estudo também abrange o desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento de efluentes industriais, que são os resíduos produzidos pelas indústrias, diminuindo assim os custos do tratamento e criando alternativas ambientalmente sustentáveis.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa é uma atividade voltada para a investigação de problemas teóricos ou práticos por meio do emprego de processos científicos. Ela parte, de uma dúvida ou problema e, com o uso do método científico, busca uma resposta ou solução. (Cervo L., Amado; Bervian A., Pedro; Silva, Roberto. 2007, p 57.)

A natureza da pesquisa é aplicada, direcionada para a produção de conhecimento que tenha aplicação prática e solução de problemas reais, de forma a abordar o problema quantitativo, por meio de análises e posteriormente, classificá-las. O objetivo da pesquisa exploratória permite maior envolvimento do pesquisador com a pesquisa relacionada, podendo buscar embasamento caso haja necessidade para aprimorar ideias, e posteriormente com procedimentos técnicos experimentais, construindo hipóteses relacionadas a assuntos de pouco

conhecimento específico envolvido e selecionar variáveis que poderiam influenciar, definindo formas de controle.

A pesquisa exploratória, designada por alguns autores como pesquisa quase científica ou não científica, é normalmente o passo inicial no processo de pesquisa pela experiência e um auxílio que traz a formulação de hipóteses significativas para posteriores pesquisas. Realizando descrições precisas da situação e querendo descobrir as relações existentes entre seus elementos, esse tipo de pesquisa requer um planejamento bastante flexível para possibilitar a consideração dos mais diversos aspectos de um problema ou de uma situação. (Cervo L., Amado; Bervian A., Pedro; Silva, Roberto. 2007, p 63.)

Assim, o subproduto da cana de açúcar foi coletado no alambique situado no município de Montanha-ES. O mesmo foi trazido para o laboratório da Faculdade Norte Capixaba – MULTIVIX São Mateus-ES e em seguida, a fibra foi emergida em solução alcalina de NaOH com concentração de 0,5 mol/L por 24 horas, com o objetivo de neutralizar os ácidos originados da reação de decomposição da fibra e também promover uma leve desidratação para melhor compactar a membrana na prensa.

Posteriormente, foi feita a secagem em estufa microprocessada de secagem de marca Quimis modelo Q317M-32 – 118/220 V, a uma temperatura de 130°C para retirar o máximo de água do subproduto, obtendo-se um material totalmente seco. Pesou-se em uma balança de precisão semianalítica de marca Bel, 15 g, 25 g e 35 g de bagaço para ser feita a prensagem.

Para formar a membrana, prensou-se manualmente 15 g, 25 g e 35 g de bagaço com auxílio de um êmbolo de aço inox AISI-304 com aproximadamente massa de 3 kg, até que apresentasse volume uniforme. Em seguida, foi prensado 25 g de bagaço a 0,35 e 2,0 toneladas força (tnf) em prensa hidráulica de marca Contenco modelo I-30311A.

A montagem do filtro com as membranas foi feita com auxílio de um funil de Büchner de 7 cm de diâmetro interno, adaptado a um cano de PVC possuindo 6,9 cm de diâmetro externo, sendo utilizado como forma, de modo que foi

encaixado o cano ao funil de Büchner, onde foi posicionada a membrana. Na saída do filtro, foi colocado um kitassato, armazenando a água filtrada.

Antes da filtração da água, foi lavado a membrana com água destilada até que a turbidez do líquido filtrado se tornasse menor ou igual a turbidez do mesmo antes da filtração, para esse procedimento foi utilizado uma bomba a vácuo Primatec de modelo 131B.1/4 CV.1720 RPM, 0,18 KW a fim de agilizar o processo. Esse procedimento se fez necessário para que não houvesse vestígios de impurezas na membrana, que venham causar erros na exatidão da leitura de turbidez das amostras.

Uma amostra de 20 L de água coletada no Rio Doce na região da cidade de Colatina-ES, afetada pelos rejeitos de minério, foi trazida para o laboratório da Faculdade MULTIVIX São Mateus-ES. Foi realizada uma análise para conhecer o nível de turbidez inicial do efluente, utilizando um turbidímetro de marca Dellab modelo DLT-WV. A turbidez foi novamente analisada após a passagem da amostra pelo filtro. Posteriormente, os dados obtidos foram comparados e caracterizados por meio de tabelas e gráficos, demonstrando que a capacidade filtrante da membrana, mesmo se tratando de um processo de filtração simples, alcançou resultados significativos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A cana de açúcar acompanha o Brasil desde a época da colonização, sendo um dos principais produtos cultivados. Após o processo de industrialização obtêm-se produtos como açúcar e os mais variados tipos de álcool (anidro e hidratado), o vinhoto e o bagaço (COMIN, 2010).

Segundo a Conab (2012), na safra de janeiro de 2011, a área plantada de cana-de-açúcar foi de aproximadamente 8 milhões de hectares. A produtividade média foi de 77.798 Kg/há. Com a necessidade de um uso sustentável do excedente de bagaço de cana-de-açúcar, oportunidades de inovações surgiram.

Dentre as formas de tratamento primário para a remoção de poluentes, está a filtração, que se baseia no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas

de dimensões até menores que as dos poros da camada filtrante (BRANDÃO, 2003).

