



**Universidade Federal do Oeste do Pará
Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas
Curso Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, UTILIZANDO FILTRO
COMPOSTO DE CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DE ENDOCARPO DE
COCO, BORRACHA DE PNEU E CAROÇOS DE AÇAÍ**

DANIEL FELIPE LIMA DE SOUSA

Santarém - Pará

2018

DANIEL FELIPE LIMA DE SOUSA

**TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, UTILIZANDO FILTRO
COMPOSTO DE CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DE ENDOCARPO DE
COCO, BORRACHA DE PNEU E CAROÇOS DE AÇAÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus de Santarém, como pré-requisito avaliativo da disciplina TCC II.

Área de concentração:

Tratamento de Águas de Abastecimento, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador:

Prof. Me. José Cláudio Ferreira dos Reis Junior

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIGI/UFOPA**

S725t Sousa, Daniel Felipe Lima de

Tratamento de água para consumo humano, utilizando filtro composto de carvão ativado produzido a partir de endocarpo de coco, borracha de pneu e caroços de açaí./ Daniel Felipe Lima de Sousa. – Santarém, 2018.

46 fls.: il.

Inclui bibliografias.

Orientador: José Cláudio Ferreira dos Reis Junior

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental.

1. Tratamento de água. 2. Carvão ativado. 3. Ferro total. I. Reis Junior, José Cláudio Ferreira dos, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 628.162

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Nome dos Autores: SOUSA, Daniel Felipe Lima de.

Título: Tratamento de água para consumo humano, utilizando filtro composto de carvão ativado produzido a partir de endocarpo de coco, borracha de pneu e caroços de açaí.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Data de aprovação:

Banca Examinadora

_____ Orientador e Presidente

Prof. Me. José Cláudio F. dos Reis Junior

Curso de Engenharia de Sanitária e Ambiental/Universidade Federal do Oeste do Pará

_____ Membro Titular

Prof. Dr. José Reinaldo Pacheco Peleja

Curso de Engenharia de Sanitária e Ambiental/Universidade Federal do Oeste do Pará

_____ Membro Titular

Prof. Me. Diani Fernanda da Silva Less

Curso de Engenharia de Sanitária e Ambiental/Universidade Federal do Oeste do Pará.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a todos que contribuíram para a conclusão deste projeto:

A minha família, em especial meus pais Dórisson e Conce, por todo o apoio, ajuda e incentivo;

Ao professor e orientador Me. José Claudio pela sua orientação que contribui de forma excepcional para o desenvolvimento deste trabalho;

A todos que fazem parte do Laboratório de Saneamento por toda ajuda no desenvolvimento deste trabalho, em especial a técnica Suelen Ramos e ao Caio Rodrigues;

Ao Prof. Dr. Lucinewton Moura, coordenador do laboratório de Química II, por ter cedido o espaço e equipamentos para a realização da pesquisa. Assim como as técnicas Jandira e Mila por toda ajuda na realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Reinaldo Peleja, coordenador do laboratório de Biologia Ambiental e a Química Flávia que ajudou na realização das análises físico-químicas;

Aos funcionários e a escola Francisca das Chagas pelas informações e pela atenção valiosa e a disponibilidade em todas as visitas feitas para realização do projeto;

E, finalmente, a todos aqueles que direta ou indiretamente dispuseram suas valiosas colaborações para a realização deste trabalho.

Resumo

SOUSA, D.F.L. **Tratamento de água para consumo humano, utilizando filtro composto de carvão ativado produzido a partir de endocarpo de coco, borracha de pneu, caroços de açaí.** 2018. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Saneamento Ambiental) – Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Oeste do Pará.

Estudar a eficiência de remoção do teor de ferro em águas de abastecimento público utilizando filtros composto de Carvão Ativado (CA) produzido a partir da utilização de borracha de pneu e endocarpo de coco (*Cocos nucifera*) e caroços de açaí. A pesquisa foi desenvolvida em cinco etapas, a primeira de definição da matéria prima do carvão, a segunda de produção de carvão ativado, a terceira de produção de protótipo de filtro, a quarta de execução dos testes e análises laboratoriais e a quinta de sistematização e análise dos dados. Para a produção do carvão ativado de pneu utilizou-se raspas da banda de rodagem de carros de passeio, que após lavadas e secas em temperatura ambiente foram submetidas ao processo de carbonização, em mufla, fixando a temperatura de 500°C por 60 minutos. Enquanto que para a produção do carvão ativado do endocarpo do coco procedeu-se inicialmente de forma similar a primeira, enquanto que nesta a variação de temperatura foi de 50°C por 2 horas e 500°C por 30 minutos. Os protótipos de filtros (três unidades) foram produzidos em PVC, com tubulação de 100mm de diâmetro, peças e conexões, com as seguintes configurações: Filtro 1 (F1) composto de CA de pneu/CA de endocarpo de coco/CA de carvão de caroços de açaí/seixo/areia, Filtro 2 (F2) composto de CA de pneu/seixo/areia, Filtro 3 (F3) composto de CA de endocarpo de coco/seixo/areia. Para a análise da eficiência das unidades foram realizadas análises laboratoriais dos parâmetros Ferro Total, Turbidez, pH, Sólidos Totais Dissolvidos, Condutividade Elétrica e Cor Aparente. Os resultados obtidos foram satisfatórios, se comparados aos padrões estabelecidos pela Portaria 2.914 do Ministério da Saúde, que estabelece os padrões de potabilidade para consumo humano. O filtro F2 (CA de pneu) apresentou 99,97% de remoção de ferro total, o filtro F3 (CA de endocarpo de coco) teve 97,71% de remoção, e o F1 (CA de caroços de açaí, pneu e coco) apresentou 86,24% de remoção do parâmetro. Em relação aos demais parâmetros, não foi observado nenhuma alteração importante. Dessa forma pôde-se constatar que a utilização dos carvões ativado estudados, demonstraram-se eficaz no objetivo principal deste trabalho que foi a remoção do teor de ferro em águas para abastecimento público.

Palavras-chave: Carvão Ativado, tratamento de água, ferro total.

Abstract

To study the efficiency of removal of iron content in public water using activated carbon filters (AC) produced from the use of tire rubber and coconut endocarp (*Cocos nucifera*) and açai seed. The research was carried out in five stages, the first one to define the raw material for coal, the second for the production of activated carbon, the third for the production of prototype of the filter, the fourth for the execution of laboratory tests and analyzes and the fifth for systematization and data analysis. For the production of the activated carbon of the tire, tire strips were used, which after washing and drying at room temperature were subjected to the carbonization process, in a muffle, setting the temperature of 500°C for 60 minutes. While for the production of activated carbon the coconut endocarp was initially similar to the first, while in this the temperature variation was 50°C for 2 hours and 500°C for 30 minutes. The prototypes of filters (three units) were produced in PVC, with piping of 100mm of diameter, parts and connections, with the following configurations: Filter 1 (F1) composed of tire AC/coconut AC/açai seed AC/pebble/sand, Filter 2 (F2) composed of tire AC/pebble/sand, Filter 3 (F3) composed of coconut endocarp AC/pebble/sand. To analyze the efficiency of the units, laboratory analyzes of the parameters Total Iron, Turbidity, pH, Dissolved Total Solids, Electrical Conductivity and Apparent Color were performed. The results were satisfactory, when compared to the standards established by Portaria 2.914 from 2011 of the Ministry of Health, which establishes the potability standards for human consumption. The filter F2 (Tire AC) showed 99.97% total iron removal, the F3 filter (coconut endocarp AC) had 97.71% of removal, and the F1 (AC of açai seed, tire and coconut) presented a 86.24% removal of the parameter. Regarding the other parameters, no significant changes were observed. In this way, it was possible to verify that the utilization of activated carbon studied was effective in the main objective of this work, which was the removal of the iron content in waters for public supply.

Keywords: activated carbon, water treatment, total iron.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Localização da área de estudo.....	20
Figura 2 – Layout da Estação piloto de tratamento de água.....	21
Figura 3 - Diagrama esquemático das etapas do trabalho experimental.	22
Figura 4 - Produção de carvão ativado de pneu.	23
Figura 5 - Produção de carvão ativado utilizando raspas de pneu.	24
Figura 6 - Produção do carvão ativado a partir de endocarpo de coco.....	25
Figura 7 – Corte longitudinal do coco.	26
Figura 8 – Produção de Carvão ativado a partir de endocarpo de coco.	27
Figura 9 – Produção de Carvão ativado a partir do caroço de açaí.	27
Figura 10 - Produção do protótipo de filtro.....	29
Figura 11 - Produção da base do protótipo de filtro	30
Figura 12 - Produção da base do protótipo de filtro	30
Figura 13 – Ponto de coleta de água bruta.....	31
Figura 14 - Amostras coletadas nos filtros 1, 2 e 3 com diferente cor aparente.	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Presença de ferro antes e pós tratamento de água.	37
Gráfico 2 - Resultados da análise de pH.....	38
Gráfico 3 - Resultado da Cor Aparente.	38
Gráfico 4 - Resultados de Análise de Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade Elétrica.	39
Gráfico 5 - Resultados de análise de Turbidez.	40
Gráfico 6 - Eficiência de remoção de ferro.....	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	Teor de Ferro em Águas Subterrâneas	14
3.2	Manancial Superficial e Subterrâneo	15
3.3	Carvão Ativado para o Tratamento de Água	16
4	MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1	Área de Estudo	20
4.1.1	Etapa 1 - Definição da matéria prima do carvão	22
4.1.2	Etapa 2 - Produção de carvão ativado	23
4.1.3	Etapa 3 - Produção do protótipo de filtro	29
4.1.4	Etapa 4 - Ensaios e análises laboratoriais	30
4.1.5	Etapa 5 - Sistematização e análise dos dados	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	Análises Físico-Químicas da Água	32
5.2	Análise da Eficiência de Tratamento do Protótipo de Filtro	37
5.3	Eficiência de Remoção do Ferro	40
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

A água tem influência direta sobre a saúde, à qualidade de vida e desenvolvimento do ser humano. É um dos elementos indispensáveis à sobrevivência, sendo uma das principais substâncias ingerida pelo ser humano. A água doce corresponde a 1% de toda a água do planeta e, em seu estado natural, representa um dos componentes mais puro, porém, esta característica vem se alterando com o passar dos anos (CUBAS, 2010).

Apesar de ser indispensável ao organismo, a água pode conter compostos inorgânicos e orgânicos que são prejudiciais a saúde humana, se não forem eliminados ou sua concentração reduzida. A maioria desses compostos aparece na água, ou seja, nos mananciais em decorrência da atividade industriais e domésticas (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

O tratamento de água para o abastecimento público é um conjunto de processos e operações com o objetivo de adequar as características físico-químicas e biológicas da água bruta, visando o consumo humano (FERNANDES, 2014). O abastecimento de água para consumo humano pode utilizar diversos tipos de mananciais para captação de água (FUNASA, 2006), sendo que as águas provenientes de manancial superficial devem ser submetidas a processo de filtração.

De acordo com Tsutyia (2006), a água subterrânea representa aproximadamente 95% das reservas de água doce disponível no planeta, no entanto a mesma pode apresentar quantidade elevada de substâncias químicas como o ferro. O ferro é um dos metais mais abundantes do planeta terra ficando atrás apenas do alumínio, sendo este encontrado com maior frequência nas águas subterrâneas (RICHTER; AZEVEDO NETO, 2011). A presença do teor elevado de ferro configura-se como o problema quando interfere na qualidade da água, dessa forma acaba por limitar a sua utilização.

Como solução ao problema, a adsorção em carvão ativado tem sido usada como uma etapa complementar ao tratamento de água convencional, para remoção de substâncias causadoras de cor, odor e sabor (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Para Madeira (2003), o processo mais efetivo para remoção de compostos de ferro e manganês solúveis é a oxidação e posterior filtração. A oxidação pode ser realizada por processo de aeração ou de cloração. A filtração pode ser realizada por um filtro de areia e/ou carvão.

