



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

**ÂNGELO TIAGO CAMPOS RÊGO FILHO
FRANCISCO FREITAS FILHO**

**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.**

**Santarém – Pará
2017**

**ÂNGELO TIAGO CAMPOS REGO FILHO
FRANCISCO FREITAS FILHO**

**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 apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus de Santarém, como requisito para a obtenção de título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração:

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

Orientador:

Prof. Me. José Cláudio Ferreira dos Reis Junior

**Santarém – Pará
2017**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFOPA

R467a Rêgo Filho, Ângelo Tiago Campos
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 / Ângelo Tiago Campos Rêgo Filho, Francisco Freitas Filho. - Santarém, 2017.
87 f. : il.
Inclui referências bibliográficas.
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, Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017.

1. Águas subterrâneas. 2. Carvão ativado. 3. Zeólitos. I. Freitas Filho, Francisco. II. Reis Junior, José Cláudio Ferreira dos, *orient.* III. Título.

CDD: 23.ed. 553.79

Bibliotecário-documentalista: Rogério Aoyama CRB 2/1506

FOLHA DE AVALIAÇÃO

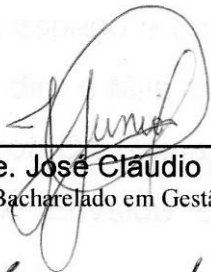
Nome do Autores: RÊGO FILHO, Ângelo Tiago Campos;
FREITAS FILHO, Francisco.

Título: Avaliação da eficiência de remoção de ferro de água subterrânea utilizando conjunto de leito de contato simples e filtro rápido composto de carvão ativado e zeólita.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus de Santarém, como requisito para a obtenção de título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Data da aprovação: 10 / 04 / 2017

Banca Examinadora



Orientador e Presidente

Prof. Me. José Cláudio Ferreira dos Rios Junior

Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental/Universidade Federal do Oeste do Pará



Membro Titular

Prof. Dr. Lucnewton Silva de Moura

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



Membro Titular

Prof. Dr. Hélio da Silva Almeida

Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental/Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois somente pelas suas bênçãos conseguir chegar onde estou hoje;

Aos meus pais Ângelo Tiago e Sandra Campos, pelos ensinamentos e por terem me dado força e me apoiado em todos os momentos da minha vida, por sempre me proporcionarem coisas boas mesmo com as dificuldades ao longo da vida e a minha irmã Aline Nayara;

A minha avó Suely Campos por sempre ter me apoiado e ajudado, assim como meus tios Junior, Clayton, Sônia e Silvio e meu primo Caio pela ajuda e incentivo para concluir minha graduação.

A minha namorada Monique Monteiro que esteve ao meu lado desde o início desta jornada, sempre me apoiando e incentivando;

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

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 que nos ajudaram na realização do nosso trabalho;

Ao Prof. Dr. Reinaldo Peleja, coordenador do laboratório de Biologia Aplicada e ao técnico Edvaldo Lemos que nos ajudaram nas análises físico-químicas e bacteriológicas;

Ao Eng. Sanitarista Alisson Reis e a empresa SALUTAR pelo apoio na aquisição dos materiais e na implantação do protótipo, assim como os funcionários Elvis e Fernando por todo o apoio na realização do trabalho;

Aos funcionários e a escola Francisca das Chagas pelas informações e pela atenção valiosa nas visitas para realização do projeto

Aos amigos pelo incentivo e ajuda, especialmente a Adriele Tome, Samira da Costa, Arthur Valente, ao Eng. Civil Jonas Leite e Caio Rodrigues pela ajuda na implementação deste trabalho;

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

Ângelo Tiago Campos Rêgo Filho

Diante de todas as batalhas travadas nesta vida, quero primeiramente agradecer ao Senhor dos Exércitos, nosso Senhor Jesus Cristo, pelas Bênçãos derramadas em forma de Vitórias.

Aos meus pais Francisco Freitas e Jacira de Castro Freitas por me apoiarem, desde sempre, sem hesitar na contribuição para minha formação mesmo diante das tribulações. Proferiram palavras para encorajar e lutar quando não mais tinha forças para enfrentar os desafios, sem eles de nada seria.

As minhas irmãs Jacilene de Castro Freitas, Daniele de Castro Freitas, Gisele de Castro Freitas e Joyce de Castro Freitas que me incentivaram ao longo dessa jornada.

A minha namorada Maelly Larissa Mendes Pantoja, pela paciência e compreensão quando a vida acadêmica me ausentava. Porém, não mediu esforços para a construção de objetivos e alcançar um Sonho.

Ao Professor e orientador Me. José Claudio pela dedicação prestada, engrandecendo nosso desafio frente a conclusão do objetivo da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Lucinewton Moura, coordenador do laboratório de Química II, como também as técnicas Jandira e Mila, ao Prof. Dr. Reinaldo Peleja coordenador do laboratório de Biologia Aplicada e Edvaldo Lemos por terem contribuído com o espaço, equipamentos e a realização de análises para o bom andamento do estudo. Agradeço também ao Eng. Sanitarista Alisson Reis com a equipe Elvis e Fernando da - SALUTAR- por terem nos ajudado na composição e montagem das unidades do sistema ETA piloto.

Aos meus comandantes da 29ª CIPM (Companhia Independente de Polícia Militar) de Fronteira-Óbidos Tenente Arthur, Sargento Nogueira e a todo o efetivo do 7º Pelotão-Curuá por terem compreendido minha situação enquanto um militar-estudante.

Aos servidores da Escola Francisca das Chagas por terem fornecido subsídios para o andamento e desenvolvimento da pesquisa.

Por fim, dedicar e agradecer à todo o corpo Docente/Administrativo do BESA, que se fizeram presente ao longo desse período motivando-nos a enfrentar aos desafios da profissão. Aos amigos que foram formados na turma BESA 2012, que se fizeram presentes e dividimos bons momentos que levaremos para a vida.

Francisco Freitas Filho

RESUMO

RÊGO FILHO, Ângelo Tiago Campos; FREITAS FILHO, Francisco. **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.** 2017. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tratamento de Águas de Abastecimento) – Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Oeste do Pará.

Este trabalho teve como objetivo estudar a eficiência do tratamento de água subterrânea, por meio da implantação de estação piloto de tratamento de água tipo desferriização, 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. Para isso, foi produzido carvão ativado utilizando caroços de açaí por ativação química com agente ativante Hidróxido de Sódio – NaOH, preparado em forno Mufla a 600°C de temperatura, durante 2 horas, para a fabricação da zeólita foi utilizada caulinita da região de Santarém-PA e solução de NaOH como sintetizante. Os materiais produzidos foram arranjados no interior dos filtros, no primeiro filtro seixo/areia/carvão ativado e no interior do segundo filtro seixo/areia/zeólita A e camadas de areia com granulometrias diferentes. Para a análise da eficiência dos sistemas foram analisados parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, realizadas em seis pontos de coleta de amostras. Com esse estudo, foi possível verificar que com o emprego de CA no filtro rápido houve melhoras na sua cor, odor, neutralização do pH e na qualidade da água, observado desde a retenção de impurezas na análise de água bruta até o estágio final na saída para o reservatório. Os resultados de eficiência de remoção de ferro por unidade do sistema observados, foram de 18,94% (aerador), 32,95% (Leito de Contato), 90,33% (Filtro de carvão ativado), 56,52% (Filtro de Zeólita), 64,00% (Desinfecção), e eficiência global da estação de 99,17%. Vale ressaltar que analisando de forma isolada a utilização de zeólita como camada filtrante, observou-se um percentual de 100% de remoção de ferro, porém, foi constatado a necessidade de realização de algumas adequações para aplicação em escala piloto. Dessa forma pode-se concluir que a utilização de carvão ativado proveniente do caroço de açaí e zeólita, demonstraram-se eficiente como camada filtrante na remoção de ferro total de águas subterrâneas.