Para que ocorra um processo de filtração é necessário que se tenha um meio filtrante, objeto pelo qual as impurezas serão retidas. No cenário econômico atual, existem diversos tipos e configurações de filtros, dependendo sempre do fluido a ser filtrado, aplicação, temperatura, entre outras informações importantes que precisam ser avaliadas para a determinação do meio filtrante adequado. Entre os meios filtrantes mais utilizados estão as membranas (AQUINO, 2011).

No rompimento da Barragem do Fundão, estima-se que 39,2 milhões de m³ de rejeitos de minério tenham percorrido os Rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce até desembocar no Oceano Atlântico. O *tsunami* de lama afetou diversas comunidades ribeirinhas mineiras e capixabas pelo caminho. Contaminou a água que abastecia as cidades próximas, tirou o trabalho de pescadores que dependiam dos rios para sobreviver, matou animais e plantas (Revista VEJA, 2017).

A principal causa natural da turbidez na água dos rios é a erosão do solo, que quando em época das chuvas, faz com que uma quantidade de matéria sólida seja disposta na água, conseqüentemente, fazendo com que a água do Rio Doce apresente uma turbidez alta em períodos chuvosos (FUNDAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS, 2017).

3.1 INDÚSTRIA DA CANA DE AÇÚCAR NAS USINAS

O cultivo da cana-de-açúcar e a produção de seus derivados estão intimamente ligados à própria história e ao desenvolvimento do Brasil. Primeiramente transformada em açúcar, a cana-de-açúcar ocupa um importante papel na economia, colocando o Brasil como líder mundial na produção de açúcar e álcool (KAWA, 2015).

Dos principais insumos obtidos com a cana, o açúcar foi o primeiro produto a ser produzido no Brasil pela indústria sucroalcooleira. Segundo boletim da Agência

de Informações da Embrapa (2012), projeções de médio e longo prazo indicam que o consumo mundial de açúcar continuará aumentando. Este crescimento poderá chegar a cerca de 21% até 2015, atingindo 176 milhões de toneladas.

O aumento da produção e a busca pela melhoria da qualidade do produto final, agregados à tecnologia e ao crescimento das plantações de cana-de-açúcar, causam uma enorme geração de resíduos, sendo os principais: bagaço e o vinhoto. Estes resíduos podem ser denominados como subprodutos, desde que sejam aproveitados de maneira eficiente (EIT, 2006).

Existe, atualmente, uma boa integração entre as áreas agrícolas e industriais das usinas, permitindo aperfeiçoar toda a cadeia produtiva nas unidades mais bem gerenciadas. Segundo a Embrapa (2009), a cana pode ter dois destinos distintos: usina de açúcar e/ou álcool. No processo de produção de ambos, tem-se as seguintes etapas industriais:

- Lavagem, preparação, moenda ou difusão da cana;
- Extração do caldo e tratamento;
- Fábrica de açúcar;
- Destilaria de Etanol;
- Estocagem do bagaço;
- Distribuição do produto.

A cultura da cana, assim como toda atividade agrícola, gera sempre algum impacto no meio ambiente, na medida em que emprega recursos naturais como água e solo, e faz uso de insumos e defensivos químicos, como fertilizantes e praguicidas. Dentre eles pode-se citar: redução da biodiversidade causada pelo desmatamento e pela implantação da monocultura, expansão da fronteira agrícola para áreas de proteção ambiental, alteração da qualidade do ar e clima da região pela prática das queimadas (RODRIGUES, 2010).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) nº 01 de 23/01/86, no artigo 1º, define impacto ambiental como:

“(…) qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente (…) resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afete: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições sanitárias e estéticas do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais”.

Atualmente, o bagaço da cana após processamento vem sendo reutilizado na usina em forma de energia, mesmo assim ainda há um excedente, com isso objetiva-se queimar o máximo de bagaço nas caldeiras, mais que o necessário para que não haja sobras. Porém, unidades sucroalcooleiras são autossuficientes em energia, conseqüentemente ainda há uma grande sobra desse subproduto nas usinas (FERREIRA, 2010).

O subproduto da cana contém fibra constituída por celulose, que forma o conhecido bagaço. Sua composição química pode variar, mas não apresenta grande discrepância, então pode-se admitir as seguintes composições: carbono 47%, oxigênio 44%, hidrogênio 6,5% e cinzas 2,5% (COMIN, 2010).

A estocagem do bagaço tem sido uma grande problemática para as usinas, por conter uma densidade alta, torna-o uma matéria prima muito volumosa. Não é indicado deixá-lo ao ar livre porque fermenta e apodrece, perdendo suas propriedades iniciais. Em alguns casos, há a comercialização do mesmo para a agropecuária, mas com a produção em excesso sempre há um excedente significativo (COMIN, 2010).

Pesquisas avançam para o uso desse material na filtragem de água poluída, retirada de metais pesados e tratamento de efluentes.

3.2 MEMBRANA FILTRANTE

As membranas são barreiras semipermeáveis, cuja seletividade à passagem do soluto está relacionada com o tamanho das moléculas e tamanho dos poros das mesmas. Em geral a corrente de alimentação é fracionada em duas correntes, uma de concentrado ou retido, fornada pelos componentes maiores do que os poros mínimos da membrana e outra de permeado, constituída pelos componentes menores, que atravessam a membrana (MEIRELES, 2007).

A tecnologia de separação por membrana tem se destacado quando comparados aos processos de separação convencionais, como destilação e evaporação, devido à simplicidade de operação, pelo uso de módulos compactos e baixa energia utilizada. Os processos de separação por membrana são caracterizados pela força motriz de separação e pela natureza do material retido e permeado (MEIRELES, 2007).