O carvão ativado (CA) é um material carbonáceo e poroso preparado pela carbonização e ativação de substâncias orgânicas, principalmente de origem vegetal. São utilizados extensamente para a adsorção de poluentes em fases gasosas e líquidas, como suporte para catalisadores, na purificação, de vários compostos, no tratamento de água e de efluentes (BRUM, 2007).

O carvão ativado também pode ser utilizado na remoção de íons ferro da água. Segundo Madeira (2003), comenta que de remoção de ferro foi recentemente proposto, no qual o carvão ativado atua como catalisador, sendo que a oxidação acontece na superfície do carvão ativado, onde o oxigênio está adsorvido.

Justifica-se este estudo pela relevância de se obter soluções práticas frente à problemática do elevado teor de ferro na fonte de abastecimento alternativa da escola Francisca das Chagas. O objetivo de estudo desta pesquisa foi a estação piloto de tratamento de água presente na escola, composta por aerador de tabuleiro, seguido de filtro e cloração de água, servindo como base de estudo para outros trabalhos como de Filho e Filho (2017).

A estação piloto tem estrutura em madeira com duas plataformas para sustentação do aerador a dois metros do nível do solo. A composição das peças do conjunto aerador e filtro, têm como principal matéria prima a fibra de vidro. A escolha deste local como objeto de estudo e implantação da estação piloto de tratamento de água, foi devido à presença de elevada concentração de ferro (maior que 3mg/L), na água para abastecimento.

Neste contexto, o estudo proposto neste trabalho busca analisar a viabilidade da utilização de carvão ativado na remoção do teor de ferro em água de abastecimento público da estação de tratamento de água da escola municipal de Ensino Fundamental Francisca das Chagas, em Santarém, Pará. Desta forma este trabalho propôs a construção de protótipos de filtro para acompanhar a viabilidade da utilização de carvão ativado a partir da utilização de raspas de pneu, endocarpo de coco e caroços de açaí, como opções de meios filtrantes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar a eficiência de remoção do teor de ferro em águas de abastecimento público utilizando filtro composto de carvão ativado produzido a partir da utilização de borracha de pneu, endocarpo de coco (*cocos nucifera*) e caroço de açaí.

2.2 Objetivos específicos

- Produzir e utilizar carvão ativado obtido a partir de tiras de pneu, endocarpo de coco e caroço de açaí.
- Produzir protótipo de filtro para análise da água utilizando carvão ativado.
- Realizar análises físico-químicas;
- Determinar a eficiência de tratamento do filtro.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Teor de Ferro em Águas Subterrâneas

Segundo Lima (2003), o ferro é o elemento telúrico mais abundante, compondo 30% da massa total do planeta. Constitui 80% do núcleo e é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre, depois do oxigênio, silício e alumínio. Ao lado do alumínio é o mais importante elemento metálico no ambiente terrestre. Uma pequena parte ocorre no estado livre (sendo de origem meteórica), mas a maior parte aparece combinada com oxigênio, silício ou enxofre.

Na água, o ferro pode ocorrer na forma iônica ou complexada, como íon di ou trivalente, em estado coloidal ou disperso. O ferro ocorre na forma iônica (ferro II) se a água estiver livre de oxigênio ou em pH abaixo de 3. Em condições de aerobiose, íons ferrosos são convertidos a íons férricos que, por sua vez, formam hidróxidos de ferro insolúveis (APHA/AWWA, WEF, 1998).

No solo e em minerais o ferro está presente principalmente como óxido férrico insolúvel, já o manganês, como dióxido mangânico. As formas de carbonatos insolúveis como siderita (FeCO_3) e rodocrosita (MnCO_3), também são frequentes (WALDE, 1985). Quando o ferro se oxida pela aeração ou por aplicação de cloro, os minerais se precipitam de forma a apresentar uma coloração avermelhada a preto na água (MORUZZI e REALI, 2012).

A presença do teor elevado de ferro configura-se como o problema quando interfere na qualidade da água, dessa forma acaba por limitar a sua utilização. Segundo Alves Oliveira, Schmidt e Freitas (2004) o organismo humano pode consumir até 19 mg de ferro diariamente, mas o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, exigem que para água de abastecimento público o valor máximo seja de 0,3 mg/l, essa limitação foi estabelecida devido a alterações estéticas associadas à presença do ferro na água e ao sabor que o ferro atribui a água.

Câmara (2016) acrescenta que o excesso de ferro provoca alterações estéticas que envolvem a cor avermelhada quando exposta ao ar (processo de oxidação), atribui gosto metálico e amargo na água, gera incrustações nas tubulações e reservatórios, beneficia o desenvolvimento de bactérias advindas do ferro, como a *Spyrophyllum ferrugineum* e a *Gallionella ferriginea*. Zimbres (2000) acrescenta que o ferro ao oxidar mancha louças

sanitárias, azulejos, roupas pelo processo de precipitação. De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais CPRM (1997) o ferro contribui na formação das hemoglobinas do organismo humano.

3.2 Manancial Superficial e Subterrâneo

De acordo com a Fundação Nacional de Saúde FUNASA (2006), os mananciais podem ser classificados de acordo com sua origem, podendo ser águas superficiais que são caracterizadas como toda a água que escoar na superfície terrestre abrangendo os rios, lagos, reservatórios artificiais, córregos e ribeirões; águas subterrâneas que compreende a água que se encontra totalmente abaixo da superfície terrestre, envolvendo os lençóis freáticos rasos e profundos; e águas meteóricas, que consiste em toda a água existente na natureza em forma de chuva, neve e granizo.

As águas subterrâneas executam um papel fundamental no ciclo hidrológico da região Amazônica (Galvão et al. 2012). Apresenta normalmente em seu estado natural excelentes condições, podendo ser utilizadas para diversos fins, como para o consumo humano, domésticos, agrícolas e industriais. Segundo Azevedo (2006), na região amazônica, é crescente a exploração de água subterrânea, devido apresentar praticidade e vantagens econômicas quanto a sua captação, além da grande disponibilidade hídrica da região.

Miranda (2007) acrescenta também que por escassez hídrica, os desequilíbrios da oferta de água às populações, a questão da disponibilidade e os conflitos pelo seu uso, a água subterrânea vem adquirindo um importante e relevante papel como fonte de abastecimento por conta de fatores que limitam o emprego de águas superficiais, como também ao elevado custo por sua captação, adução e tratamento. O autor também comenta que a água subterrânea vem sendo adotada como uma escolha viável aos usuários apresentando um crescente uso, alcançado por meio de poços bem localizados e construídos.

As águas superficiais raramente estão livres de contaminação, mesmo nas bacias de mananciais com pouca ou nenhuma presença humana. Segundo Urban (1999), a ocupação desordenada de uma bacia provoca grandes alterações na qualidade da água gerada por atividades humanas (produção de esgotos) e impurezas trazidas pelo escoamento das

águas das chuvas, ou atividades rurais, como a presença de agrotóxicos, de grande volume de sedimentos erodidos ou de dejetos de animais.

Em contrapartida, águas subterrâneas possuem teores maiores de sais em solução quando comparadas as águas superficiais, já que estão em contato direto com materiais solúveis do solo e das rochas, assim podendo interferir na qualidade da água (CARVALHO et al., 2005; ZIMBRES, 2000).

Os aquíferos de Santarém são constituídos por areias finas a média do Quaternário e areias e arenitos de granulação fina a grossa e cascalhos da Formação Alter do Chão do Cretáceo. Os corpos hídricos subterrâneos alcançam profundidades de 480 m e são formados por uma sequência de grupos arenosos, sendo permeáveis e alturas variáveis, intercaladas sobrepostas (TANCREDI, 1996).

As características físico-químicas das águas subterrâneas permitem que esse recurso seja cada vez mais requerido para abastecimento público e alternativo por apresentar menor custo de captação e melhor qualidade quando comparada com a captação de águas superficiais, que para torná-la potável é necessário que se faça um tratamento convencional ou avançado, ao contrário das águas subterrâneas que, na maioria das vezes, um tratamento simplificado, como a desinfecção, já assegura as condições necessárias para consumo humano, estabelecidas pela Resolução nº 2.914 do Ministério da Saúde de 2011 (LEMOS, 2015).

3.3 Carvão Ativado para o Tratamento de Água

Historicamente o uso de carvão é bem remoto, sendo impossível definir exatamente sua origem. O carvão, carvão vegetal ou parte desvolatilizada de materiais carbonáceos, já era empregado como material absorvente antes mesmo de utilizar o que chamamos hoje de carvão ativado (BANDOSZ, 2006; PEREIRA, 2010).

O carvão ativado é um material carbonáceo, com estrutura altamente porosa, proporcionando uma elevada área superficial, de forma a possibilitar a adsorção de moléculas tanto em fase líquida como gasosa. Suas propriedades dependem da matéria-prima, do processo e do tempo de ativação utilizados, além da forma final do carvão (distribuição dos tamanhos de seus poros e também da geometria e tamanho da molécula do adsorvato) (YUSO et al., 2013).

De acordo com Carvalho (2005), o uso de carvão ativado por adsorção tem sido muito utilizado para a remoção de metais pesados, como os resíduos de: casa do grão do algodão, o sabugo de milho, pó de serra de coqueiro, casca do cacau, casca de jaca, bagaço de cana-de-açúcar, restos de couro e entre outros; todos os resultados com carvões foram satisfatórios para a remoção dos íons metálicos em soluções aquosas.

Para realizar a produção do carvão ativado é necessário passar por duas etapas, a carbonização pela pirólise do resíduo utilizado e a ativação de fato. A primeira etapa consiste na carbonização que é processo de tratamento térmico do precursor em atmosfera inerte a temperatura superior a 200°C. Nesse processo, há a remoção de componentes voláteis e gases leves como CO, H₂, CO₂, e CH₄, resultando em uma massa de carbono fixo e uma estrutura porosa primária, ou melhor, poros muitos finos e fechados, e com pequena capacidade de adsorção (BRUM, 2007). Após o processo de pirólise ocorre a ativação. Esse segundo processo consiste em submeter o material já carbonizado a um segundo momento que tem como objetivo aumentar a porosidade do carvão que se dá pela ativação química ou física. Na ativação física, o material é perolisado a temperatura acima de 500°C.

O carvão ativado, produto a qual será utilizado, vem sendo atualmente alvo de inúmeras pesquisas visando sua aplicação, eficiência e versatilidade na absorção de vários compostos orgânicos não biodegradáveis. No entanto, o uso generalizado deste material é restrito devido aos elevados custos associados ao mesmo, tornando assim, necessária a pesquisa de absorventes de baixo custo e ampla disponibilidade (Dias et al., 2009).

O estudo e desenvolvimento da produção de carvão ativado proveniente das mais diversas matérias primas, tais como: caroço de açaí, cascas de coco, madeira, ossos, resíduos de petróleo, pneus, entre outros, visa principalmente à reutilização de resíduos sólidos originados dos mais diversos seguimentos produtivos, com o objetivo principal de reutilização e reintrodução destes resíduos abundantes na utilização para produção de carvão ativado (RESENDE, 2011).

Rodrigues Junior (2013) realizou estudo com objetivo produzir carvão ativado a partir do caroço de açaí a fim de utilizá-lo no tratamento de água para o consumo nos bairros periféricos da cidade de Moju/Pa, bem como nas comunidades ribeirinhas próximas da cidade é realizado, uma vez que a maioria do consumo da população é direto da torneira sem o tratamento adequado. Nesta 25

pesquisa foi produzido o CA pelo processo químico de ativação em que foi impregnado 2 kg do caroço de açaí em 2 litros de solução ativante em concentração comum de 40g/l de hidróxido de sódio (NaOH) e água, em forno de barro para a ativação. Foi constatado pelos pesquisadores que o carvão produzido, diminuiu de modo expressivo os valores de todos os parâmetros analisados e ficaram com o padrão de potabilidade da água estabelecido pelo Ministério da Saúde.