Palavras-chave: Tratamento de água, ferro total, carvão ativado, zeólita A.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema com ciclo completo de tratamento de água.....	16
Figura 2 - Aerador de bandejas.....	17
Figura 3 - Localização da área de estudo.	27
Figura 4 - Estação piloto de tratamento de água.....	28
Figura 5 - Diagrama esquemático das etapas do trabalho experimental.	29
Figura 6 (a) e (b) - Confecção dos tabuleiros do aerador.....	32
Figura 7 - Confecção do suporte do leito de contato parte 1.....	33
Figura 8 (a) e (b) - Confecção do suporte do leito de contato parte 2.	33
Figura 9 - a) Filtro 1; b) Filtro 2.....	34
Figura 10 - Layout da Estação Piloto de tratamento de água.....	35
Figura 11 - Etapas de produção de carvão ativado.....	36
Figura 12 - Descarte do caroço de açaí após beneficiamento.	37
Figura 13 - a) Lavagem do caroço; b) Secagem do caroço.	37
Figura 14 - Esquema das etapas de produção de Zeólita-A.	39
Figura 15 - Área de extração da caulinita.....	40
Figura 16 - Material em forno mufla.	40
Figura 17 - Síntese da Zeólita.	41
Figura 18 (a) e (b) - sedimentação do produto.	42
Figura 19 - Pontos de monitoramento.	43
Figura 20 - Estação piloto desativada.	46
Figura 21 - Preparação para construção da base em concreto.....	47
Figura 22 - Construção da base em concreto.	47
Figura 23 - Locação das unidades da estação piloto de tratamento de água.	48
Figura 24 - Adaptação da unidade de aeração	49
Figura 25 - Fabricação de unidade de desinfecção por partilhas de cloro.	49
Figura 26 - Locação das unidades da estação piloto de tratamento de água.	50
Figura 27 - Locação do meio filtrante.	51
Figura 28 - Agitador de peneiras.....	51
Figura 29 – (a)Camadas filtrantes do Filtro I e (b) Filtro II respectivamente.....	53
Figura 30 - Coleta das amostras de água.	53
Figura 31 – Carvão Ativado de Caroço de Açaí.	55

Figura 32 - Análise de DRX – amostra inicial.	56
Figura 33 - Análise de MEV da Zeólita.	57
Figura 34 - Formação de camada semi-impermeável no Filtro II.	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estudos que utilizaram Zeólitas.....	23
Quadro 2 - Estudos que utilizaram carvão ativado.	26
Quadro 3 - Unidades e parâmetros de dimensionamento.	30
Quadro 5 - Identificação dos pontos de coleta.	43
Quadro 6 – Parâmetros analisados.	44
Quadro 7 - Especificações das camadas que constituem o leito de contato.....	51
Quadro 8 - Especificações granulométricas das camadas que constituem os Filtros I e II.	52
Quadro 9 - Dados brutos em triplicata dos pontos de coleta inicial e final.	60
Quadro 10 - Dados brutos em triplicata das unidades da ETA - Piloto.	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultados de pH.	62
Gráfico 2 - Resultados de Turbidez.	63
Gráfico 3 - Resultados de Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade elétrica.	64
Gráfico 4 - Resultados das análises de ferro total em todos os pontos de coleta.	65
Gráfico 5 - resultados de concentração de ferro total por unidade da estação piloto de tratamento.	68
Gráfico 6 - Resultados de pH por unidade da estação piloto de tratamento de água.	69
Gráfico 7 - Variação dos valores de turbidez nas unidades da estação piloto de tratamento de água.	70
Gráfico 8 - Concentração de ferro na água bruta e na água tratada.	73
Gráfico 9 - valores de pH na água bruta e na água tratada.	74
Gráfico 10 - valores de sólidos totais dissolvidos na água bruta e na água tratada.	75
Gráfico 11 - valores de condutividade na água bruta e na água tratada.	76
Gráfico 12 - valores de amônia na água bruta e na água tratada.	77
Gráfico 13 - valores de turbidez na água bruta e na água tratada.	78
Gráfico 14 - Eficiência de remoção de ferro.	79

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 Sistemas de Abastecimento de Água.....	13
3.2 Sistemas de Tratamento de Água para Consumo Humano	15
3.3 Ocorrência de Ferro em Águas Subterrâneas.....	19
3.4 Características do Aquífero Alter do Chão	20
3.5 Utilização de Zeólita como Adsorvente	21
3.6 Carvão Ativado: utilização, tipos e técnicas de produção	23
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 Área de Estudo.....	27
4.2 Objeto de Estudo.....	28
4.3 Etapas da Pesquisa	29
4.3.1 Coleta de dados e informações.....	29
4.3.2 Dimensionamento da estação piloto	30
4.3.3 Produção de carvão ativado.....	36
4.3.4 Produção de Zeólita-A.....	39
4.3.5 Análise da eficiência de tratamento de água subterrânea da estação piloto de tratamento de água.	42
4.3.6 Implantação da estação piloto de tratamento de água.....	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1 Produção de Carvão Ativado Proveniente do Caroço de Açaí	54
5.2 Produção de Zeólita A Utilizando a Caulinita	55
5.3 Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas da Água	59
5.4 Análise da Eficiência de Tratamento da Eta - Piloto.....	66
5.4.1 Avaliação das unidades do sistema	66
5.4.2 Eficiência global de tratamento da ETA – piloto	71
5.4.3 Eficiência de remoção do ferro	78
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1 INTRODUÇÃO

Em sistemas de abastecimento de água podem ser utilizados diversos tipos de mananciais para captação de água. De acordo com a Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (2006). Os mananciais podem ser classificados, de acordo com sua origem em superficial, que é toda a água que escoar na superfície terrestre, abrangendo os rios, lagos, reservatórios artificiais, córregos e ribeirões; subterrâneo, que compreende a água que se encontra totalmente abaixo da superfície terrestre, envolvendo os lençóis freáticos raso e profundo; e águas meteóricas, que compreendem toda a água existente na natureza em forma de chuva, neve e granizo.

De acordo com Tsutuya (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 (RICHTER; AZEVEDO NETO, 1995).

Para Carvalho et al. (2005) as águas subterrâneas possuem teores elevados de sais em solução, por estarem intimamente expostas aos materiais solúveis presentes nos solos e nas rochas. Estudos e pesquisas desenvolvidas por Lima (2006) indicam que para a remoção de ferro das águas normalmente utilizam-se sistemas de desferrização, que consistem na oxidação das formas solúveis de sais ferrosos Fe^{+2} para as formas insolúveis de sais férricos Fe^{+3} . 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.

Para a remoção de ferro da água por meio da filtração, é necessário a utilização de um material adsorvente de baixo custo, e não necessite de reagentes químicos para sua regeneração. Dentre os materiais disponíveis no mercado para tal finalidade, as zeólitas têm mostrado bons resultados (Madeira et al. 2006). A remoção de íons de ferro da água alcançada pelo uso de zeólitas naturais e sintéticas é resultado do processo de oxidação e/ou adsorção, não sendo necessário

o uso de regenerantes, apresentando-se assim como um método eficiente e de baixo custo (Pergher et al., 2005).

O carvão ativado também pode ser utilizado na remoção de íons ferro da água. Segundo Rönnholm et al. (2001 apud por 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.

Segundo Teixeira et al. (2006), o caroço do açaí é uma fonte rica em carbono, apresentando teor acima de 48%. O resíduo restante do processo de beneficiamento do açaí, como caroço é um material de difícil decomposição em virtude de apresentar alto teor de lignina. Assim, estudos de Fernandes (2010), indicam que sua ação elimina cor, odor, mau gosto, remove substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas na água através do mecanismo da adsorção.

Nesse contexto, o estudo proposto neste trabalho é o de colocar em funcionamento estação piloto de tratamento de água desativada, instalada na escola municipal de ensino fundamental Francisca das Chagas em Santarém Pará, composta por sistema de aeração seguida por filtro, implantada como fonte alternativa de abastecimento de água da escola.

Assim este trabalho propôs acrescentar e modificar algumas unidades na estação piloto de tratamento de água, tais como, leito de contato de fluxo ascendente, conjunto de filtro rápido de fluxo descendente e unidade de cloração, com o objetivo de avaliar a eficiência do tratamento de água subterrânea através da presença de camadas filtrantes composta por carvão ativado e zeólita A. 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.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar a eficiência do tratamento de água subterrânea em estação piloto de tratamento de água, utilizando conjunto de leito de contato simples e conjunto de dois filtros rápidos composto de carvão ativado e Zeólita A, respectivamente.