A utilização de subprodutos agrícolas na obtenção de materiais é uma tendência crescente, sendo os seus maiores atrativos a grande disponibilidade desses subprodutos e por serem uma matéria prima barata (CANDIDO, 2015).

A técnica utilizada para separação de um sólido para líquido ou qualquer fluido em suspensão, partindo do seu princípio básico, é conhecida com filtração. Neste processo, ocorre a passagem do líquido ou fluido através de um meio permeável, retendo as partículas sólidas. O meio filtrante mais conhecido e utilizado são as membranas, devido a capacidade de separação que filtros comuns não têm (FARRUGIA, 2013).

Membranas assimétricas são caracterizadas por possuírem uma subcamada irregular apresentando uma porosidade crescente em direção oposta à pele filtrante. Esta subcamada pode apresentar estrutura tipo esponja e/ou cavidades, que confere a estas membranas resistência mecânica e favorece um elevado fluxo permeado, quando comparada com a subestrutura de membranas densas ou simétricas. Portanto, membranas que apresentam altos fluxos permeados com manutenção de suas propriedades seletivas, são desejadas (PETRUS, MENEES, PIRES, 1998).

Segundo Bentes de Carvalho (2013), as membranas podem ser feitas de diversos materiais orgânicos e inorgânicos, tais como polímeros, cerâmicos, carbetos de silício, aço inox, dentre outros.

Segundo Luiz Fontes (2013):

“As membranas podem ser hidrofílicas ou hidrofóbicas. Os principais materiais de constituição são a celulose, o Teflon (PTFE), o polivinildifluoreto (PVDF) e a Polietersulfona (PES), mas também se utiliza Nylon, polietileno ou outros polímeros. De um modo geral, apresentam baixo índice de adsorção de proteínas e não liberam partículas. A espessura de uma membrana é de cerca de 0,1 mm, fazendo com que todas as partículas tenham que ser retidas sobre ela. Dependendo do tamanho dos poros, cada membrana recebe uma classificação e uma aplicação. Atualmente, no mercado, existem as membranas de Osmose Inversa, Ultrafiltração, Microfiltração e Nanofiltração”.

A classificação dessas membranas se dá conforme a sua porosidade. É isto que define a capacidade de separação dos sólidos a serem retidos conforme o seu tamanho (PEIG, 2011).

O engenheiro ambiental Daniel Brooke Peig (2013) explica que:

“Estes métodos de filtração diferenciam-se pelo tamanho dos compostos que são capazes de reter. De um modo geral, as membranas podem ser divididas em dois grandes grupos. As membranas densas (ou não-porosas) das quais fazem parte a Osmose Reversa e a Nanofiltração e as membranas porosas das quais fazem parte a Microfiltração e a Ultrafiltração”.

Segundo Pacheco (2013): A microfiltração (MF) constitui uma das classes de separação por membranas com uma porosidade na faixa de 0,1 a 0,2 μm . São muito utilizadas para separar material particulado em suspensão com tamanhos entre 0,1 e 10 μm .

Ultrafiltração (UF) é também conhecido como filtração molecular. É uma técnica de separação por membrana utilizada para segregar substâncias levando em consideração o peso e tamanho molecular, sendo baseada em um diferencial de pressão através da membrana semipermeável. É um processo conduzido de pressão, operando numa faixa mais baixa de 100-1.000 kPa (VIGNESWARAN, 2012)

Sendo assim, é um processo utilizado quando se deseja purificar e fracionar soluções contendo macromoléculas. As membranas de UF apresentam poros na faixa entre 1 e 100 nm, portanto mais fechadas do que as membranas de MF. Soluções contendo solutos numa ampla faixa de massa molar ($10^3 - 10^6$ Dalton)

podem ser tratadas por este processo. Como os poros das membranas de UF são menores, uma força motriz maior é necessária para obter fluxos de permeados elevados o suficiente para que o processo possa ser utilizado industrialmente. Por este motivo as diferenças de pressão através da membrana variam na faixa de 2 a 10 bar. (HABERT BORGES e NOBREGA, 2006).

3.3 ANÁLISE DE TURBIDEZ

Turbidez é definida como uma propriedade física dos fluidos que reduz a capacidade de passagem de luz através de um líquido, sendo assim expressa por meio de Unidades de Turbidez, também denominadas unidades de Jackson ou nefelométricas (Fundação Nacional da Saúde, 2014).

A turbidez pode ser medida de acordo com a quantidade de partículas que estão em suspensão, ou seja, refere-se à quantidade de materiais dissolvidos no fluido. Pode ser baixa dependendo da velocidade de escoamento da água, por exemplo, lagos e represas, terão turbidez resultante, baixa. Além da ocorrência de origem natural, a mesma, pode ser causada principalmente pelo lançamento inadequado de esgotos industriais e domésticos (FUNASA, 2014).

Segundo relatório divulgado pela ONU (2017) grande proporção de água residual ainda é liberada no meio ambiente sem ser tratada. Isso ocorre principalmente em países de baixa renda, que em média, tratam apenas 8% das águas residuais domésticas e industriais, em comparação com 70% nos países de alta renda. Muitas vezes no mesmo local em que é feito o descarte inadequado, passa a linha de captação de água para o consumo humano. Na indústria, grandes quantidades de água podem ser reutilizadas por exemplo, para aquecimento e resfriamento, ao invés de serem descartadas no meio ambiente. Até 2020, estima-se que o mercado para o tratamento de águas residuais nas indústrias aumentará em 50% (ONU 2017).