Outra investigação dessa natureza foi a realizada pela Leal (2003), que consistiu na utilização como adsorvente o pó do mesocarpo do coco verde. O coco foi coletado, posteriormente seco a 60°C, em seguida triturado em moinho de faca e também tratado com albumina (40mg/L de água) durante 24 horas que removeu o tanino. O processo foi realizado em um sistema de banho finito com uma solução sintética do corante Remazol Black B que operou em um ambiente de 30°C à pressão atmosférica. Os resultados mostraram que houve uma capacidade baixa de absorção do Remazol Black B sobre o mesocarpo de coco verde, quando comparado a outros adsorventes já existentes na literatura.

No estudo de Carvalho (2005) foi utilizado o bagaço da cana-de-açúcar com o objetivo de adsorver ferro em uma solução contaminada, sendo que esse bagaço foi coletado, depois cortado em pedaços e lavado com água destilada, posteriormente seco à 80°C em estufa e triturado em moinho de faca; tratado com peróxido de hidrogênio. Os resultados mostraram que o bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente apontou o aumento de adsorção.

Claudino (2003) estudou a turfa da região de Araranguá (SC) como carvão ativado para avaliar características texturas e químicas, e ser usado como adsorvente para remoção de fenol em solução aquosa e de NO em fase gasosa. A turfa ativada no processo de adsorção ocorreu sob banho termostatizado com agitação por 24 horas, com as isotermas de adsorção de fenol foram determinadas à temperatura de 298K. O resultado do estudo apontou que a turfa tem uma grande capacidade de adsorção, outro ponto importante é o baixo custo do processo e aplicabilidade da turfa.

A utilização de carvões ativados no processo de tratamento da água data de milhares de anos, quando os egípcios, por volta de 1550 a.C., empregavam o carvão de madeira para a purificação da água para fins medicinais e de potabilidades (CLAUDINO, 2003).

A adsorção em carvão ativado tem sido usada como uma etapa complementar ao tratamento de água convencional. É um dos adsorventes mais eficientes. (FERNANDES, 2014). Conforme Claudino (2003), aplicação de carvão ativado pulverizado (CAP)

diretamente para o tratamento de água se constitui em uma melhor alternativa para remoção de compostos orgânicos causadores de gosto, cor e odor na água. Já a aplicação do carvão ativado granular (CAG) é recomendada sua utilização após a filtração ou como meio filtrante da água.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

O Trabalho foi desenvolvido na Escola Municipal de Ensino Fundamental Francisca das Chagas, localizada na comunidade de Urumanduba, situada na região do Planalto, a cerca de nove quilômetros da área central de Santarém, com acesso pela Rodovia PA 370 - Km 08, conforme apresentada na Figura 1.

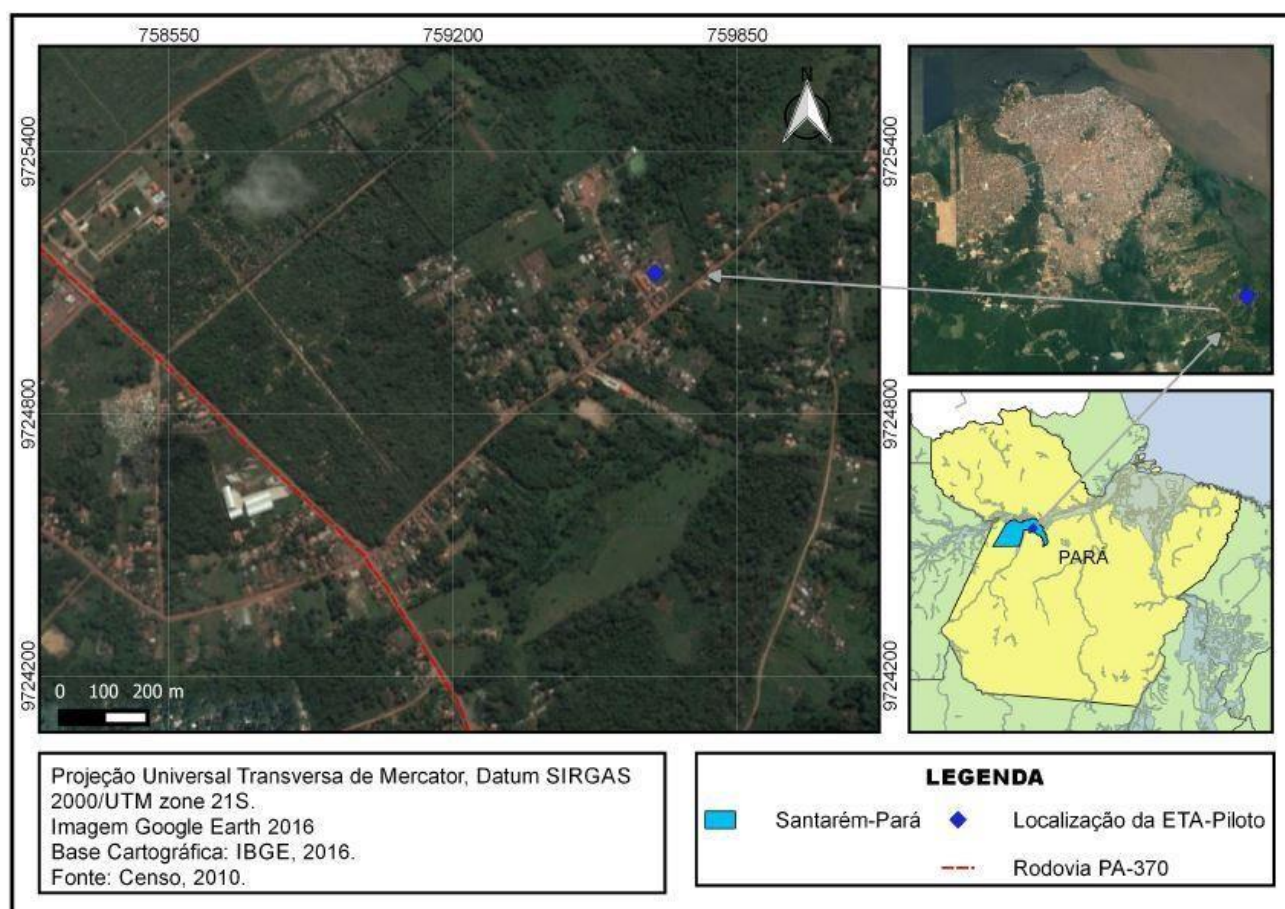


Figura 1 -Localização da área de estudo.

A Escola de Ensino Fundamental Francisca das Chagas Nascimento, sob a direção da Senhora Rosângela Maria Von Ribeiro, possui 125 alunos divididos em turmas de ensinos infantil (Pré-I e Pré-II) e fundamental (do 1º ao 5º ano). A escolha deste local foi devido à presença de elevada concentração de ferro (maior que 3mg/L), na água para abastecimento e pela presença de uma estação piloto de tratamento de água instalada a partir da realização de outros estudos como o de Filho e Filho (2017).

A estação piloto de tratamento de água presente na escola Francisca das Chagas é composta por aerador tipo tabuleiro, conjunto de leito de contato simples de fluxo ascendente, e dois filtros rápidos de fluxo descendente, compostos de carvão ativado e zeólita, respectivamente. A estação piloto de tratamento de água apresenta layout mostrado na Figura 2.

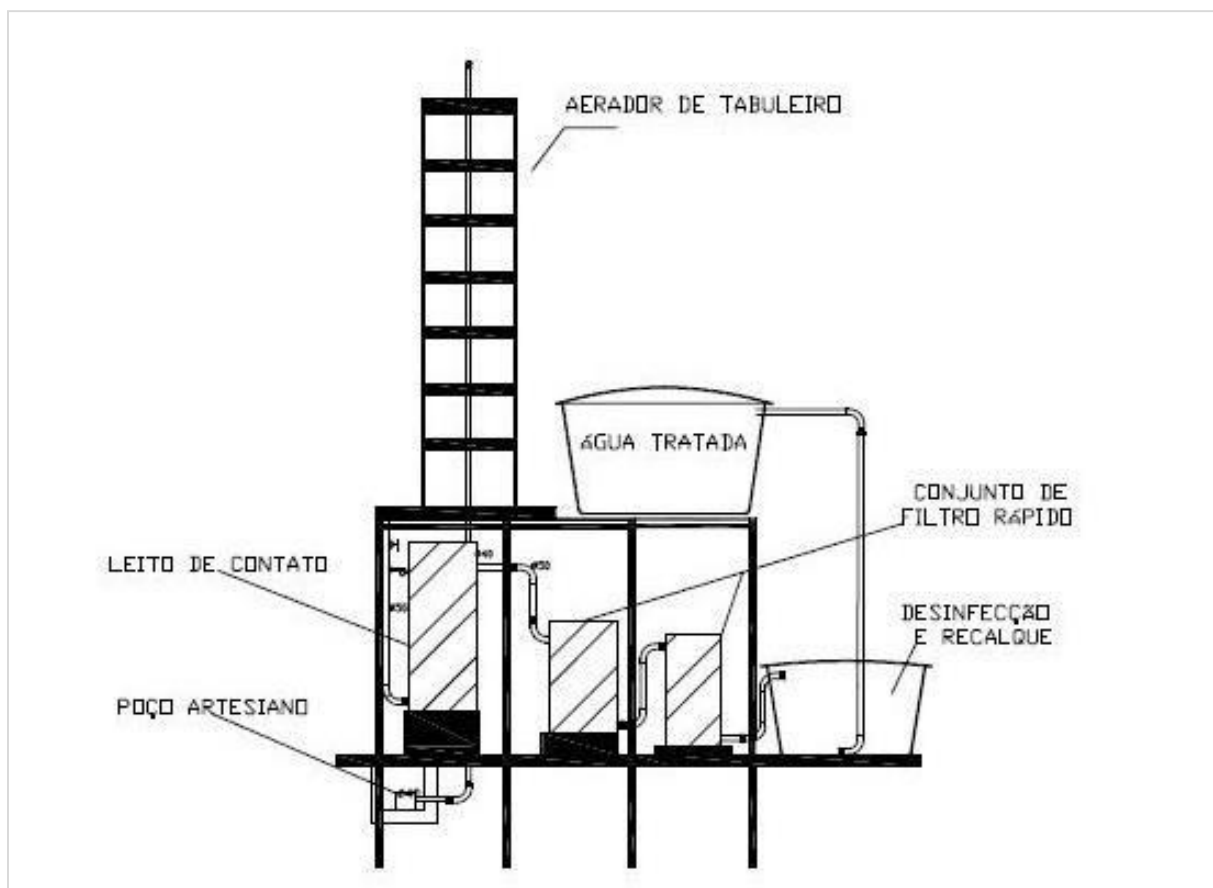


Figura 2 – Layout da Estação piloto de tratamento de água.
Fonte: Filho e Filho (2017).