2.2 Objetivos Específicos

- Inserir unidades de aerador tipo bandeja, leito de contato ascendente, conjunto de filtro rápido descendente e unidade de cloração a estação piloto de tratamento de água tipo desferrização desativada.
- Produzir carvão ativado proveniente do caroço do açaí através de ativação química com Hidróxido de sódio;
- Produzir Zeólita A;
- Realizar análises físico-químicas e bacteriológicas da água de abastecimento;
- Determinar a eficiência de tratamento dos parâmetros pH, cor aparente, turbidez e ferro total das unidades de aeração, leito de contato, conjunto de filtro rápido da estação piloto de tratamento de água;
- Determinar a eficiência global de tratamento da água do sistema piloto tipo desferrização conforme recomendado pela portaria 2914/2011 do ministério da saúde.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sistemas de Abastecimento de Água

Compreende o Sistema de Abastecimento de Água (SAA), o conjunto de estudos e conclusões a respeito do estabelecimento de todas as diretrizes, parâmetros e definições para a caracterização do sistema projetado, e possui como objetivo fundamental o fornecimento junto ao usuário, com uma água de boa qualidade para uso, com pressão suficiente e quantidade adequada a demanda (TSUTIYA, 2006). Um SAA é composto basicamente de:

- **Manancial:** é o corpo de água superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para o abastecimento. Deve fornecer vazão suficiente para atender a demanda de água no período de projeto, e a qualidade dessa água deve ser adequada sob o ponto de vista sanitário;
- **Captação:** conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao SAA;
- **Estação elevatória:** conjunto de obras e equipamentos destinados a recalcar a água para a unidade seguinte. Em SAA, geralmente há várias estações elevatórias, tanto para o recalque de água bruta, como para o recalque de água tratada. Também é comum a estação elevatória, tipo “booster”, que se destina a aumentar a pressão e/ou vazão em adutoras ou redes de distribuição de água;
- **Adutora:** canalização que se destina a conduzir água entre as unidades que precedem a rede de distribuição. Não distribuem a água aos consumidores, mas podem existir as derivações que são as sub-adutoras;
- **Estação de tratamento de água:** conjunto de unidades destinado a tratar a água de modo a adequar as suas características aos padrões de potabilidade;
- **Reservatório:** é o elemento do sistema de distribuição de água destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição;
- **Rede de distribuição:** parte do SAA formada de tubulações e órgãos acessórios, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendada (TSUTIYA, 2006, p. 9-10).

Os sistemas de abastecimento de água que dependem do tipo de manancial, topografia da área e da população que vai usufruir da água. Como a concepção de sistemas de abastecimento de água com captação em manancial superficial

(represas, reservatórios e em manancial de serra) e em manancial subterrâneo (TSUTIYA, 2006).

Em sistemas de abastecimento de água podem ser utilizados diversos tipos de mananciais para captação de água. 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.

Miranda (2007) acrescenta ainda que a 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 naturais têm um conjunto de sais em solução. Contudo, geralmente, águas subterrâneas possuem teores maiores 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).

As águas subterrâneas têm propriedades físicas, como a temperatura com uma amplitude térmica pequena; a cor que se caracteriza por ser um resultado de substâncias dissolvidas, quando pura tem a textura azulada, rica em ferro arroxeadas/avermelhadas, com grande quantidade de manganês torna-se negra e quando com muitos ácidos húmicos fica amarelada para ser potável, e a água não deve apresentar nenhuma cor de considerável intensidade segundo a Organização Mundial da Saúde (ZIMBRES, 2000).

Duas outras propriedades físicas da água são o odor e o sabor que se manifestam em conjunto, e que dependem dos sais e gases dissolvidos; como também a turbidez que mede a dificuldade de um feixe de luz atravessar em uma

certa quantidade de água; os sólidos em suspensão que refere-se a carga sólida em suspensão; condutividade elétrica definida como a capacidade de conduzir a corrente elétrica; e a dureza que é caracterizada como a dificuldade da água em dissolver sabão pelo efeito de outros elementos (ZIMBRES, 2000).

De acordo com Tsutiya (2006) a operação dos sistemas de abastecimento está ligada à demanda de água. Assim, foram criadas categorias de consumo de água, como: doméstico, comercial, industrial e público. Na utilização de água na categoria industrial e pública várias são os estabelecimentos que utilizam a água, como restaurantes, escolas, hotéis, lojas, enfim que realizam atividades que requerem mais ou menos 50 L/dia de consumo, por isso é interessante a alternativa de utilização de águas subterrâneas.

3.2 Sistemas de Tratamento de Água para Consumo Humano

Para que se obtenha água de qualidade, é necessário selecionar processos de tratamento que permitam a remoção ou redução de alguns dos elementos da água bruta. Desse modo, a natureza da água bruta e a potabilidade da água que se deseja tratar se fazem na condição principal da seleção dos processos unitários (RICHTER, 2009).

De acordo com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2007) o sistema em ciclo completo de tratamento de água, consiste nas seguintes etapas:

- Coagulação: é a mistura de coagulante na água, ou seja, a mistura de produtos químicos na água a ser tratada, de modo que as impurezas e determinados contaminantes dissolvidos acabam por ser “desestabilizados” para começar a constituir partículas maiores;
- Floculação: começa logo após a coagulação, em que a água é posta em floculadores (flocos) com intensidade de agitação menor de modo a não quebrar os flocos que estão sendo formados;
- Decantação: é a próxima etapa que promove a sedimentação dos flocos formados, dessa forma retira as impurezas da água;

- Filtração: é a última barreira que tem a função de reter as partículas de impurezas que ainda restaram desde o início do processo (coagulação).
- Desinfecção: possui como objetivo, a eliminação dos organismos patogênicos que por acaso não foram retirados nas etapas anteriores (coagulação, floculação, decantação, filtração);
- Fluoretação: objetiva a proteção dos dentes contra cárie. O Ministério da Saúde determina a utilização do flúor na água.

Na Figura 1 é mostrado um a ordem simples de sistema convencional de tratamento de água.

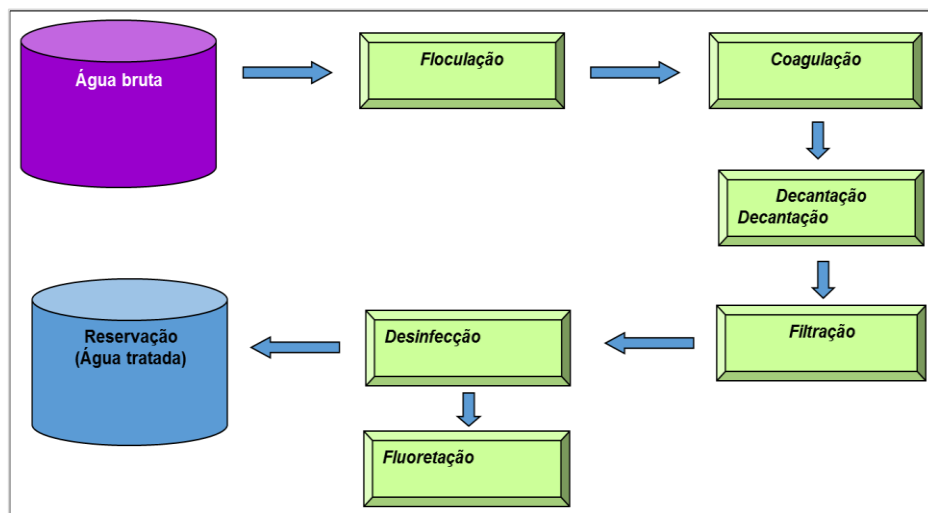


Figura 1 - Sistema com ciclo completo de tratamento de água.

Fonte: Direta.

Outros tratamentos são indicados quando se trata de potabilidade da água, a aeração ocorre pela utilização de aeradores, onde é introduzido ar na água o que fará com que haja formação de precipitado dos contaminantes (metais como ferro e manganês), podendo também tornar alguns metais insolúveis na água, sendo possível sua remoção por meio de decantadores ou filtros (Heller; Pádua, 2006). Os equipamentos utilizados para aeração segundo ABNT (1992) são: bandejas perfuradas sobrepostas, cascatas, escadas, ar comprimido, tanques com aeradores mecânicos e torre de aeração.

Ainda existem várias unidades de aeração, as mais comuns de acordo com Richter e Azevedo Netto (1991) são: aeradores de queda por gravidade (tipo cascata e tipo tabuleiro); aeradores de repuxo; e aeradores de borbulhamento. O aerador de

queda por gravidade (tipo cascata) é empregado comumente para a retirada de substâncias voláteis em instalações menores com vazões pouco erguidas.