Segundo estimativas da Unesco (2015), se houver continuação com o ritmo atual de crescimento demográfico e não for estabelecido um consumo sustentável da

água, nem processos de reuso de água poluída, em 2025 o consumo pode chegar a 90%, restando apenas 10% para os outros seres vivos do planeta.

Após o rompimento da Barragem do Fundão, que elevou significativamente os níveis de turbidez da água do Rio Doce, diariamente vem sendo feitas análises de turbidez, bem como medidas protetoras da fauna na região atingida pela catástrofe, os órgãos ambientais responsáveis vêm desde o início acompanhando o ocorrido (Ministério do Meio Ambiente, 2015).

A passagem da pluma de rejeitos resultou na interrupção do abastecimento de água de 12 cidades que captavam a água diretamente no rio, estimando ter afetado 424.000 pessoas. De acordo com estudos realizados, os picos de turbidez foram registrados na medida em que a onda de rejeitos se deslocava ao longo do curso do Rio Doce, registrando valores que superaram significativamente os valores máximos históricos de dados anteriores ao evento. (Encarte sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Doce, 2015).

A coordenadora da Rede das Águas da Fundação SOS Mata Atlântica (2015) Malu Ribeiro, relata que os dados reforçam a gravidade do problema:

“Infelizmente, as chuvas acabam por arrastar mais lama para o leito do rio e a situação tende a ficar ainda mais complicada. A lama e os metais pesados não mascararam ou diminuíram as concentrações de poluentes provenientes de esgoto sem tratamento e de insumos agrícolas”.

O Rio Doce já enfrentava sérios problemas bem antes do acidente do rompimento da barragem de rejeito de minério, por consequência ao descarte sem tratamento do esgoto das cidades ribeirinhas ao rio, espera-se que com a repercussão e o monitoramento que vem sendo realizado regularmente, seja possível planejar ações de conscientização e recuperação dessa bacia hidrográfica (SOS Mata Atlântica, 2015).

A Resolução N° 357, de 17 de março de 2005, publicada no DOU N° 053, de 18 de março de 2005 nas páginas 58 e 59, vem substituir a resolução N° 20 do CONAMA, estabelecendo alguns parâmetros no que se refere à qualidade da

água para uso doméstico e industrial. No artigo 14º observa-se que a condição padrão de turbidez aceitável até 40 unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

3.4 SAMARCO

A Samarco Mineração é uma [mineradora](#) brasileira fundada em 1977 e atualmente gerida através de um controle acionário entre a [Vale S.A.](#) e a [BHP Billiton](#) Brasil Ltda, cada uma com 50% das [ações](#) da empresa. Com escritório na China e Holanda, tem um relacionamento comercial com 19 países, sendo atualmente a 10ª maior exportadora do país com um faturamento anual acima de R\$ 7,6 bilhões. Seu principal produto são as pelotas, utilizadas principalmente na alimentação dos altos-fornos em siderurgias. Por ter uma concentração maior de minério, as propriedades físicas/químicas da pelota deixam o processo mais eficiente. A partir da pelota, é produzido o aço, que vai ser usado na construção de pontes, aviões, casas, produtos eletrônicos, entre outros (Encarte sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Doce, 2015).

Os rejeitos oriundos da extração do mineiro eram estocados em três reservatórios na mina em Mariana: Fundão, Germano e Santarém. Em 2014, houve um aumento da produção e dos rejeitos, foram extraídos 25 milhões de toneladas de minério, representando um aumento de 15% na produção e 5% no faturamento em relação ao ano anterior (Encarte sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Doce, 2015).

A Samarco desempenha um papel importante na economia brasileira. Em 2015, a empresa ocupou a posição de 12ª maior exportadora do País, segundo dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC).

Na tarde do dia 5 de novembro a empresa Samarco foi responsável pelo rompimento da Barragem do Fundão, localizada na cidade histórica de Mariana (MG). Foi lançado no meio ambiente 34 milhões de m³ de lama, resultantes da produção de minério de ferro. O ocorrido resultou em um desastre de Nível IV, sendo o de maior gravidade com danos e prejuízos inestimáveis, não superáveis pelas comunidades afetadas, de acordo com a classificação adotada pela

Defesa Civil, desde então as atividades da mineradora foram embargadas (Encarte sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Doce, 2015).

De acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama, 2015) foram aplicadas [cinco multas ambientais à empresa Samarco, totalizando R\\$ 250 milhões, cada multa no valor de R\\$ 50 milhões, o máximo previsto na Lei de Crimes Ambientais \(Art. 75, lei 9.605/1998\).](#)

Desde o acontecido, a Samarco colocou em prática ações para dar assistência às pessoas envolvidas e minimizar os danos ao meio ambiente. Para firmar seu compromisso com a recuperação social, ambiental e econômica das regiões impactadas, a Samarco, juntamente com as suas acionistas Vale S.A. e BHP Billiton Brasil Ltda., assinou um Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC) em março de 2016 com os governos federais e dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. O TTAC previu a criação de uma fundação para reparar e remediar os impactos do rompimento. Desde agosto, a [Fundação Renova](#) atua no desenvolvimento dos 41 programas de reparação e reconstrução, previstos no TTAC (site da VALE, 2015).