O desenvolvimento do trabalho foi dividido em 5 (cinco) etapas e suas respectivas fases conforme mostrado e descrito a seguir:

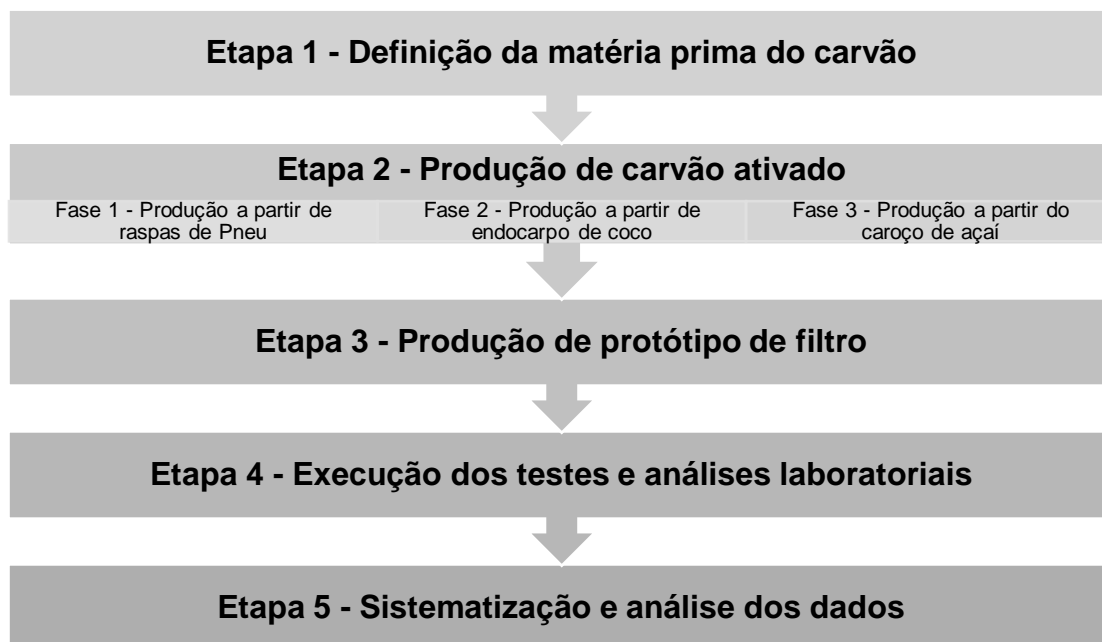


Figura 3 - Diagrama esquemático das etapas do trabalho experimental.

4.1.1 Etapa 1 - Definição da matéria prima do carvão

Para a definição da matéria prima a ser utilizada no estudo, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre materiais e metodologias utilizadas na produção de carvão ativado para tratamento de água para fins potáveis, considerando sempre fatores como a sustentabilidade e a viabilidade de utilização de matéria prima na região amazônica.

Também foram realizadas visitas *in loco* para entendimento do funcionamento da estação de tratamento de água da escola Francisca das Chagas.

4.1.2 Etapa 2 - Produção de carvão ativado

Nesta etapa foram desenvolvidas duas fases de produção de carvão ativado, sendo uma para cada tipo de matéria prima definida, conforme descrito a seguir:

Fase 1 Produção de carvão ativado a partir de raspas de pneu

Para produção do carvão ativado utilizando como matéria prima a borracha de pneu, foram realizados alguns processos experimentais seguindo metodologia de Resende (2011), conforme representado na Figura 4

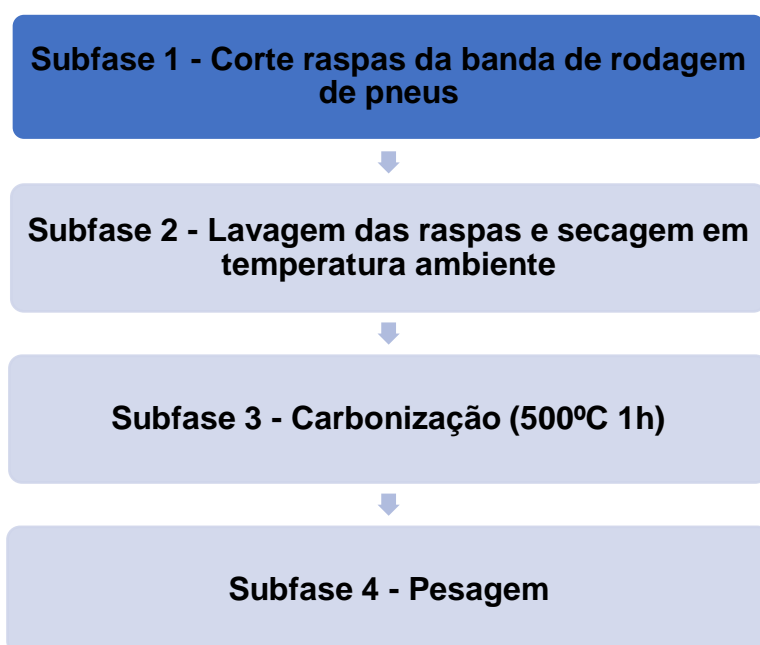


Figura 4 - Produção de carvão ativado de pneu.

- **Subfase 1 - Corte das raspas de pneus**

Os pneus utilizados nesta subfase foram fornecidos pela empresa Abel Acessórios, situada em Santarém-PA, foram retiradas raspas da banda de rodagem dos pneus, pois esta é uma parte dos pneus que não apresenta inconvenientes para o reaproveitamento, como fibras de aço misturadas à borracha. A retirada das raspas foi realizada utilizando um facão e luvas, e efetuando os cortes sempre horizontalmente para melhor aproveitamento das raspas.

Subfase 2 - Lavagem das raspas e secagem do material

Após retirar as raspas de borracha dos pneus, as mesmas foram devidamente pesadas e lavadas com água corrente para a eliminação de resíduos e impurezas. Em seguida foram submetidas ao processo de secagem, realizada em temperatura ambiente por período de 24 horas.

- **Subfase 3 - Carbonização**

Nesta subfase foi utilizado uma Mufla JUNG LF0612 com controle digital de temperatura. As condições de carbonização foram fixadas em temperatura de 500°C e tempo de reação de 60 minutos para uma massa de 50 g de raspas de borracha de pneu.

- **Subfase 4 - Pesagem**

Em sequência ao processo de produção, o material carbonizado obtido foi pesado em uma Balança Semi-analítica marca SHIMADZU, modelo UX6200H com capacidade de 6200 g. O carvão produzido da borracha de pneu apresentou textura mais rígida e redução de mais de 50% do peso inicial (ver Figura 5).

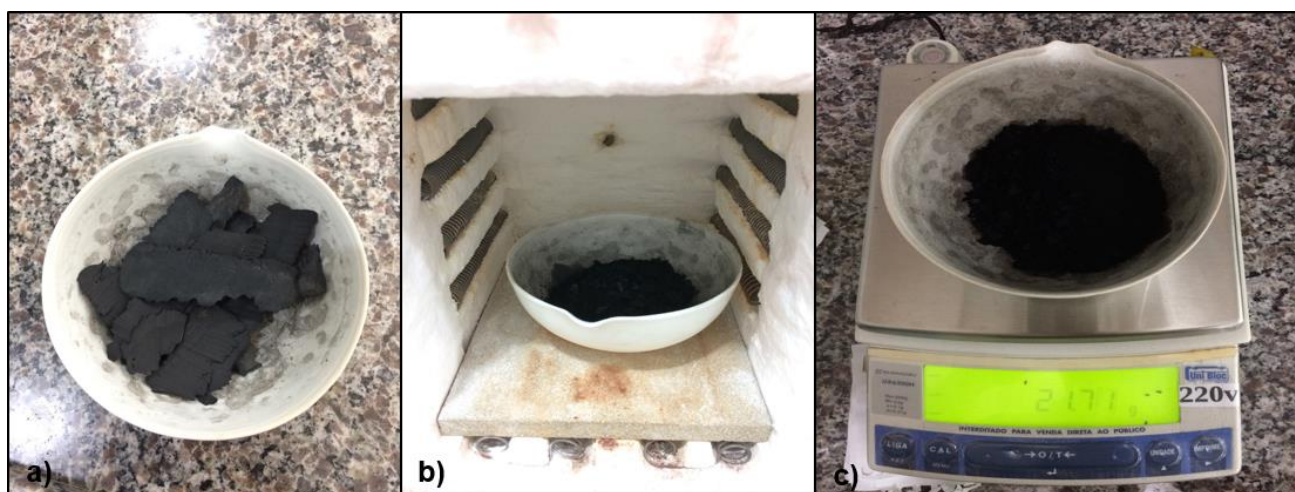


Figura 5 - Produção de carvão ativado utilizando raspas de pneu.

➤ **Produção de carvão ativado a partir do Endocarpo do coco**

A produção do carvão ativado a partir de endocarpo de coco (*Cocos nucifera*), seguindo metodologia de Mangueira (2015), foi dividida em 5 subfases, conforme Figura 6.

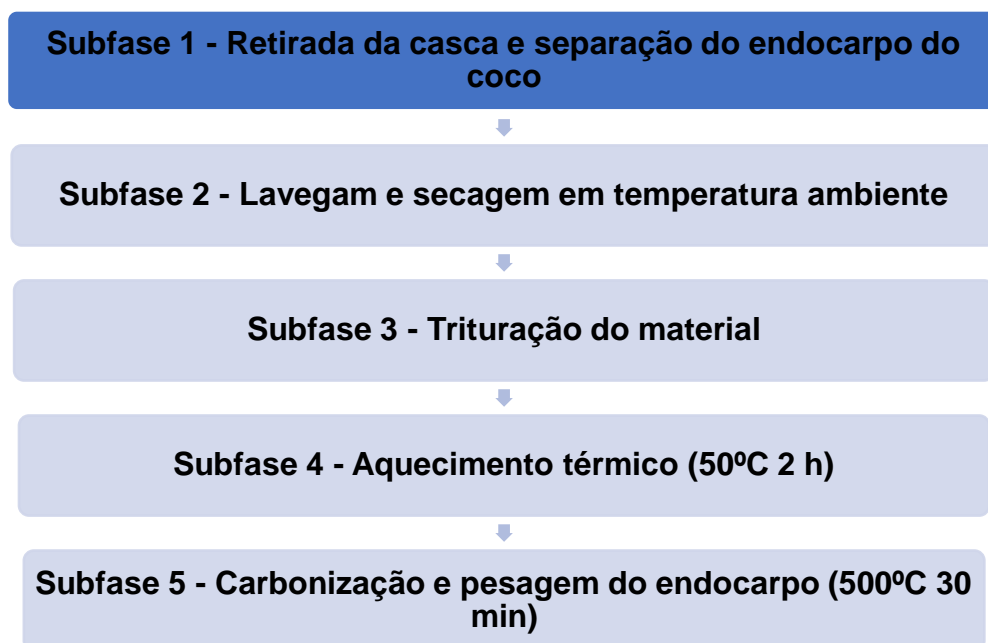


Figura 6 - Produção do carvão ativado a partir de endocarpo de coco.

- **Subfase 1 - Retirada da casca e separação do endocarpo**

O endocarpo do fruto do coco foi coletado de rejeitos de estabelecimentos do comércio local, da cidade de Santarém-PA. Após a coleta toda a casca do coco foi retirada, mantendo-se apenas a parte central. Toda a casca foi retirada com a utilização de um facão, luvas e alicate. A Figura 7 apresenta o corte longitudinal do coco, com as suas partes (ANDRADE ET AL., 2004).

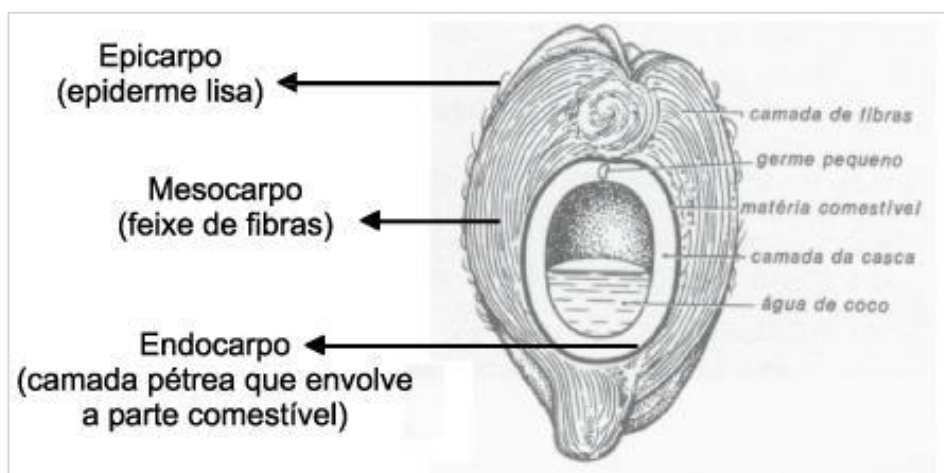


Figura 7 – Corte longitudinal do coco.