O aerador mais recomendado para o melhoramento de oxigênio e a oxidação de compostos ferrosos e manganosos por meio da inserção de oxigênio, é o aerador de queda por gravidade (tipo tabuleiro). Sua construção se dá na confecção de três a nove tabuleiros ou “bandejas”, de medidas iguais e sobrepostos, com distância entre 0,30 a 0,75 m de altura, por onde percolará a água. A primeira bandeja (a mais alta) terá a função de distribuir a água de forma uniforme, devendo possuir perfurações assim como todas as outras, porém, as demais deverão ser construídas com uma treliça, onde conterá uma camada de material granular, superfície de contato, como pedras, seixos sobre o qual acelerarão as reações de oxidação (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

Os aeradores de repuxo possuem uma eficiência maior para a interação de gases e substâncias voláteis, que poderão ser usados em instalações maiores. Repetidamente, quando se necessita altura para o jato, é estabelecida pressão de 2 a 7 metros e, conseqüentemente, do tempo de posição especificado. Na Figura 2 é mostrado um aerador tipo bandeja.

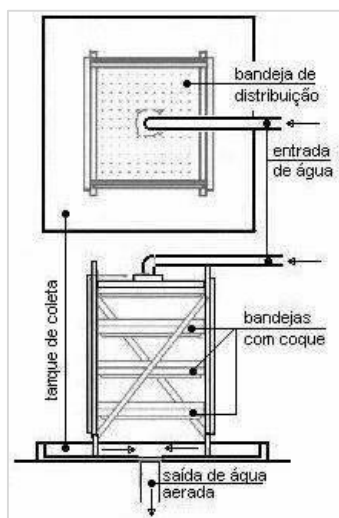


Figura 2 - Aerador de bandejas.
Fonte: Richter, 2009.

Richter e Azevedo Netto (1991) afirmam que a filtração é um processo que separa o sólido do líquido, onde empregam-se fenômenos físicos, químicos e em algumas vezes, biológicos (filtros lentos). O objetivo de sua utilização se dá na retirada de impurezas suspensas na água e por passar em um meio poroso (areia). Sua velocidade de passagem pelo leito filtrante determina sua denominação, quando

baixa (filtro lento) e quando elevada (filtro rápido). Richter (2009) ressalta que a remoção da matéria que fica em suspensão pelo filtro e o seu desempenho hidráulico sofrem grande influência dos tamanhos dos grãos e os vazios dos poros.

Um meio filtrante é o filtro de areia que caracteriza-se pelo funcionamento semelhante aos filtros lentos da ETA. É usado uma camada de carvão vegetal, um filtro de areia, com o intuito de adsorver compostos que causam sabor e odor na água (HELLER; PÁDUA, 2006).

Para Richter (2009) o meio filtrante direto constitui-se na passagem da água previamente coagulada por um leito filtrante, podendo ser de fluxo descendente e ascendente; sendo que do tipo descendente a decantação é eliminada, assim a água coagulada e floculada atravessa direto para os filtros. E os filtros ascendentes também são denominados de clarificadores de contato ou “filtros russos” que são compostos por uma camada espessa de areia com cerca de 2 m de espessura. A vantagem de filtros do tipo ascendente consiste no fato de passar nos grãos mais grossos para os grãos mais finos, assim diminui o volume dos poros, usando apenas a areia como material filtrante.

Outra camada do filtro é a camada suporte que é constituído por pedregulho, divididas em cinco subcamadas com altura correspondendo a 0,45 a 0,55 mm; entretanto a altura pode ser reduzida com fundo Leopold de 0,25m, fundo Wagner blocks de 0,35m e com o fundo Wheeler de 0,30m. Sendo que os fundos dos filtros são classificados em três tipos usuais que são com fundos falsos com bocais ou tubos distribuidores (bocais do tipo DAE de 0,75 m com 0,35 l/s por bocal, bocais tipo “Umbrela” de ½ de 0,85 m com 0,6l/s por bocal), com fundos de sistema de canalizações perfuradas e fundos com blocos Leopold. (RICHTER; AZEVEDO NETO, 2011).

A filtração rápida consiste em uma instalação pequena, que vem evoluindo com o passar dos anos, anteriormente eram filtros apenas com uma camada de areia, hoje já existem com mais camadas filtrantes, sendo estes últimos usam menos água na lavagem (RICHTER; AZEVEDO NETO, 2011).

Os filtros de água possuem material granular com tamanhos variados dependendo do padrão, em alguns casos, o tamanho dos grãos faz-se pela passagem de uma amostra seca e representativa do material granular por meio de peneiras com coberturas, a ABNT (Associação Brasileira de Normas e Técnicas) especifica métodos para areia, antracito e pedregulho. Os autores ainda

acrescentam que “as quantidades retidas em cada peneira são pesadas e relacionadas como percentagens de massas retidas. Esses valores permitirão determinar as porcentagens acumuladas de grãos menores ou iguais a cada abertura de peneira” (RICHTER; AZEVEDO NETO, 2011).

Diante dos diversos processos de tratamento de água supracitados, poderão ser utilizados para remoção e oxidação de ferro e manganês, devido sua ocorrência ser comum em meio natural. A partir de estudos realizados por Di Bernardo (2006) apontou que a oxidação com pH adequado adicionado de aeração ou uso de oxidantes químicos são os mais eficientes e mais empregados no saneamento ambiental. Os métodos mais usados para controlar e retirar o ferro e manganês são de *formação de precipitado e filtração* que consiste na aeração, sedimentação e filtração com ou sem adicionar cloro e alcalinizante para estabilização do pH; da *oxidação com permanganato de potássio, cloro, dióxido de cloro ou ozônio* acompanhado do processo de filtração com ou sem adicionar alcalinizante; de *troca iônica* processo recomendado quando a ocorrência de ferro e manganês são baixas; e, de estabilização com polifosfatos.

O procedimento adotado com filtração cloração se torna simples, e se usa somente unidades pequenas de filtro e cloração. E em algumas ocasiões podem ser solicitados hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) em um tanque pequeno de fixação e outro sistema para que se ajuste o pH (MORUZZI, 2012).

3.3 Ocorrência de Ferro em Águas Subterrâneas

O ferro é um dos metais mais abundantes do planeta terra ficando atrás apenas do alumínio, sendo este o elemento encontrado com maior frequência nas águas subterrâneas (RICHTER; AZEVEDO NETO, 2011). A presença do teor elevado 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.

O ferro está presente no solo e em minerais, 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).

Em águas naturais e na ausência de oxigênio, o ferro e o oxigênio são encontrados na natureza e apresentam-se de forma reduzida quimicamente (Fe^{+2}). 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).

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 ferruginea*. 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.

3.4 Características do Aquífero Alter do Chão

Do período Cretáceo, a Formação Alter do Chão que abrange a região de Santarém, possui aquíferos que são constituídos de areias e arenitos de granulação fina a grossa e cascalhos e por areias finas a médias, do Quaternário. Dessa forma, os aquíferos do período Quaternário, posicionam-se em planícies aluviais dos principais igarapés, seguindo seus baixos cursos. E apresentam espessuras máximas em média de 20 m, havendo pequena representatividade espacial. Já no sistema hidrogeológico do sistema Alter do Chão estendido por toda área, apresenta espessura aproximadamente de 600 m. 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).

3.5 Utilização de Zeólita como Adsorvente

As zeólitas caracterizam-se por serem aluminosilicatos hidratados com uma composição cristalina com uma geometria precisa, possuindo poro com tamanhos uniformes, constituindo canais de dimensões moleculares, com propriedades singulares de adsorção e troca iônica seletiva. Três são as etapas para a produção da zeólita: moagem e calcinação do rejeito de caulim, preparação de NaOH e preparação da zeólita (LUZ, 1999).

No estudo de Rodrigues, Almeida, Reis, Santos, Brito e Souza (2014) o objetivo da investigação consistiu em sintetizar a zeólita com o propósito de adsorver cobre de uma solução de Sulfato de Cobre materializada com Hidróxido de Amônia. A síntese do material zeolítico utilizou, como fonte de sílica e alumínio, o metacaulim calcinado em uma temperatura de 600° em forno cilíndrico com uma solução de NaOH 5M por 2 horas. Sendo a 95°C que a síntese do zeólita ocorreu em um reator com balão volumétrico com manta aquecedora, como também continha agitador, controlador de temperatura e de condensador. Os autores concluíram que zeólita é uma fonte eficiente de em adsorver metais pesados.