A assinatura do termo (TTAC) prevê ações para recuperação do rio, com limite de R\$ 20 bilhões para medidas que visam a recuperação do estado anterior ao acidente da barragem e de R\$ 4 bilhões em medidas de compensação nos casos em que a recuperação não for alcançada. Foram incluídas também ações de esgotamento sanitário e projetos de produção de água e mananciais alternativos que garantam maior segurança hídrica para o abastecimento da população atingida (Encarte sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Doce, 2015).

A recuperação total dos estragos ambientais causados é prevista para 2032. Até início do ano de 2018, os estudos definitivos sobre todos os impactos serão concluídos e compartilhados com os órgãos responsáveis, de acordo com a Renova. Com as operações de extração e produção do minério embargadas, a mineradora tenta voltar as atividades provando judicialmente às autoridades que é capaz de atuar com segurança. Hoje, sobrevive de aportes de suas controladoras, que já destinaram à empresa US\$ 430 milhões (cerca de R\$ 1,41 bilhão). Antes da tragédia, a Samarco empregava cerca de 6 mil funcionários,

hoje são 1,8 mil, sendo que 800 estão com o contrato suspenso. Após dois anos, ainda há muitas perguntas sem respostas, dúvidas e muito por fazer (Revista Veja, 2017).

4 RESULTADOS/ANÁLISE DE DADOS

Os resultados das análises da água antes e depois da passagem pelo filtro estão dispostos nas tabelas 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3 no item 4.1 e tabelas 4.2.1 e 4.2.2 no item 4.2 abaixo, com intuito de verificar algumas características das membranas que possam influenciar na efetividade do processo de filtração. Dentre as características analisadas, podem-se citar a influência causada por diferentes massas (quantidade de bagaço) e diferentes formas de compactação. Ressalta-se que, foram feitas análises de turbidez em triplicata, por isso, calculou-se a média e desvio padrão para cada análise.

A turbidez apresentada pelo efluente coletado antes do processo de filtração foi de 10,10 NTU. Para obtenção deste dado o efluente foi mantido em repouso por 1 hora, a amostragem foi realizada a 20 cm de profundidade utilizando um pipetador automático de marca Optilab modelo CONTINUOUS-RS, de maneira a preservar a uniformidade da amostra coletada.

4.1 INFLUÊNCIA DA PRENSAGEM

Tabela 4.1.1: Prensagem manual - membrana com 25 g de bagaço.

Volume (mL)	Turbidez (NTU)			Média	Desvio Padrão
	Análise 1	Análise 2	Análise 3		
50	1,23	1,26	1,26	1,25	0,01
100	2,88	2,89	2,93	2,90	0,02
150	2,93	2,94	3,10	2,99	0,07
200	3,27	3,30	3,32	3,29	0,02
250	4,39	4,62	4,87	4,62	0,19
300	5,02	5,14	5,27	5,14	0,10

350	5,78	5,83	5,89	5,83	0,04
400	6,34	6,42	6,54	6,43	0,08

Fonte: O autor.

Tabela 4.1.2: Prensagem 0,35 Tonelada-força (tnf) – membrana com 25 g de bagaço.

Volume (mL)	Turbidez (NTU)			Média	Desvio Padrão
	Análise 1	Análise 2	Análise 3		
50	5,09	5,09	5,07	5,08	0,01
100	5,35	5,36	5,33	5,34	0,01
150	5,34	5,45	5,50	5,43	0,07
200	5,37	5,40	5,36	5,37	0,02
250	5,26	5,22	5,21	5,23	0,03
300	5,06	5,08	5,07	5,07	0,09
350	5,15	5,10	5,05	5,10	0,04
400	5,29	5,26	5,28	5,27	0,01

Fonte: O autor.

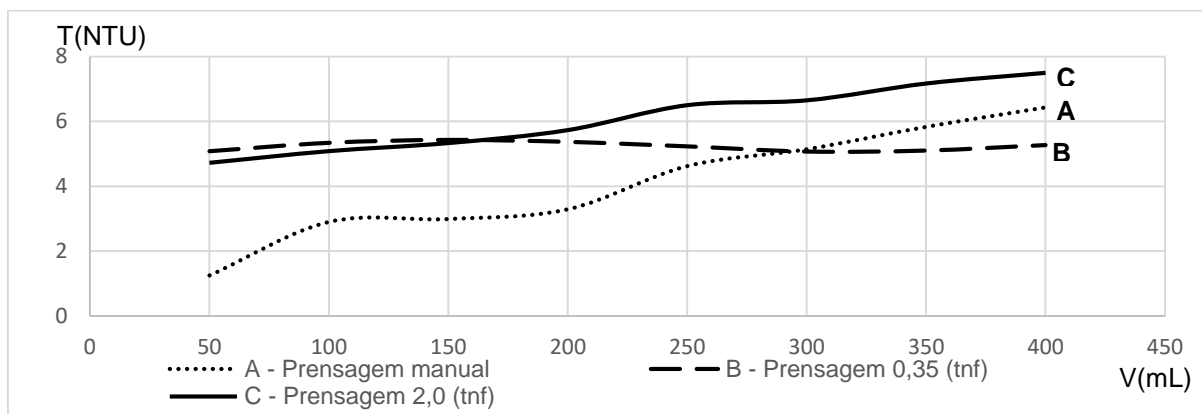
Tabela 4.1.3: Prensagem 2,0 Tonelada-força (tnf) – membrana com 25 g de bagaço.