- **Subfase 2 - Lavagem e secagem**

Em seguida foram lavados com água corrente para eliminar resíduos e impurezas que podem estar presos no material, e para retirada total da poupa do fruto. Como o material é muito esponjoso, houve muita absorção de água e dessa forma levou mais dias para a secagem total, demorando um tempo de 48h em temperatura ambiente.

- **Subfase 3 - Trituração do material**

Após o material foi triturado em pedaços menores com a utilização de martelo, para que a trituração ocorresse sem grandes perdas de material, a massa no coco foi abafada com um tecido, para assim ser triturada com a utilização do martelo. As partes reduziram até tamanho de aproximadamente 5 cm.

- **Subfases 4, 5 e 6 - Aquecimento térmico (50°C 2 h), carbonização (500°C 30min) e Pesagem**

Após a trituração, o material foi aquecido em mufla com temperatura de 50°C durante 2 horas, após este processo, o material foi novamente triturado em pedaços menores. Em seguida realizou-se o processo de carbonização, com temperatura fixada em 500°C por 30

minutos. Em sequência o material foi pesado utilizando a Balança Semi-Analítica da marca SHIMADZU, modelo UX6200H com capacidade de 6200 g.

O carvão de coco apresentou textura granular e uma redução considerável na massa após todo processo de produção, como pode ser observado na Figura 8.



Figura 8 – Produção de Carvão ativado a partir de endocarpo de coco.

➤ **Produção de carvão ativado a partir do Caroço de Açaí**

A produção do carvão ativado proveniente da matéria prima do caroço de açaí segue metodologia de Filho e Filho (2017), conforme delineamento experimental apresentado na Figura 9.

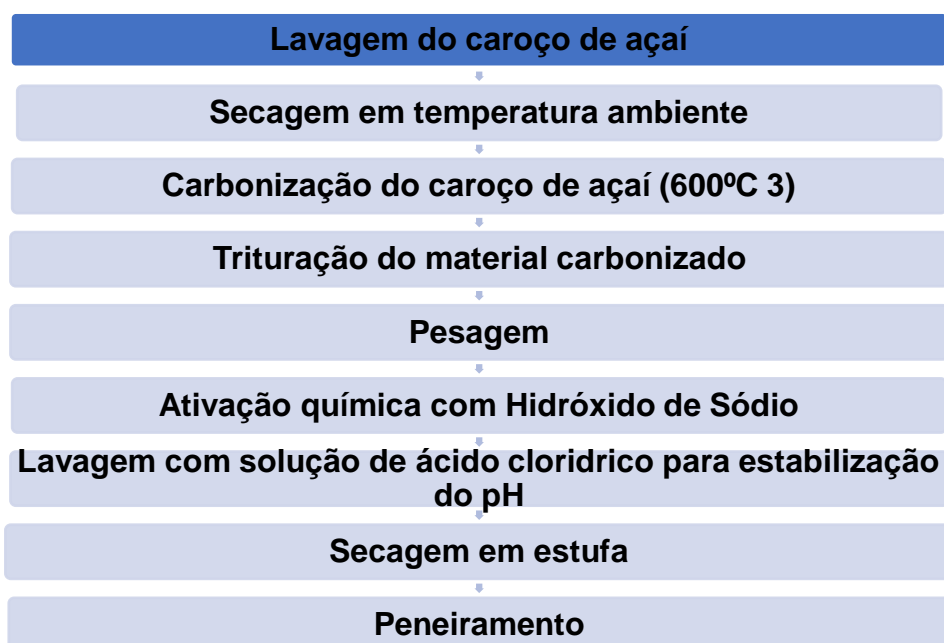


Figura 9 – Produção de Carvão ativado a partir do caroço de açaí.

Os caroços de açaí foram coletados em uma área de descarte, pois, ao passar pelo processo de beneficiamento os caroços não tem um destino final adequado, sendo acondicionados em calçadas, vias públicas, etc. Em seguida foram lavados com água corrente para eliminar resíduos e impurezas que podem estar presos ao material, após foram submetidos ao processo de secagem, realizada em temperatura ambiente por período de 24 horas.

Após a secagem o material foi carbonizado, realizado através de forno simples de barro a uma temperatura aproximadamente de 500 °C por 3 horas. As amostras carbonizadas foram trituradas com o equipamento Picador Forrageiro-GP-500-ABI de forma a reduzir o tamanho do material. Após a etapa de trituração o material foi pesado, utilizando a Balança Semi-Analítica da marca SHIMADZU, modelo UX6200H com uma capacidade de 6200 g e leitura de 0.01 g.

Em sequência, foi feita a ativação química do material, esta etapa tem a função de alterar as características do material através do uso de substâncias químicas, escolheu-se o agente ativante Hidróxido de Sódio (NaOH) P.M. 40.00 da marca synth com um teor de 97%. Para a realização do procedimento experimental o carvão foi separado em partes, totalizando um 5,5 kg, e em seguida o material foi impregnado com o agente químico Hidróxido de Sódio, para cada 1375 g de carvão foi utilizado 150 g de NaOH.

Para a preparação da solução ativante de Hidróxido de Sódio P.A. (NaOH) da marca Synth, pesou-se 150 g do agente ativante NaOH em balança analítica da marca SHIMADZU, modelo UX6200H com uma capacidade de 6200 g e leitura de 0.01 g, dentro de um béquer de 600 ml, em seguida completou-se o volume do béquer com água destilada, assim dissolveu-se o agente ativante na água, após foi transferido o material do béquer para balão volumétrico de 1000 ml, em seguida foi adicionado água destilada até o volume total, agitou-se o balão e formou-se a solução ativante, a qual foi adicionando ao carvão de caroço de açaí e deixada em contato por 24 horas. O experimento foi reproduzido em quadruplicada para os 5,5 kg de carvão.

Após o tempo de contato do material com as soluções químicas, as amostras foram colocadas em estufa da marca Ethik modelo 403/3N, a temperatura de 120°C por um período de 18 horas, para retirar a umidade. Depois de secas, para ativação térmica as amostras foram levadas à forno mufla da marca Junk modelo 412. Onde o material foi colocado em recipiente de cerâmica e levada ao forno por 2 horas a uma temperatura de 600°C. Decorrido o tempo, as amostras foram resfriadas e lavadas com solução de ácido

clorídrico 2 mol/L por uma hora, a quente, e lavado com água destilada até a obtenção de valor de pH neutro. Em seguida foram levadas a estufa para secagem a temperatura de 120°C por 18 horas, após o resfriamento foram peneiradas (de 20 a 200 mesh) e armazenadas em sacos plásticos.

4.1.3 Etapa 3 - Produção do protótipo de filtro

Foi desenvolvido um protótipo de filtro em PVC para ser utilizado no teste de eficiência dos carvões ativados produzidos. Os filtros foram construídos a partir de três tubos de PVC de 100 mm de diâmetro por 30 cm de comprimento (ver Figura 10 a)), Taps de PVC, (tampas de tubo de 100 mm), registros de esfera para saída da água (ver Figura 10 b)), e tela de polietileno de malha fina (ver Figura 10 c)), e folhas de compensado para suporte dos filtros.

Na fabricação dos filtros, o tubo de 100 mm foi cortado em três pedaços de 30 cm, bordas lixadas para ficar uniformes e posteriormente lavados. A superfície inferior do filtro foi fechada com os TAP's de 100 mm, onde foram acoplados os registros de esfera. Foi utilizado um registro para cada filtro. Para o suporte do mesmo foi utilizado uma base vertical e horizontal feita de folha de compensado, conforme Figura 11.

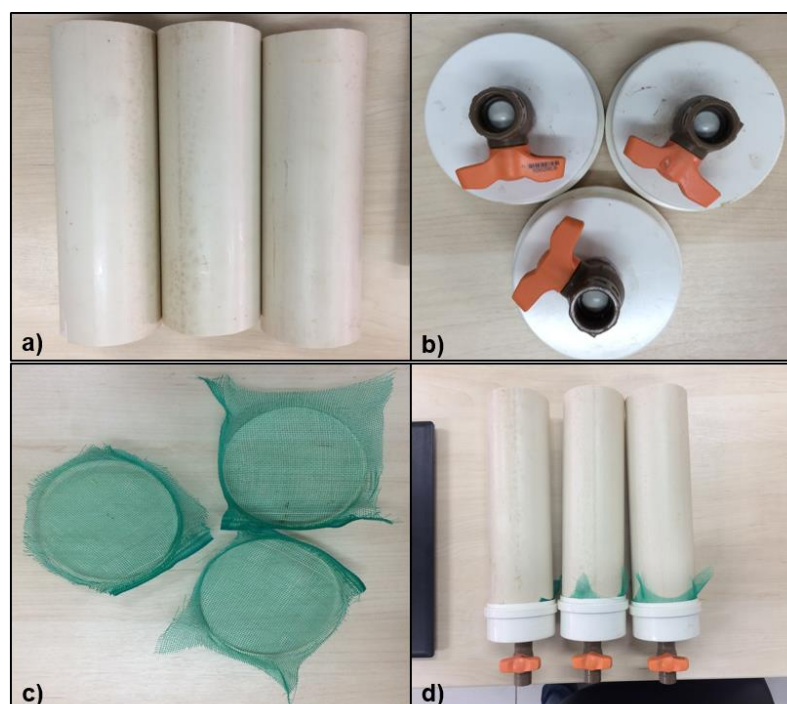


Figura 10 - Produção do protótipo de filtro.



Figura 11 - Produção da base do protótipo de filtro

As camadas filtrantes presentes nos filtros foram compostas de seixo/areia/carvão ativado. Compunha o filtro 1 (F1) carvão ativado feito de caroço de açaí, mais uma mistura do carvão ativado de pneu e coco. O filtro 2 (F2) apresenta somente carvão ativado de pneu e o filtro 3 (F3), carvão ativado de coco. O esquema de montagem de cada camada dos filtros apresenta-se na Figura 12.

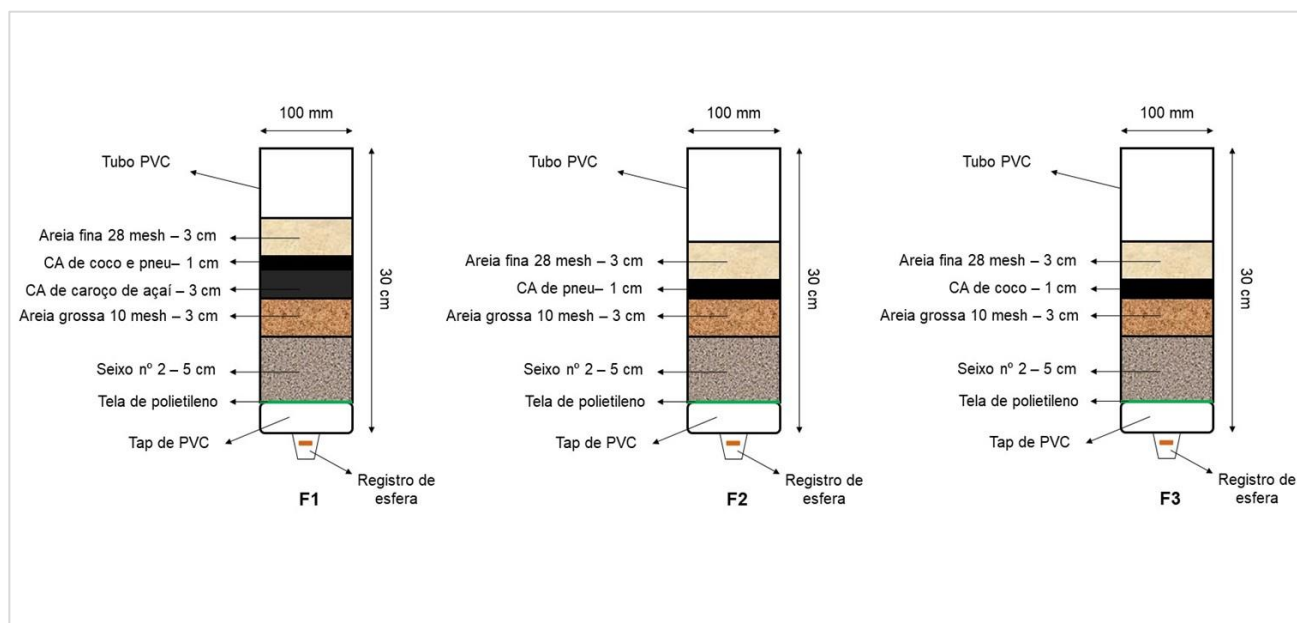


Figura 12 - Produção da base do protótipo de filtro

4.1.4 Etapa 4 - Ensaios e análises laboratoriais

Para a execução dos ensaios, foram realizadas coletas de água no poço conforme indicado na localização da área de estudo e na Figura 13. Posteriormente às coletas foram realizados os ensaios e encaminhadas para análise laboratorial no Laboratório de Biologia Ambiental, da UFOPA, para análises Físico-Químicas dos parâmetros de cor aparente,

condutividade elétrica, ferro total, sólidos totais dissolvidos, pH e turbidez. Foram realizados quatro ensaios, sendo em cada, coletadas amostras em triplicatas.