Outra investigação que manipulou zeólitas foi a de Carvalho, Fungaro e Izidoro (2012) em que foi produzido zeólita sintética a partir de cinza leve de carvão retida no filtro de manga, constituída de alumina (21%) e sílica (44,0%), sendo que a cinza leve foi coletada na Usina Termelétrica Carbonífera de Cambuí Ltda., localizada no estado do Paraná. O estudo teve como objetivo preparar um adsorvente para o corante reativo laranja 16 (RL16). Os resultados mostraram que a zeólita possui potencial para ser utilizada como um material alternativo na remoção de cor de efluentes aquosos.

No estudo Jimenez, Bosco e Carvalho (2004) utilizaram a escolécita, uma zeólita bastante abundante no município de Morro Reuter que fica no Estado do Rio Grande do Sul. Teve como objetivo promover testes de aplicação com esta zeólita na tentativa de reter cátions de metais de transição encontrados nos efluentes

gerados pelos segmentos da indústria química. Os testes foram realizados com diferentes concentrações dos cátions de cádmio(II), cromo(III), manganês(II) e níquel(II) com a variação de 10 a 5000 mg L, variando também em temperatura de 25, 40 e 60 °C e de pH entre 4 e 6. Com os testes foi possível verificar que a adsorção aumentou consideravelmente quando a temperatura foi aumentada para 60 °C e que a capacidade máxima de adsorção foi observada a pH 6.

Pergher, Caovilla e Detoni (2005) realizaram um estudo para avaliar a zeólita NaX comercial remove metais de solução aquosas, como também avaliar o que influencia na remoção. Foi colocada as concentrações de Cu em um espectrômetro de absorção atômica, sendo que o efeito da concentração inicial do íon metálico na capacidade de adsorção da zeólita NaX com pH inicial igual a 4,0 foi determinado usando soluções com concentrações variando de 50 a 1000 mg/L de Cu²⁺. A conclusão do estudo apontou que NaX remove metais efluentes industriais, ou seja, a granulometria da zeólita exerce um papel importante no processo de adsorção; sendo que a NaX moída apresentou maior capacidade de absorção com o pH de 4,5, com a concentração de 1000mg/l de Cu com tempo de agitação de 24h.

Já no estudo de Mignoni, Detoni e Pergher (2007) a zeólita utilizada na investigação foi ZSM-5, com o objetivo de propor novas rotas de síntese para a zeólita. Dessa forma, foi realizado três procedimentos, a síntese padrão (diluindo a sílica em água, aluminato de sódio e hidróxido de sódio em água e brometo de tetrapropilamônio em água) síntese três dias (álcool como co-direcionador e em menor tempo de síntese) e síntese empregando argilas (fontes alternativas de matérias-primas). Foi possível detectar no estudo que a zeólita ZSM-5 é possível empregando argilas, que a caulinita conduz a fases ZSM-5 mais cristalinas que a montmorillonita, e mesmo na forma natural (sem calcinação) se obtêm fases zeolíticas. No Quadro 1, estão relacionados alguns estudos que utilização zeólita como adsorvente.

AUTORES	TIPO DE ZEÓLITA	TÉCNICA DE PRODUÇÃO UTILIZADA	FINALIDADE DA ZEÓLITA
Rodrigues, Almeida, Reis, Santos, Brito e Souza (2012)	Caulim como matéria- prima	O metacaulim foi calcinado na temperatura de 600°C por 2 horas em um forno cilíndrico mais um solução de NaOH 5M.	Comprovar a eficiência das zeólitas como adsorventes de metais pesados
Carvalho, Fungaro e Izidoro (2010)	Cinza leve de carvão	Carvão foi retirado do filtro manga, constituída principalmente de alumina (21,9%) e sílica (44,0%).	Remoção do corante reativo laranja 16 (RL16) de efluentes aquosos.
Jimenez, Bosco e Carvalho (2004)	Escolecita, zeólita abundante no Rio Grande do Sul	O procedimento consistiu em troca iônica de soluções monoelementares, em temperatura de 25 °C, 40 °C e 60 °C, com a variação do valor de pH de 4 a 6.	A zeólita escolecita pode ser utilizada para a remoção de metais pesados de efluentes aquosos, sob condições otimizadas.
Pergher, Caovilla e Detoni (2005)	Zeólita NaX	A NaX foi utilizada com pH inicial igual a 4,0 com soluções em concentrações variando de 50 a 1000 mg/L de Cu ⁺² .	A granulometria da zeólita exerceu a adsorção de metais efluentes industriais, principalmente quando o pH era 4,5 e concentração de 1000mg/l de Cu.
Mignoni, Detoni e Pergher (2007)	Zeólita ZSM-5	A síntese da ZSM-5 foi feita em três procedimentos: padrão, de três dias e empregando argilas.	Foi possível verificar eu há outras formas de sintetizar a zeólita ZSM-5.

Quadro 1 - Estudos que utilizaram Zeólitas.

Fonte: Pesquisa bibliográfica.

3.6 Carvão Ativado: utilização, tipos e técnicas de produção

No tratamento de águas contaminadas com metais ocorrem processos físico-químicos, precipitação, eletrólise, cristalização e adsorção. Para a remoção de tais metais, ultimamente, pesquisadores tem testado e despertado para alternativas baratas e grande aplicabilidade. 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.

De acordo com Brum (2007) a produção de carvão ativado (CA) a partir de resíduos, caracteriza-se por ser um material carbonáceo e poroso disposto pela carbonização e ativação de substâncias orgânicas, de modo especial de origem vegetal. Para adsorção de poluentes são utilizados os carvões ativados como catalisadores, para purificar, tratar efluentes em fases líquidas e gasosas.

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 (WIGMANS, 1989 *apud* 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 perolizado a temperatura acima de 800°C juntamente com vapor de água, dióxido de carbono ou ar; esse processo acaba com o CO ou CO + H₂ com a criação da porosidade no material, isso ocorre pelo fato de perder carbono o que culmina no alargamento dos poros (RODRIGUEZ-REINOSO et al., 1995 *apud* BRUM, 2007).

Na ativação química, ocorre que no material é colocado produtos químicos como cloreto de zinco ou ácido fosfórico ou hidróxido de potássio, e logo a seguir carboniza-se em atmosfera inerte com temperaturas entre 400°C e 900°C (RODRIGUEZ-REINOSO et al., 1995 *apud* BRUM, 2007). A porosidade é a característica fundamental para o melhor desempenho de adsorção dos CA (BRUM, 2007). Existem muitos estudos que trabalham com CA e mostraram a eficácia e a eficiência em trabalhar com esse processo, principalmente quando diz respeito ao tratamento de água.

O estudo de Pereira e Rodrigues Junior (2013) teve por 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

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 termostaticado com agitação por 24 horas, com as isoterms 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. No Quadro 2 são mostrados alguns autores que utilizaram o carvão ativado como adsorvente.

ESTUDO	AGENTE DE ATIVAÇÃO DO CARVÃO E TEMPERATURA	FINALIDADE DO CARVÃO ATIVADO
Leal (2003)	Pó do Mesocarpo de coco verde, posto para secar a 60°C.	Adsorvente na remoção de tipo de corante – Remazol Black B.
Carvalho (2005)	Bagaço de cana-de-açúcar, posto para secar em 80°C em estufa.	Adsorvente de ferro em solução contaminada.
Pereira e Rodrigues Junior (2013)	Caroço de Açaí, posto para secar em uma temperatura de 50°C por 5 horas.	Adsorvente de resíduos no tratamento de água, foi alcançado o objetivo de deixar potável a água para consumo humano.
Claudino (2003)	Turfa da região de Araranguá (SC), tratada com a temperatura de 298K.	Adsorvente para remoção de fenol em solução aquosa e de NO em fase gasosa.
Pfeiffer, Fiszman, Malm e Azcue, (1986)	Aguapé Baronesa (Eichornia crassipes), planta de regiões quentes.	Adsorvente que removeu os metais Pb, Cu, Cr e Zn.

Quadro 2 - Estudos que utilizaram carvão ativado.

Fonte: Pesquisa bibliográfica.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

O Trabalho foi desenvolvido na área da 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 3.