Volume (mL)	Turbidez (NTU)			Média	Desvio Padrão
	Análise 1	Análise 2	Análise 3		
50	4,88	4,45	4,83	4,72	0,19
100	5,13	5,04	5,09	5,08	0,04
150	5,40	5,30	5,31	5,33	0,05
200	5,77	5,68	5,75	5,73	0,04
250	6,63	6,40	6,47	6,50	0,09
300	6,72	6,63	6,61	6,65	0,05
350	7,12	7,23	7,18	7,17	0,04
400	7,31	7,54	7,67	7,50	0,14

Fonte: O autor.

Com os resultados acima, foi observado que não há necessidade de deixar o bagaço em prensa por longos dias, uma pequena prensagem afim de “organizar” ou aglomerar fibras do bagaço para formar a membrana é suficiente para as mesmas reterem impurezas e fazerem com que o grau de turbidez diminua.

Gráfico 4.1.1: Comparativo da eficiência da prensagem manual, 0,35 (tnf) e 2,0 (tnf) da membrana com 25 g de bagaço.



Fonte: O autor.

Por meio dos dados obtidos no estudo da influência da prensagem descrita no item 4.1, foi possível observar que a prensagem manual trouxe os melhores resultados no tocante a eficiência da filtração. Este tipo de prensagem traz inúmeros benefícios para a utilização desta tecnologia, visto que a membrana nestas configurações apresentou menor perda de carga facilitando o fluxo do efluente que permite purificar um maior volume em menor tempo, facilitando no processo de implementação do mesmo em grande escala.

Pela análise do gráfico 4.1.1, foi possível concluir através dos resultados que a membrana apresentou uma resposta qualitativamente positiva em relação à eficácia do método quanto à retenção de partículas. Levando em consideração, a leitura inicial de turbidez do efluente de 10,10 NTU antes da passagem pelo filtro.

4.2 INFLUÊNCIA DA MASSA

Assim, optou-se por utilizar método de prensagem manual.

Tabela 4.2.1: Prensagem manual - membrana com 15 g de bagaço.

Turbidez (NTU)					
Volume (mL)	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Média	Desvio Padrão
50	5,31	5,37	5,44	5,37	0,05
100	5,49	5,56	5,72	5,59	0,09
150	5,76	5,79	5,83	5,79	0,02
200	5,87	5,93	6,96	6,25	0,50
250	6,98	7,40	7,53	7,30	0,23
300	7,57	7,78	7,89	7,75	0,13
350	7,94	8,02	8,15	8,03	0,08
400	8,20	8,28	8,32	8,27	0,05

Fonte: O autor.

A membrana de 15 g de bagaço foi desenvolvida com auxílio de um embolo, se mostrou eficiente pela análise da tabela e teve uma redução de 32,73% em relação ao valor inicial de turbidez.

Tabela 4.2.2: Prensagem manual – membrana com 35 g de bagaço.

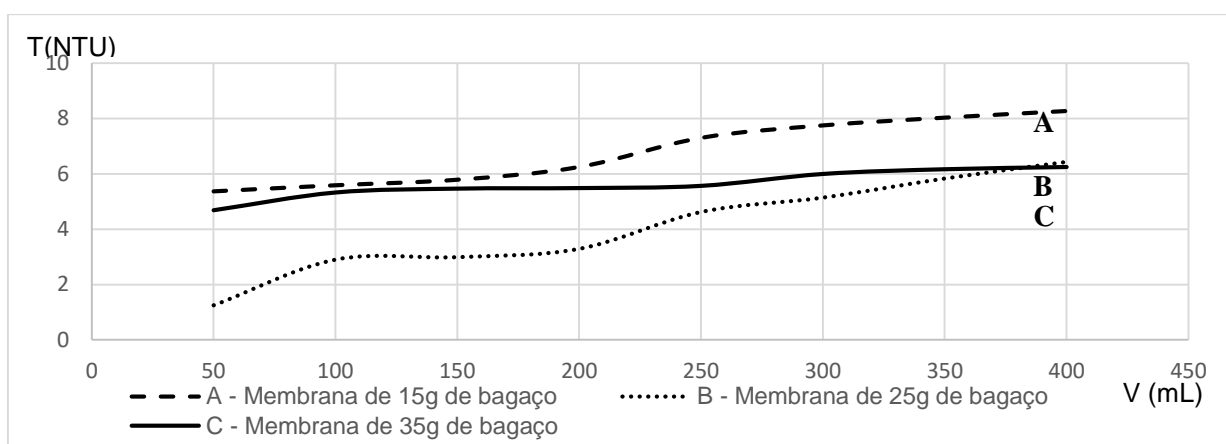
Turbidez (NTU)					
Volume (mL)	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Média	Desvio Padrão
50	4,68	4,70	4,69	4,69	0,01
100	5,34	5,34	5,33	5,33	0,01
150	5,48	5,44	5,49	5,47	0,02
200	5,49	5,47	5,50	5,49	0,012
250	5,60	5,56	5,55	5,57	0,02

300	6,09	5,98	5,95	6,00	0,06
350	6,18	6,17	6,18	6,17	0,01
400	6,31	6,23	6,25	6,25	0,03

Fonte: O autor.

A partir das tabelas 4.2.1, 4.2.3 e 4.1.1 descrita no item 4.1, foi feito um comparativo de eficiência das mesmas, demonstrada no gráfico 4.2.1.

Gráfico 4.2.1: Comparativo da eficiência das membranas de 15 g, 25 g e 35 g de bagaço.



Fonte: O autor.

Pelo gráfico, a membrana de 35 g apresentou maior eficiência nas condições experimentais, pois, mesmo com o aumento do volume do efluente filtrado, manteve a efetividade.