Figura 13 – Ponto de coleta de água bruta.

Antes da realização dos ensaios com a água bruta, foram realizadas rodadas teste para verificar o funcionamento dos filtros. Na rodada teste utilizou-se 1 litro de água destilada para cada filtro (F1, F2, F3). Em seguida foram realizados os ensaios de água bruta, contendo 3 amostras de 50 ml para cada filtro, realizando filtração de fluxo descendente.

4.1.5 Etapa 5 - Sistematização e análise dos dados

Os dados brutos obtidos como resultados das análises de laboratório, foram analisadas tendo como base o estabelecido na Portaria 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde que estabelece os padrões de potabilidade para água de consumo humano. Também foram comparados os resultados obtidos com os de outros autores na mesma temática do trabalho corrente.

Foi utilizado o *software Microsoft Excel 2018* para a confecção de gráficos, para o melhor entendimento dos resultados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises Físico-Químicas da Água

5.1.1 Ponto de Água Bruta (P1-entrada)

Os valores absolutos coletados in loco apresentam as concentrações dos parâmetros físico-químicos da água no ponto antes da passagem por processo de tratamento (Quadro 1). Os resultados das amostras foram comparados com os padrões estabelecidos pela Portaria 2.914 de 2011, do Ministério da Saúde, que dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICA				
Parâmetros	Método Analítico	Código/Amostras	VPR	Unidade
		P1 - entrada		
Cor Aparente	Colorímetro – Platina Cobalto	0,01 ⁽³⁾	15	uH ⁽¹⁾
Cond. Elétrica	Potenciometria	18,0	N. F. R.	µS/cm
Ferro Total	Fenantrolina	4,36	0,3	mg/L
Sólidos Dissolvidos	Potenciometria	12,1	1000	mg/L
pH	Potenciometria	5,34	6 – 9,5	-
Turbidez	Nefelométrico	3,66	5	NTU ⁽²⁾

Quadro 1 – Parâmetros físico-químico coletados e analisados pré-tratamento. uH⁽¹⁾ Unidade Hazen (mgPt-Co/L). NTU⁽²⁾ – Unidade Nefelométrica de Turbidez. ALD⁽³⁾ – Abaixo do limite detecção do aparelho: cor aparente ≥ 5µH.

Dentre os dados brutos coletados, alguns dos parâmetros devem receber destaque, como o Ferro Total, por ter apresentado quantidade muito acima que o limite estipulado como valor máximo permitido (0,3 mg/L), de acordo com a Portaria 2.914 do Ministério da Saúde de 2011. Outro dado em desacordo com os valores máximos proposto pela Portaria 2.914 é o pH, que se apresenta abaixo (5,34) do limite ideal entre 6 – 9,5. A Cor Aparente apresentou quantidade muito abaixo que o limite de detecção do aparelho.

Os resultados apresentados no Quadro 1 estão de acordo com a representatividade obtida por parâmetros.

a) **Potencial Hidrogeniônico (pH)**

A amostra coletada apresentou pH ácido (<7,0) e abaixo do padrão recomendado pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, que estabelece padrão na faixa de 6,0 a 9,5. O valor coletado de 5,34, mesmo baixo, encontra-se de acordo com que afirma Tancredi (1996) que esses valores ácidos se justificam pelas características naturais das águas subterrâneas do sistema hidrogeológico da formação Alter do Chão.

Outros trabalhos também apresentaram valores ácidos em análise de pH da água na região. Segundo Araújo e Peleja (2009), os poços localizados nas áreas urbanas da cidade de Santarém, também evidenciaram um pH ácido em desacordo com o mínimo estabelecido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

b) **Ferro Total**

Como é possível observar, no Quadro 1 é apresentado elevada quantidade de Ferro presente nas amostras de água bruta (4,36), valor esse muito acima do estabelecido pela Portaria 2.914 do Ministério da Saúde que é de 0,3 mg/L, o que demonstra a necessidade de ações de intervenção para diminuição desses valores.

O excesso de ferro provoca alterações estéticas que envolvem a cor avermelhada quando exposta ao ar (processo de oxidação), atribui gosto metálico e amargo na água, características principais para criar uma aparência indesejada para o consumo. Além disso, o ferro ao oxidar mancha louças sanitárias, azulejos, roupas pelo processo de precipitação. Seu excesso também gera incrustações nas tubulações e reservatórios, beneficia o desenvolvimento de bactérias advindas do ferro, como a *Spyrophyllum ferrugineum* e a *Gallionella ferruginea*.

c) **Turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade Elétrica**

Os dados de turbidez analisados na água bruta apresentaram valor inicial abaixo do valor máximo permitido que é de 5 NTU.

A presença de sólidos dissolvidos relaciona-se com a condutividade elétrica da água (ZIMBRES, 2000). De acordo com o Quadro 1, os valores de sólidos dissolvidos e condutividade elétrica analisados na água bruta seguem valores próximos e bem abaixo do limite máximo permitido para sólidos dissolvidos totais, que é 1.000 mg/L.

5.1.2 Ponto de Água Tratada

Os resultados das análises realizadas em laboratório, obtidos das amostras coletadas na saída do filtro (F1, F2 e F3) estão apresentadas no Quadro 2 e discutidas logo em seguida.

Quadro 2 – Análise dos parâmetros físico-químicos pós tratamento da água. uH⁽¹⁾ Unidade Hazen (mgPt-Co/L). NTU⁽²⁾ – Unidade Nefelométrica de Turbidez. ALD⁽³⁾ – Abaixo do limite detecção do aparelho: cor aparente $\geq 5\mu\text{H}$, Ferro $\geq 0,001\text{ mg/L}$.

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICA ÁGUA TRATADA							
Parâmetros	Método Analítico	Código/Amostras				VPR	Unidade
		P1	F1	F2	F3		
Cor Aparente	<i>Colorímetro – Platina Cobalto</i>	0,01	270	<10	320	15	uH ⁽¹⁾
Cond. Elétrica	<i>Potenciometria</i>	18,0	1.286,0	475,5	339,6	N. F. R.	$\mu\text{S/cm}$
Ferro Total	<i>Fenantrolina</i>	4,36	0,60	<0,001 ⁽³⁾	0,10	0,3	mg/L
Sólidos Dissolvidos	<i>Potenciometria</i>	12,1	669,9	240,3	171,6	1000	mg/L
pH	<i>Potenciometria</i>	5,34	7,19	6,27	6,70	6 – 9,5	-
Turbidez	<i>Nefelométrico</i>	3,66	153	64,7	120	5	NTU ⁽²⁾

d) Cor Aparente e Turbidez

Como observado no Quadro 2, os valores de Cor Aparente e Turbidez se mostraram bem elevados em comparação aos valores máximos permitidos de acordo com a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, com exceção da amostra P2 que apresentou valor de Cor Aparente dentro dos padrões permitidos (<10).

Os valores elevados de Cor Aparente e Turbidez (Figura 14) podem se justificar em virtude dos materiais filtrantes utilizados. O filtro das amostras P1 continha carvão ativado de caroço de açaí que apresenta uma granulometria muito baixa, o que se pode atribuir ao

aumento da Turbidez. Assim como o filtro das amostras P3 era composto por carvão ativado de coco, o que por suas características menos rígida, mais quebradiça, contribui da mesma forma para um aumento da turbidez.

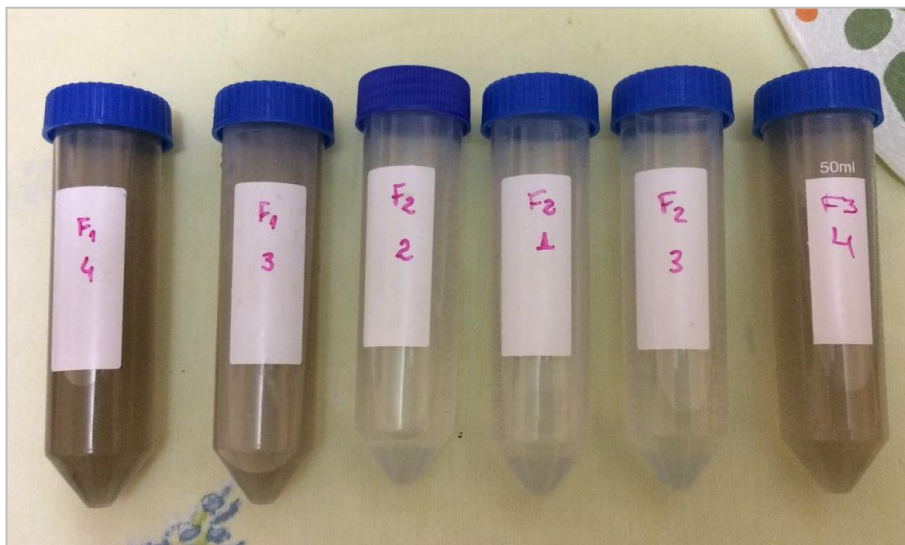


Figura 14 - Amostras coletadas nos filtros 1, 2 e 3 com diferente cor aparente.

Para que ocorra uma diminuição desses valores de turbidez, talvez seja necessário a inserção de outras camadas filtrantes. Oliveira (2014) observou que a granulometria da areia utilizada como meio filtrante influencia no desempenho do filtro, com redução de turbidez maiores quando se trabalha com areia fina.

e) Condutividade e Sólidos Totais Dissolvidos

No Quadro 2 é possível observar que o desempenho desses parâmetros ocorre de forma paralela a partir de todos os pontos, tendo a relação de maior condutividade elétrica nos pontos com maior presença de sólidos totais dissolvidos. Zimbles (2000) comenta que a condutividade é a capacidade de conduzir corrente elétrica por meio de carga de sólidos em suspensão.

Apesar dos valores de Sólidos Dissolvidos Totais estarem dentro dos padrões exigidos, o aumento das concentrações, se comparado aos valores apresentados na água bruta, também podem se justificar em virtude dos materiais filtrantes utilizados.

f) pH – Potencial Hidrogeniônico

O pH apresentado nos pontos F1, F2, F3 das amostras de água tratada estão de acordo com os valores propostos na Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, com valores dentro do limite proposto de 6 – 9,5.

g) Ferro Total

Os valores de ferro total após os processos de tratamento variaram entre 0,60 e < 0,001 mg/L, podendo-se observar uma expressiva remoção de ferro das amostras. Dois dos três pontos já se encontram adequados ao consumo humano por apresentarem limites inferiores aos estabelecidos pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, que é de 0,3 mg/L.