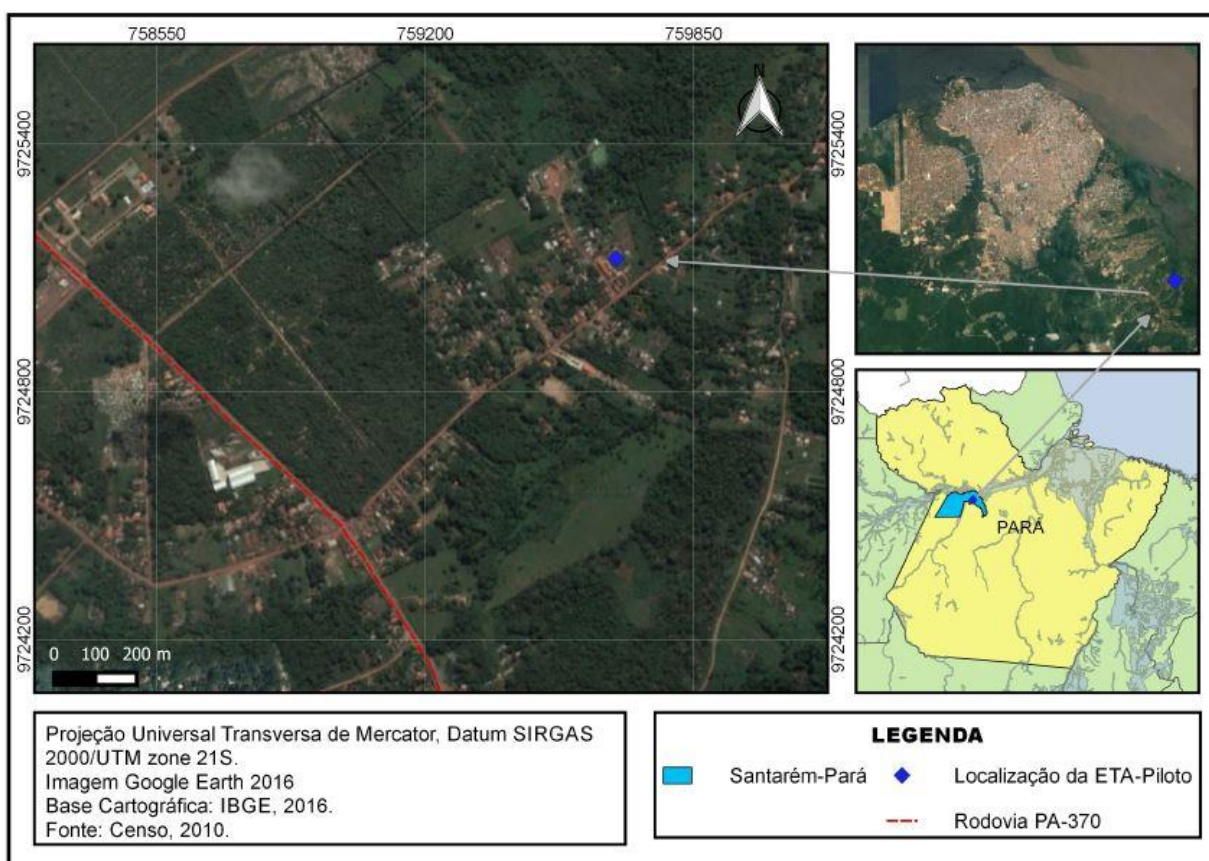


Figura 3 - Localização da área de estudo.
Fonte: Direta.

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).

4.2 Objeto de Estudo

O objeto de estudo desta pesquisa foi a estação piloto de tratamento de água desativada da escola Francisca das Chagas, composta por aerador de tabuleiro, seguido de filtro e cloração de água, como mostrado na Figura 4.

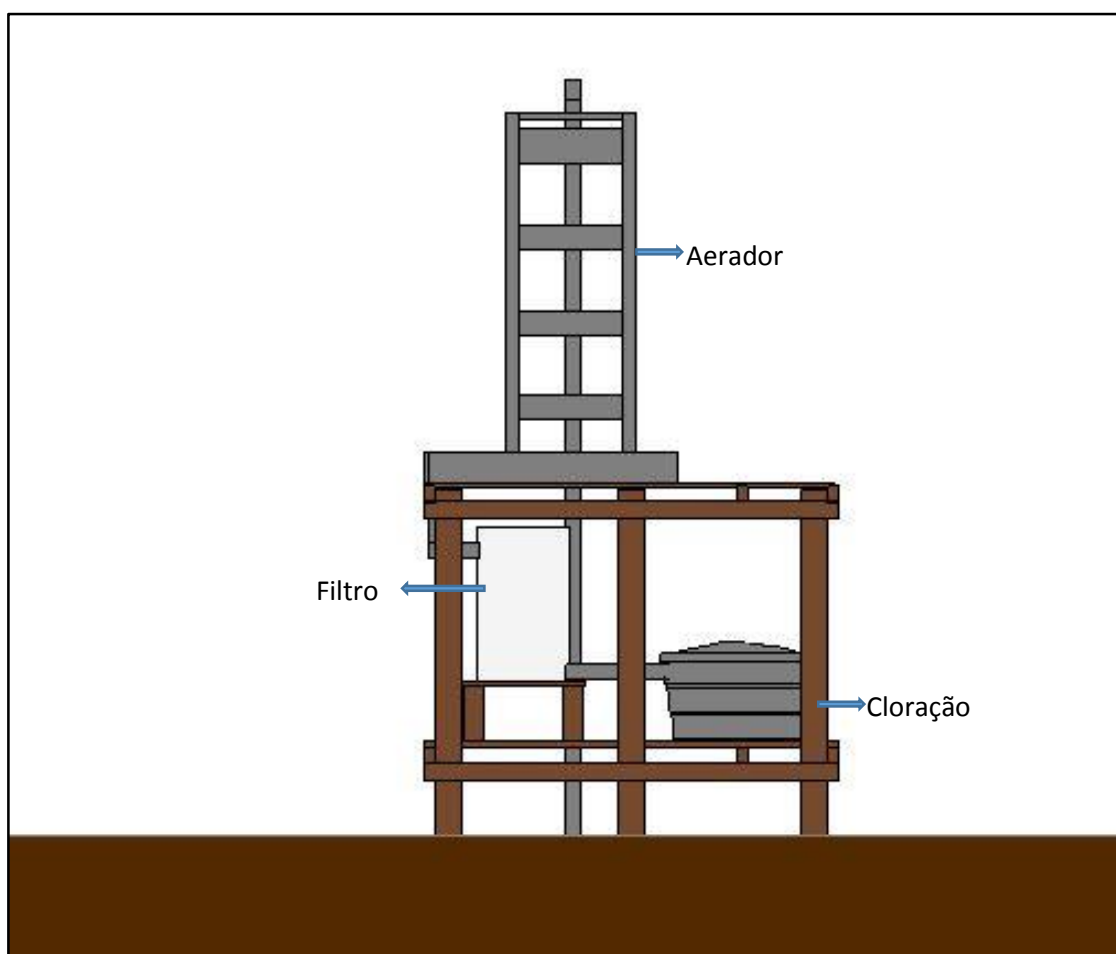


Figura 4 - Estação piloto de tratamento de água.

Fonte: Adaptado Azevedo e Farias 2015.

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 desta pesquisa, foi devido à presença de elevada concentração de ferro (maior que 3mg/L), na água para abastecimento.

A seguir são descritas as etapas e procedimentos experimentais adotados nesta pesquisa.

4.3 Etapas da Pesquisa

O delineamento experimental proposto neste trabalho foi desenvolvido em 6 (seis) etapas, conforme apresentado na Figura 5.