Nas inúmeras análises realizadas no laboratório, também se observou que com a filtração a vácuo, a membrana não apresenta eficácia quanto ao processo de separação, logo, todo procedimento de filtração da água foi feito por gravidade.

As membranas filtrantes antes de serem usadas exigem limpeza para manter seu funcionamento regular, pois as impurezas ficam retidas durante a passagem de água.

De acordo com a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, o valor máximo permitido é de 1,0 NTU para água subterrânea desinfetada e água filtrada após

tratamento completo ou filtração direta. Para água resultante de filtração lenta o valor máximo permitido é 2,0 NTU e em qualquer ponto da rede de distribuição 5,0 NTU como padrão de aceitação para consumo humano.

Pode-se afirmar que o desenvolvimento da membrana a partir do reaproveitamento do bagaço de cana é eficaz para o tratamento de água contaminada do Rio Doce. Se mostrando eficiente, assim como o projeto Filtrando as lágrimas do Rio Doce, que desenvolveu um filtro à base de areia que deixa a água transparente, própria para o uso doméstico e agrícola, apresentando 3,75 NTU de turbidez, com base na portaria do Ministério da Saúde (Miranda, 2016).

Por meio dos dados obtidos observou-se que os mecanismos de filtração apresentados que permitem a acomodação da membrana utilizando uma massa conhecida para o tratamento de turbidez da água do Rio Doce.

5 CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados apresentados, pode-se concluir a eficácia da membrana a partir do bagaço de cana, promovendo uma redução na turbidez de 52,1% em relação ao valor inicial, garantindo uma água de melhor qualidade que pode ser utilizada em reuso secundário.

Com a comprovação da alta capacidade da membrana em reter impurezas em suspensão na água, pode-se indicar a aplicação da mesma para o tratamento de água de poços artesianos, tratamento de efluentes, pré-tratamento de sistemas de dessalinização de água do mar, tratamento de água para fins industriais.

Leva-se tempo para chegar a valores exatos sobre os custos de implantação e manutenção dos processos com a membrana, para parte do tratamento de água e efluentes, já que uma solução completa exige muitas variáveis, como: capacidade das estações, necessidade de combinar mais de um processo com

membranas, grau de automação dos equipamentos, tubulações utilizadas, requisitos de pressão e temperatura, dentre outros.

O fato da membrana ser desenvolvida a partir do reaproveitamento de uma matéria orgânica e uma solução ambientalmente correta para a reutilização deste material.

Para trabalhos futuros, sugere-se: Utilização de membrana filtrante de bagaço de cana-de-açúcar para retirada de metais pesados em águas contaminadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA, **Vigilância Sanitária de Saneantes**. 2013. Disponível em: <<http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/Registro%20Saneante%20Palestra%20Visas%202013%202.pdf>> Acesso em: 02/11/2017.

BARBOSA, Bruno. VALENTINI, Carla Maria. FARIA, Rozilaine Aparecida. **Manejo ambiental da cana-de-açúcar**, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1518-70122016000300384>. Acesso em: 14/11/2017.

BRANDAO, Luiz. **Operação de Filtros Orgânicos utilizados no tratamento de Água Residuais**, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n2/v10n2a31.pdf>> Acesso em: 20/11/2017.

CARVALHO, Roberto Bentes. 2013. **Membranas de filtração, tecnologia eficiente em aplicações** diversas. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br/edicoes.asp?link=ultima&fase=C&id=880>> Acesso em: 14/11/2017.

CARLOS, José; MENEZES C., Hilary; PIRES, Alfredo. **Preparação e caracterização de membranas microporosas obtidas a partir de blendas de PVDF/PMMA**, 1998. Disponível em: <1998 <http://www.revistapolimeros.org.br/PDF/v8n1/v8n1a06.pdf>> Acesso em: 04/05/2018.

CERVO L., Amado; BERVIAN A., Pedro; SILVA, Roberto. **Metodologia científica**. 6.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. 57p.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Dimensionamento de um sistema de lavagem de bagaço de cana-de-açúcar**, 2012. Disponível em:

<<http://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2012/MBI12007.pdf>>

Acesso em: 16/11/2017.

COMIN, Marcio Rogerio. **Geração e comercialização de energia elétrica a partir do bagaço de cana**, 2010. Disponível em: <<http://www.etanol.ufscar.br/trabalhos-mta/sertaozinho-i-c/trabalhos/monografia-marcio-rogerio-comin.pdf>> Acesso em: 10/11/2017.

Encarte sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Doce, 2015. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf> Acesso em: 14/11/2017.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Processamento da cana-de-açúcar**, 2009. Disponível em: <www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_102_22122006154841.html>. Acesso em: 17/11/2017.

EIT. **Subprodutos gerados na produção de bioetanol**: bagaço, torta de filtro, água de lavagem e palhagem, 2006. Disponível em: <revistas.ufpr.br/rber/article/download/44075/pdf_72> Acesso em: 16/11/2017.

FERREIRA. **A importância da utilização do bagaço de cana-de-açúcar na geração de energia**, 2010. Disponível em: <www.salesianolins.br/universitaria/avaliacao/no5/artigo81.doc>. Acesso em: 16/11/2017.

FERREIRA J., Moacir. **Reciclagem química do bagaço de cana-de-açúcar para produção de membranas**, 2009. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp092805.pdf>> Acesso em: 04/05/2018.