Dentre os elementos filtrantes, o que se mostrou mais eficiente foi o carvão ativado de pneu (F2), que apresentou concentrações abaixo do limite do aparelho para detecção de ferro (< 0,001). O carvão ativado de coco (F3) também apresentou concentração muito satisfatória (0,10 mg/L) para a concentração de ferro. O filtro F1, composto por carvão ativado de caroço de açaí, pneu e coco, apesar de não atingir o resultado abaixo do padrão estabelecido pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, esteve muito próximo e conseguiu uma redução de ferro significativa. Acredita-se que de alguma forma a mistura dos carvões ativado possa ter interferido no resultado.

Outros trabalhos comprovam a eficiência da utilização do carvão ativado no tratamento de água para remoção do ferro. Em trabalho semelhante, Filho e Filho (2017) tiveram resultados satisfatórios com a utilização de carvão ativado, com remoção de 90,33% do ferro com a utilização desse leito filtrante.

Em outro trabalho para remoção de cor, ferro e manganês através de filtro de areia e carvão ativado granular, Ramos (2010) atingiu resultados satisfatórios e atingindo a remoção de 92% de ferro, atingindo a concentração de 0,105 mg/L

5.2 Análise da Eficiência de Tratamento do Protótipo de Filtro

Nos gráficos a seguir são apresentados os resultados pré e pós tratamento da água com carvão ativado, fazendo o comparativo entre os pontos de coleta, afim de identificar a eficiência do tratamento, de forma mais específica, para remoção de ferro e correção de pH.

Para os dados de Ferro Total presente na água, os resultados foram consideráveis entre os filtros, sobretudo o filtro F composto de carvão ativado proveniente de pneu. No Gráfico 1 é possível observar a elevada remoção de ferro feita por cada um dos pontos devido às baixas quantidades presentes nas análises.

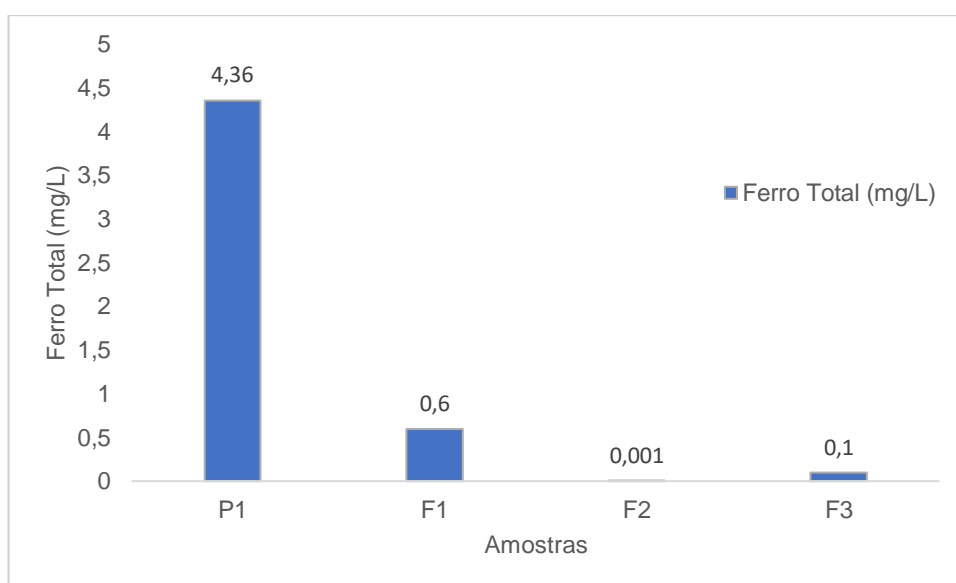


Gráfico 1 - Presença de ferro antes e pós tratamento de água.

É possível observar a viabilidade para utilização dessas formas de carvão ativado tendo em vista seus bons rendimentos com a remoção do ferro. Nota-se que os valores de ferro total para os filtros de C.A. de pneu e coco já se encontram adequadas ao consumo humano, no que diz respeito a presença de ferro, ou seja, com valores inferiores ao limite estabelecido pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde.

No Gráfico 2 são representados os valores de pH nas unidades que compõem o protótipo de filtro. Os valores apresentados são bem próximos, mostrando pouca variação e a adequação do pH após passagem pelos filtros.

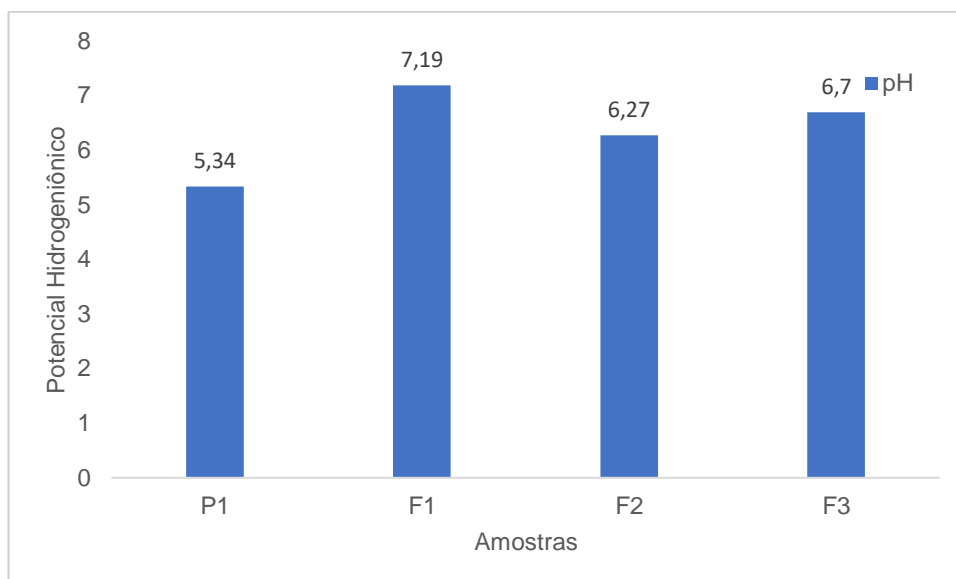


Gráfico 2 - Resultados da análise de pH.

Os valores do pH pós tratamento da água, quando comparado com o resultado da água bruta (5,34), mostra a eficiência para a adequação deste parâmetro conforme as exigências estabelecidas pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde.

A cor aparente para a água tratada nos filtros de carvão ativado de açaí e coco (Gráfico 3) mostraram valores muito elevados, bem acima do que estabelecido pela Portaria 2914 e do valor da água bruta.

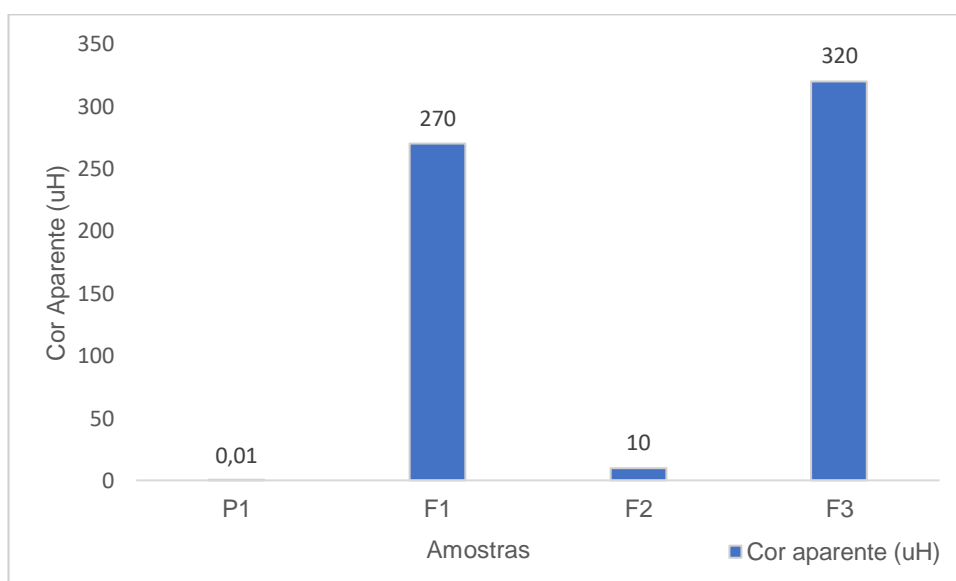


Gráfico 3 - Resultado da Cor Aparente.

É importante ressaltar que seu valor aumentou em virtude dos materiais filtrantes utilizados.

O Gráfico 4 apresenta resultados de Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade Elétrica, acompanhando a relação proporcional de crescimento para os dois. Quanto maior o número de sólidos totais dissolvidos, maior se apresenta a condutividade elétrica. Comparado à concentrações presentes da água bruta, é possível entender que os meios filtrantes contribuíram para um aumento do número de sólidos totais dissolvidos presentes na água.

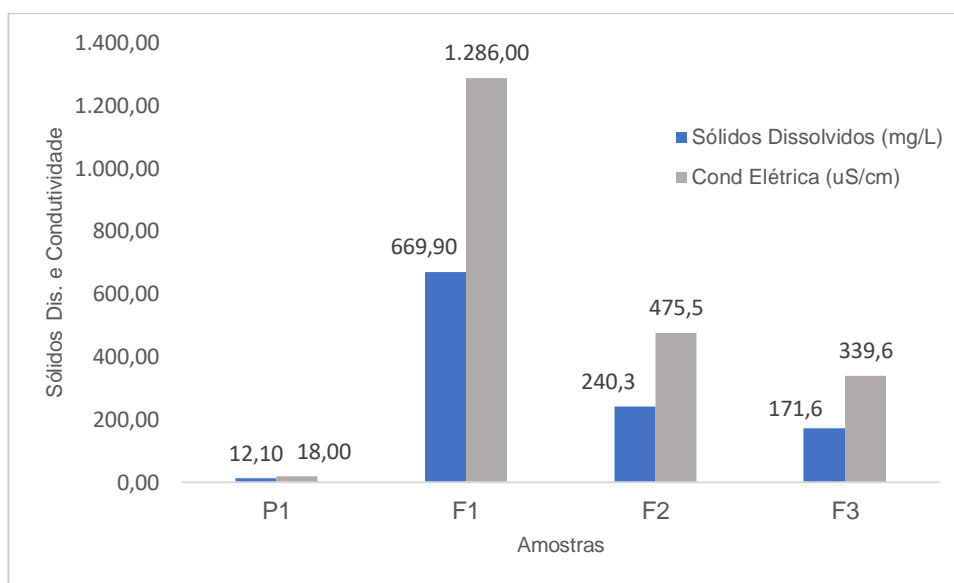


Gráfico 4 - Resultados de Análise de Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade Elétrica.

Os altos valores de turbidez destacam-se no gráfico 5 e também estão correlacionados ao tipo de material filtrante presente no protótipo de filtro, apresentando assim um crescimento elevado comparado à quantidade presente na água bruta e encontrando-se acima dos limites máximos permitidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

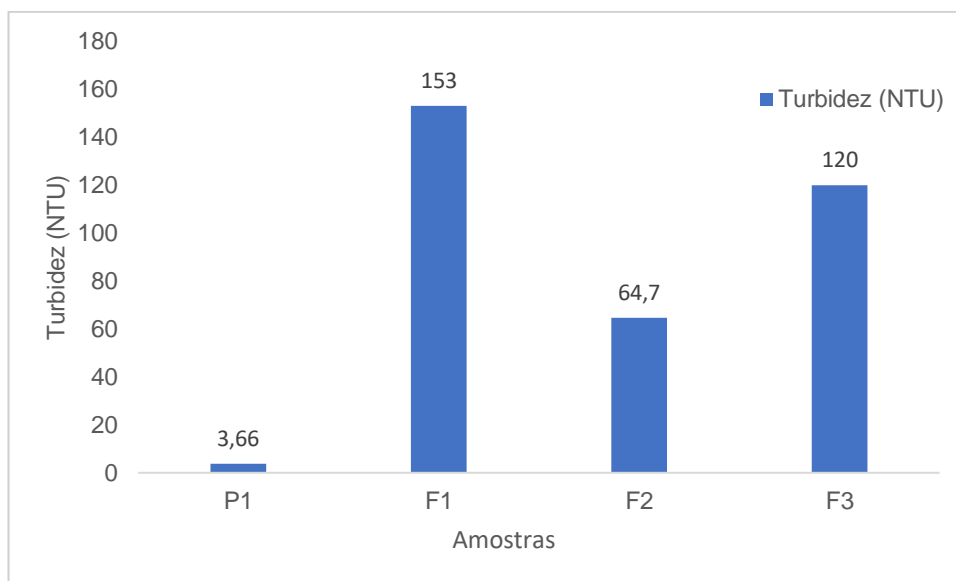


Gráfico 5 - Resultados de análise de Turbidez.