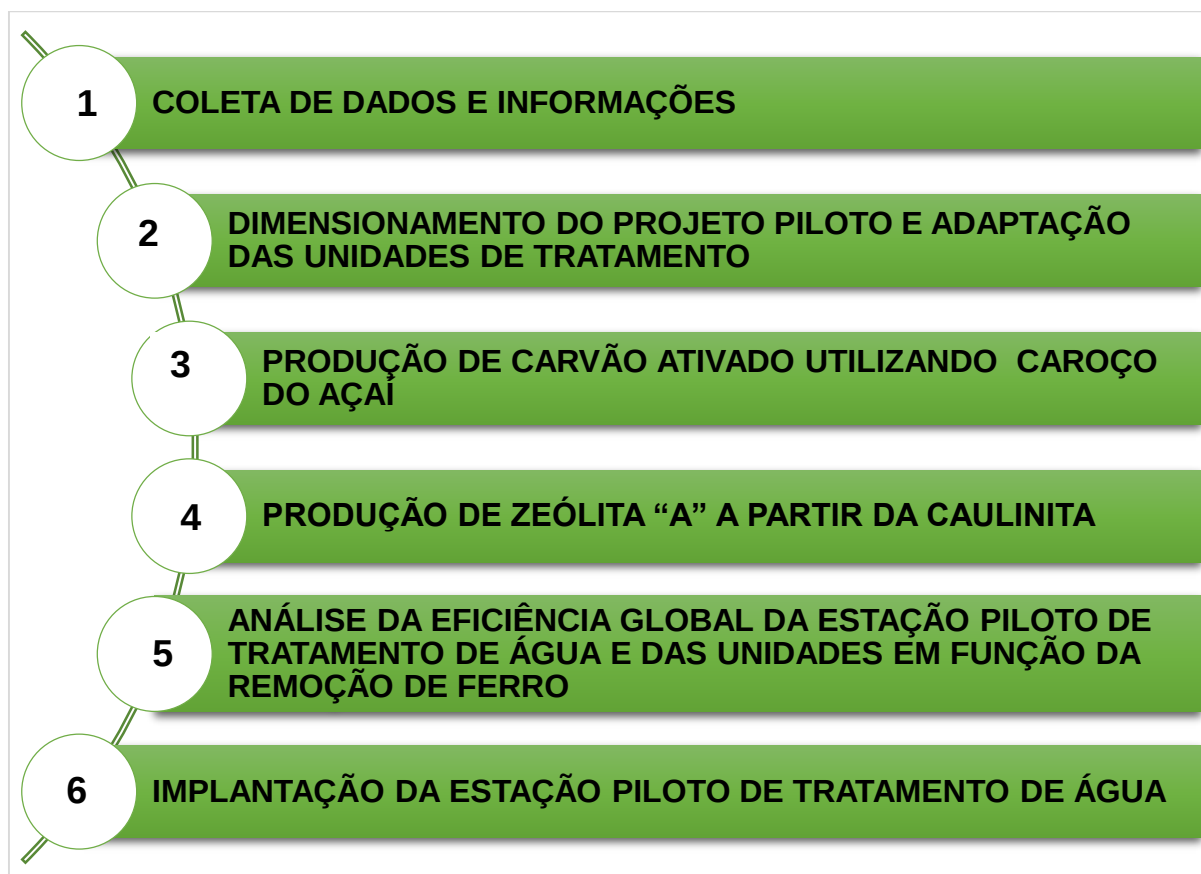


Figura 5 - Diagrama esquemático das etapas do trabalho experimental.
Fonte: Direta.

4.3.1 Coleta de dados e informações

Nesta etapa foram realizadas pesquisas bibliográficas, visitas *in loco* e entrevistas com os funcionários da escola para obtenção de dados sobre condições de fornecimento, qualidade da água, características do local e etc. Foram feitas visitas técnicas para coleta de água para análise do teor de ferro presente na água de abastecimento da fonte subterrânea, assim como, realizar teste de vazão

volumétrico através de cronometro digital e recipiente (balde de 20L) para a implantação do sistema e para averiguar o funcionamento do mesmo segundo a proposta da pesquisa, além de monitorar o andamento e enfatizando as principais dificuldades e os principais avanços no sistema.

Também foram realizados testes de vazão durante cinco dias para que fosse possível estimar um valor médio de vazão do poço. Vale ressaltar que o método de medição o de volume/tempo, com utilização de um recipiente de volume conhecido e cronômetro para marcação do tempo.

4.3.2 Dimensionamento da estação piloto

Nesta etapa, o sistema de tratamento de água existente, foi redimensionado conforme necessidades observadas, de modo a atender os padrões almejados nesta pesquisa.

A estação piloto de tratamento de água utilizada neste trabalho é do tipo desferrização, projetada com aeradores tipo tabuleiro, leito de contato de fluxo ascendente e conjunto de dois filtros rápido de fluxo descendente. O dimensionamento foi realizado, com base na literatura e norma técnica NBR 12216/92 sobre a temática. Foram calculados as dimensões de cada unidade da estação piloto como mostrado nos Quadro 3.

(Continua)

DIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO PILOTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA – TIPO DESFERRIZAÇÃO	
Vazão do Poço	105.408 m ³ /d ou,
	4.392 m ³ /h ou,
	0,00122m ³ /s ou,
	1,22 L/s

Quadro 3 - Unidades e parâmetros de dimensionamento.

Fonte: Direta.

(Conclusão)

DIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO PILOTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA – TIPO DESFERRIZAÇÃO		
AERADOR DE TABULEIRO		
Forma	Quadrada	
Taxa de aplicação de aeração (Tx)	540 m³/m² x d	
Área das bandejas dos aeradores	A= Q(m³/d)/Tx	0,20 m²
Lado da bandejas dos aeradores	A ^{1/2}	0,45 m
Espaçamento entre as bandejas	0,30 a 0,75 m	0,40 m
Altura das bandejas	0,10 m	
Nºde tabuleiros	3 a 9 tabuleiros	7
DIMENSÕES DOS TABULEIROS		
Distribuidora	0,90 x 0,90 x 0,10m	
Tabuleiros	0,90 x 0,90 x 0,10m	
Coletora	1,80 x 1,80 x 0,15m	
Diâmetro da tubulação de entrada	0,040	m
Diâmetro da tubulação de saída	0,050	m
LEITO DE CONTATO ASCENDENTE		
Taxa de filtração (Tx)	360 m³/m² x d	
Área filtrante	Af = Q * 86.4 / Txmáx	0,30 m²
Lado do Leito de Contato	Af = L ²	0,55 m²
Diâmetro do filtro adotado	0.60 m	
Diâmetro tubulação	DafL = K *(Qm³/s^0,5); K = 1,5	0,052 m
Altura Total do Leito	Ht=1,5 m	
CONJUNTO DE FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE		
Taxa de filtração (Tx)	360 m³/m² x d	
Diâmetro do filtro	0.60 m	
Diâmetro da tubulação de entrada do filtro	0.050 m	
Diâmetro da tubulação de saída do filtro	0.050 m	
Altura do filtro	1 m	
Diâmetro de entrada da retrolavagem	0.032 m	
Diâmetro de saída da retrolavagem	0.040 m	
Nº de unidades	2 und	

- **Descrição da unidade de aeração**

Esta unidade já era compreendida por 4 (quatro) tabuleiros com dimensões de 0,90x0,90x0,10 m cada um, e foi complementada com mais 3 (três) tabuleiros que foram confeccionados na empresa *Salutar*; especializada na fabricação em fibra de vidro de sistemas para tratamento de esgoto e água.

A fabricação desta unidade foi realizada pelo processo de laminação manual em placas de fibra de vidro, com total de 4 mm aproximadamente conforme mostrado na Figura 6 (a) e (b), e sustentado por estrutura de fibra de vidro, com altura útil de 3,50m, composto por sete bandejas perfuradas e sobrepostas, distanciadas de 0,4 m, com seção quadrada de 0,90 x 0,90 m por onde a água escoar, e é encaminhada para o tabuleiro coletor com lado de 1,80 m e altura de 0,15 m.



Figura 6 (a) e (b) - Confeção dos tabuleiros do aerador.
Fonte: Direta.

- **Descrição do Leito de Contato**

A unidade de leito de contato foi confeccionada em fibra de vidro, com diâmetro interno de 0,60 m e altura de 1,5 m, as peças para fabricação do leito foram laminadas em duas partes circulares como mostrado na Figura 7 e 8 (a) e (b) respectivamente e posteriormente foram unidas junto com um fundo em fibra de vidro através do processo de laminação com uso da resina, catalizador e a fibra de vidro. Foi executado o furo na unidade para a entrada e saída da água no diâmetro

de 0,050 m e para o sistema de retro lavagem da unidade foi feito um furo para a entrada da água de 0,032 m e 0,040 m para saída. Nesta unidade do sistema, a água percorre as camadas de seixos em fluxo ascendente.



Figura 7 - Confecção do suporte do leito de contato parte 1.
Fonte: Direta.