FAPESP. Agencia de Notícias da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. **Seleção de reportagens sobre cana, derivados de cana e etanol**. Disponível em: <www.fapesp.br> Acesso em: 25/10/2017.

FARRUGIA, Beatriz. **Membranas de filtração, tecnologia eficiente em aplicações diversas**, 2013. Disponível em: <<http://meiofiltrante.com.br/internas.asp?id=15444&link=noticias>>. Acesso em: 02/11/2017.

FONTES, Luiz. 2013. Disponível em: <<https://bancadapronta.wordpress.com/2013/06/18/membrana-filtrante/>> Acesso em: 05/11/2017.

FUNASA, **Manual de Controle da Qualidade da Água**. 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf> Acesso em: 02/11/2017.

JACOBI, Pedro Ricardo. **A necessária compreensão das consequências ampliadas de um desastre**, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v18n4/1809-4422-asoc-18-04-00000.pdf>>. Acesso em: 22/10/2017.

KAWA, Luciane. **Resíduos da produção de cana-de-açúcar**, 2015. Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/sucroenergetico/156845-residuos-da-producao-de-cana-de-acucar.html#.WfCrdYxSzIV>> Acesso em: 25/10/2017.

LO MONACO, P.A.V.; MATOS, A.T.; SARMENTO, A.P.; LOPES JÚNIOR, A.V.; LIMA, J.T. **Desempenho de filtros constituídos por fibras de coco no tratamento de águas residuárias de suinocultura**, 2009. Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa-MG, v.17 n.6, p.473-480.

LOPES, M. N. Luciano. **O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais**, 2016. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/sinapsemultipla/article/view/11377>>. Acesso em: 02/11/2017.

MAZZA, Antônio Iris. **Bagaço de cana se revela um bom filtro de água**, 2013. Disponível em: <<http://www.greennation.com.br/noticia/bagaco-de-cana-se-revela-um-bom-filtro-de-agua/2692>> Acesso em: 15/11/2017.

MEIRELES S., Carla. **Síntese e caracterização de membranas de acetato de celulose**, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/17456/1/CSMeirelesDISPRT.pdf>>. Acesso em: 03/05/2018.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Seleção de reportagens sobre o maior acidente ambiental do Brasil**, 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agenciainformma?view=blog&id=1374>>. Acesso em: 17/06/2017.

MIRANDA, Tatiane. **Projeto filtrando as lágrimas do Rio Doce**, 2016. Disponível em: <<http://www.revistadagente.com.br/noticias/o-projeto-filtrando-as-lagrimas-do-rio-doce>>. Acesso em: 01/05/2018.

PACHECO, Claudio. **Separação por membranas**, 2010. Disponível em:<<https://www.quimica.com.br/separacao-por-membranas-caracteristicas-damicrofiltracao/>>. Acesso em: 16/11/2017.

PEIG, Daniel Brooke. **As diferenças entre nanofiltração, ultrafiltração, microfiltração e osmose**, 2011. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/3201-noticias>>. Acesso em: 20/10/2017.

Portal da Qualidade da Água, 2017. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>> Acesso em 10/11/2017.

Revista Veja. **Dois anos da maior tragédia ambiental do Brasil**. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/brasil/mariana-dois-anos-da-maior-tragedia-ambiental-do-brasil/>> Acesso em: 10/11/2017.

Resolução N° 357 do CONAMA, 2005. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 01/11/2017.

RODRIGUES, Luciana. 2010. **A cana-de-açúcar como matéria prima para a produção de biocombustível**: impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação. Disponível em: <atividaderural.com.br/artigos/5601927a79cad.pdf>. Acesso em: 15/06/2017.

ROMERO, T. **Bagaço na construção civil**. Agencia de Notícias da fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.agencia.fapesp.br/material/7211/noticias/bagaco-na-construcao-civil.htm>> Acesso em: 25/10/2017.

SAMARCO. **Água do rio doce e do mar**, 2017. Disponível em: <http://samarco.com/wp-content/uploads/2016/06/Paper_Agua_23-06.pdf> Acesso em: 06/11/2017.

SOS Mata Atlântica. **Análise da Água do Rio Doce**, 2015. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/projeto/observando-os-rios/analise-da-agua-rio-doce/>> Acesso em: 11/11/2017.

Organização das nações Unidas para Educação, Ciência e a Cultura (UNESCO). **O mundo precisara mudar consumo para garantir abastecimento de água**, 2015. Disponível em:<<http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2015-03/mundo-precisara-mudar-padrao-de-consumo-para-garantir-abastecimento-de>>. Acesso em: 10/11/2017.

Organização das Nações Unidas (ONU). **Nações Unidas pedem avanço do tratamento de águas residuais no mundo**, 2017. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/nacoes-unidas-pedem-avanco-do-tratamento-de-aguas-residuais-no-mundo/>> Acesso em: 24/10/2017.

VALE. **Fundação RENOVA**, 2015. Disponível em: <http://www.vale.com/hotsite/PT/Paginas/fundacao-renova/default.aspx?utm_source=google&utm_medium=pesquisa_paga&utm_content=text_ads_xx_xx_c3_s02&utm_campaign=samarco_2_anos&utm_term=%2Bvale%20%2Bsamarco> Acesso em: 01/11/2017.

VIGNESWARAN. **Eficiência de membranas filtrantes de nanofiltração e osmose inversa no postratamento de esgoto**, 2012. Disponível em: <https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/2312/1/Efici%C3%A4nciademembranas_Monografia.pdf>. Acesso em: 11