Os números elevados de turbidez, cor aparente e sólidos totais dissolvidos faz-se avaliar a implementação de outras camadas filtrantes. A utilização de areia com baixa granulometria influencia no desempenho do filtro, o que possibilita a implantação de uma camada de areia fina após as camadas de carvão ativado, afim de melhorar os resultados para esses parâmetros. A lavagem dos materiais filtrantes também é um fator relevantes para diminuição de turbidez e cor aparente. A lavagem à exaustão dos materiais filtrantes diminui a presença do material particulado que apresenta-se na água após o processo de filtragem.

5.3 Eficiência de Remoção do Ferro

Os valores coletados da eficiência de remoção do ferro total para cada unidade filtro, concentram-se nas faixas de 86,24% a 99,97%. Vale ressaltar que o filtro composto por carvão ativado de pneu obteve valor considerável de quase 100%, e o filtro com carvão ativado de coco atingiu valor muito importante para pesquisa de 97,71% de remoção de ferro total. Portanto, observou-se uma excelente eficiência na utilização destas camadas filtrantes na composição do protótipo de filtro.

No Gráfico 6 verifica-se o comportamento da eficiência de remoção do ferro em cada um dos filtros que compõem o protótipo.

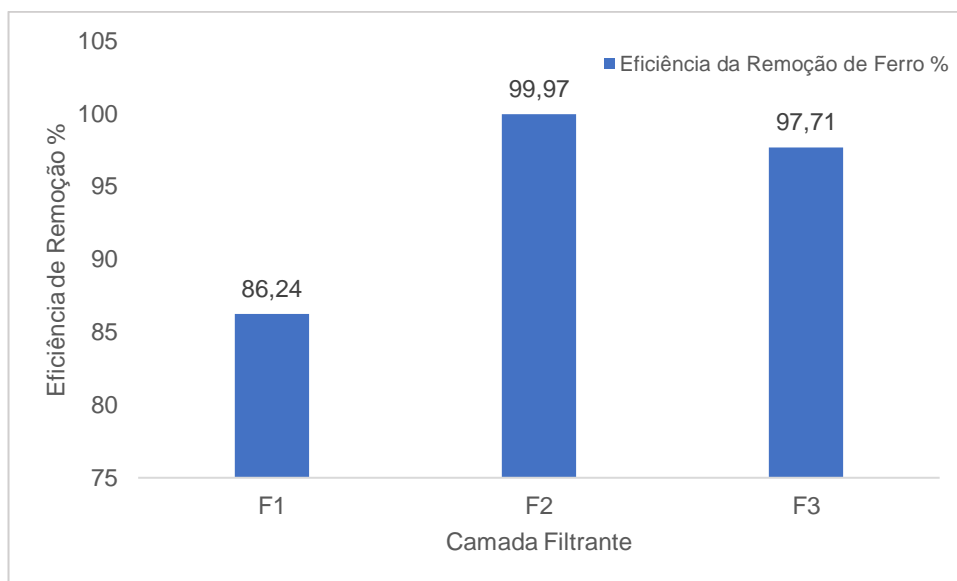


Gráfico 6 - Eficiência de remoção de ferro.

Após passagem de água bruta pelo sistema, dois dos três filtros apresentaram índices dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela portaria 2914/2011 para o parâmetro Ferro Total.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstraram que o objetivo geral proposto neste trabalho foi alcançado com êxito, assim como os objetivos específicos, com a produção de carvão ativado a partir de tiras de pneu e com o endocarpo do coco para utilização em testes no protótipo de filtro.

Os resultados mostraram uma eficiência excelente para parâmetros como remoção de ferro e ajuste de pH através da utilização dos filtros construídos.

O carvão ativado produzido a partir de tiras de pneu demonstrou-se como o mais eficiente na remoção de ferro total com uma eficiência de 99,97% do ferro. Destacou-se também a excelente remoção de ferro total para o carvão produzido do endocarpo do coco, com uma eficiência de 97,71%. O carvão ativado de caroço de açaí atingiu resultado de 86,24%.

Os parâmetros cor aparente, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e turbidez apresentaram-se desconforme aos padrões máximos estabelecidos pela portaria 2914/2011, o que sugere uma adequação nas camadas que compõem os filtros e recomenda-se a inserção de outras camadas filtrantes.

Desta forma, recomenda-se para melhores resultados em pesquisas futuras, o acréscimo de nova camada filtrante de areia fina após as camadas de carvão ativado, a lavagem de todos os materiais que compõem as camadas filtrantes, aumentar as espessuras das camadas filtrantes de carvão ativado de pneu e coco no filtro que estão juntos com carvão ativado de caroço de açaí, como alternativa para uma melhora na eficiência do processo de remoção do ferro total.

REFERÊNCIAS

ALVES, O. D. et al. Avaliação de teor de ferro em águas subterrâneas de alguns poços tubulares, no plano diretor do Palmas. **In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 29.** p. 1-15. AIDIS, 2004.

ANDRANDE et al. Pirólise de resíduos do coco-da-baía (*Cocos nucifera* Linn) e análise do carvão vegetal. **Revista Árvore.** v 28, n 5, Set/Out. 2004.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 19th edition, Washington, USA, 1998.

ARAÚJO, G. C.; PELEJA, J. R. P. Perfil da Qualidade da Água Subterrânea de Poços Tubulares na Zona Urbana do Município de Santarém, Pará, Brasil. **61ª REUNIÃO ANUAL DA SBPC.** Manaus, Amazonas. 2009.

AZEVEDO, R. P. Uso de Água Subterrânea em Sistema de Abastecimento Público de Comunidades na Várzea da Amazônia Central. **Acta Amazonica,** v. 36, p. 313-320, 2006.

BANDOSZ, T. J. Activated carbon surfaces in environmental remediation. **New York: Elsevier,** 7 v., p. 571. 2006.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento.** 3º Ed. Ver. Brasília: FUNASA. 408 P. 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n.º 2914, de 12 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre os Procedimentos de Controle e de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade. Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2011.

BRUM, S. S. **Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir resíduos do beneficiamento do café.** Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 2007.

CAMARA, M. C. **Águas Subterrâneas – Sistemas de distribuição de água – Ferro e Manganês.**2016.

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 Bagaço de Cana-de-açúcar. **In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23,** 2005, Campo Grande. Anais. Campo Grande: UFPB. 2005.

CLAUDINO, A. Preparação de carvão ativado a parti de turma e sua utilização na remoção de poluentes. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Química**. 2003.

CUBAS, K.G. **Avaliação do Desempenho de Carvões Ativos Usados na Remoção de Compostos Orgânicos de Águas Naturais Provenientes de Cianobactérias e suas Toxinas**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. 2010.

DIAS, J. M.; ALVIM-FERRAZ, M. C. M.; ALMEIDA, M. F.; RIVERAUTRILLA, DIN, A. T. M.; HAMEED, B. H.; AHMAD, A.L. Batch adsorption of phenol onto physiochemical-activated coconut shell. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 161, n. 2-3, p. 1522, Jan. 2009.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2 Ed. São Carlos: **RIMA**. São Carlos, São Paulo. 2005.

FERNANDES, K. A. N. **Uso de Carvão Ativado de Endocarpo de Coco no Tratamento de Água**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. 2014.

FILHO, A. T. C. R.; FILHO, F. F. Avaliação da Eficiência no Tratamento de Água Subterrânea Utilizando Conjunto de Leito de Contato Simples e Filtro Rápido Composto de Carvão Ativado e Zeólita A. Trabalho de Conclusão de Curso em **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Pará. 2017.

GALVÃO, P. H. F., DEMÉTRIO, J. G. A., SOUZA, E. L., PINHEIRO, C. S. S., BAESSA, M. P. M. Hidrogeologia e Geometria dos Aquíferos das Formações Cretáceas Içá e Solimões, Bacia Paleozoica do Solimões, na Região de Urucu, Amazonas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, p. 142-153. 2012.

LEAL, C. A. A. Avaliação da remoção de cor de efluentes têxteis utilizando como adsorvente o mesocorpo do coco verde. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFPE, Recife, 2003.

LEMOS, E. J. de S. et al. Qualidade Da Água Subterrânea De Poços Tubulares Urbanos E Periurbanos Do Município De Santarém, Pará, Brasil. 28° **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, Out 2015

LIMA, I. V. Ferro, Gerenciamento de Toxidade. São Paulo: **Atheneu**. São Paulo. 2003.

MADEIRA, V. S. **Desenvolvimento de um carvão adsorvente para remoção de íons ferro em águas naturais**. UFSC. Santa Catarina, 89 p. 2003.

MANGUEIRA, E. S. V. Produção de carvão ativado a partir de endocarpo de coco da Baía (Cocos nucifera) aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuzin. Dissertação de

mestrado em **engenharia urbana e ambiental**. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. Paraíba. 2014.

MIRANDA, L. A. S. **Sistemas e processos de tratamento de águas de abastecimento**. Porto Alegre: (S. n.). 2007.

MORUZZI, R.B.; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. V.4, nº 1, p. 29-43, 2012.

OLIVEIRA, V. M. F. Melhoria das Condições da Água Utilizando Filtro de Areia Modificado com Biomassa. Dissertação de Mestrado em **Engenharia Química**. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais. 2014.

PEREIRA, E. I. Produção de carvão ativado a partir de diferentes precursores utilizando FeCl₃ como agente ativante. Dissertação de mestrado em **Engenharia Química**. Universidade Federal de Lavras. 2010.

RAMOS, M. H. C. Remoção de Cor, Ferro e Manganês de Águas com Matéria Orgânica Dissolvida por Pré-Oxidação com Dióxido de Cloro, Coagulação e Filtração. Dissertação de Mestrado em **Tecnologia Ambiental**. Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, São Paulo. 2010.

RESENDE, R. M. S. Produção e Caracterização de Carvão Ativado Obtido a Partir da Borracha de Pneu e Avaliação da Eficiência de Remoção de Saxitoxinas. Dissertação Mestrado em **Tecnologias Ambientais**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, Minas Gerais. 2011.

RODRIGUES E. C. Influência do Tempo de Ração e da Concentração de Sódio na Síntese de Zeólitas. Dissertação de Mestrado em **Química Ambiental**, Instituto Tecnológico, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, 2013.

TANCREDI, A. C. F. N. S. Recursos Hídricos Subterrâneos de Santarém: Fundamentos para Uso e Proteção. Tese de **Doutorado em Geociências**. Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. 1996.

TISUTYA, M. T. **Abastecimento de água**. 4ª Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP, São Paulo. 2006.

RICHTER, C.A.; AZEVEDO NETTO; J.M. Tratamento de Água: tecnologia atualizada. 9ª Ed. São Paulo: **Edgard Blucher**, São Paulo. 2011.

Urban, T. Manual para elaboração de plano de manejo e gestão de bacia de manancial. 2. Ed. Curitiba: **SANEPAR**, 184pp.1999.

WALDE, D.H.G. **Geologia do ferro**. In: Principais depósitos minerais do Brasil. v.2. 1985.

YUSO, M. A.; de IZQUIERDO, M. T.; VALENCIANO, R.; RUBIO, B. Toluene and n-hexane adsorption and recovery behavior on activated carbons derived from almond shell wastes. **Fuel Processing Technology**, 110 pp. 1 – 7. 2013.

ZIMBRES, E. **Meio Ambiente**. 2000.