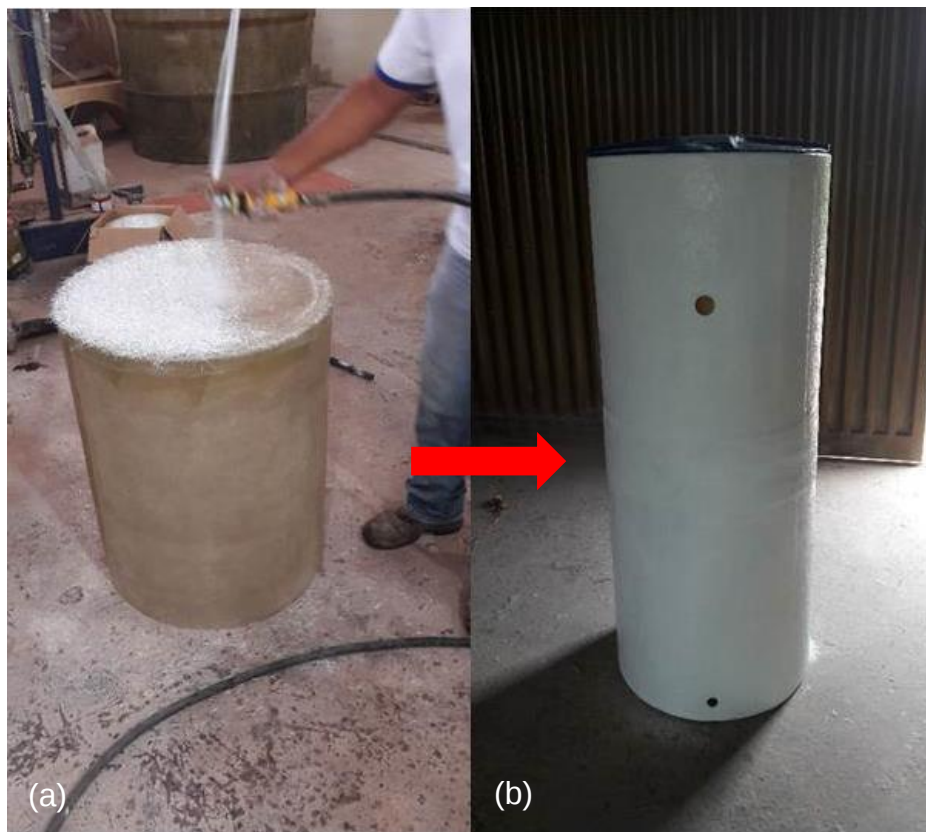


Figura 8 (a) e (b) - Confecção do suporte do leito de contato parte 2.
Fonte: Direta.

- **Descrição da unidade de filtração**

Nesta etapa foi utilizado um conjunto composto de dois filtros rápido de fluxo descendente, de forma geométrica circular. Para o primeiro, foi usado o filtro de fibra de vidro já existente na estação piloto como mostrado na Figura 9 a, com dimensões de 0,60 m de diâmetro e 1 m de altura, enquanto que para o segundo filtro, foi utilizado uma bombona plástica de 100 litros, com diâmetro de 0,50 m e altura de 1 m conforme mostrado na Figura 9 (a) e (b).

Vale observar também que, foram executados dois furos nas unidades, para a entrada e para a saída de água no diâmetro de 0,050 m e para o sistema de retro lavagem das unidades foi adotado para a entrada da água canalização de 0,032 m e 0,04 m para saída. Nesta etapa a filtração da água percorre a camada filtrante no sentido descendente.



Figura 9 - a) Filtro 1; b) Filtro 2.

Fonte: Direta.

Para a implantação das unidades da estação piloto de tratamento de água tipo desferrização, foi proposto o layout mostrado na Figura 10.

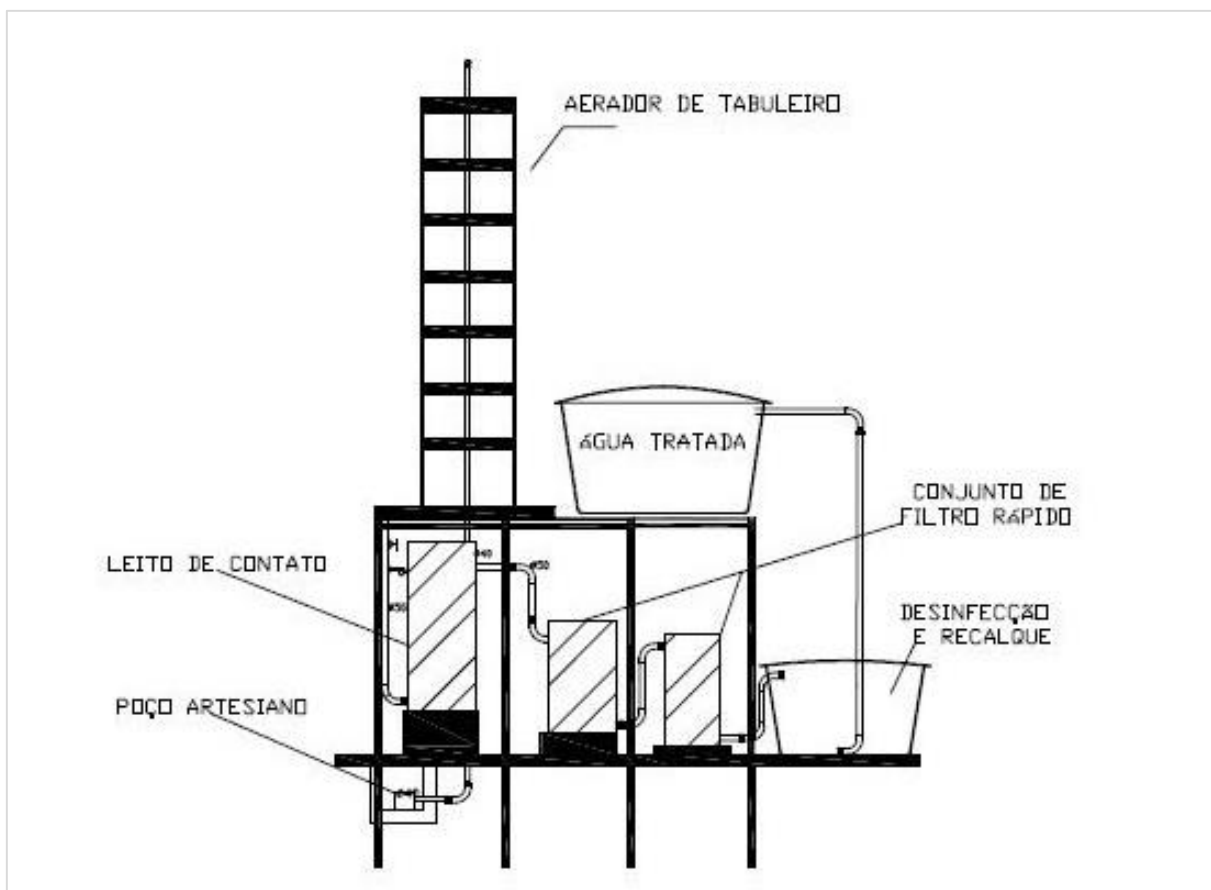


Figura 10 - Layout da Estação Piloto de tratamento de água.

Fonte: Direta.

• Manual de operação da Estação de tratamento de água piloto Tipo desferrização

A captação de água bruta para o sistema piloto tipo desferrização é realizada através de poço artesiano existente na Escola Francisca das Chagas, com uma vazão de 1,22 L/s controlada por meio de registro, de maneira a permitir, que o sistema seja operado com vazão adequada para não ocorrer perda de água elevada. A seguir são descritos os procedimentos realizados para a operação do sistema:

- Inicialmente fecha-se os registros de entrada de Ø 32 mm e de saída de Ø 40 mm da retro lavagem tanto do leito de contato quanto do conjunto de filtro rápido;
- Depois abre-se o registro de esfera de Ø 40 mm do poço que permite a entrada de água ao aerador tipo tabuleiro;

- Após passar pelo aerador a água é encaminhada por gravidade ao leito de contato de fluxo ascendente através de uma tubulação de PVC de Ø 50 mm;
- Do leito de contato a água é conduzida por uma tubulação Ø 50 mm ao filtro rápido por fluxo descendente;
- Ao cruzar em sentido descendente o leito filtrante e a camada suporte, a água é conduzida para uma tubulação de PVC de Ø 50 mm e encaminhada para o segundo filtro de fluxo descendente;
- Em seguida a água é encaminhada para o dispositivo de desinfecção e assim é encaminhada para reservatório de água filtrada.

4.3.3 Produção de carvão ativado

Para a produção do carvão ativado proveniente da matéria prima do caroço de açaí, foi realizado o delineamento experimental conforme apresentado na Figura 11.

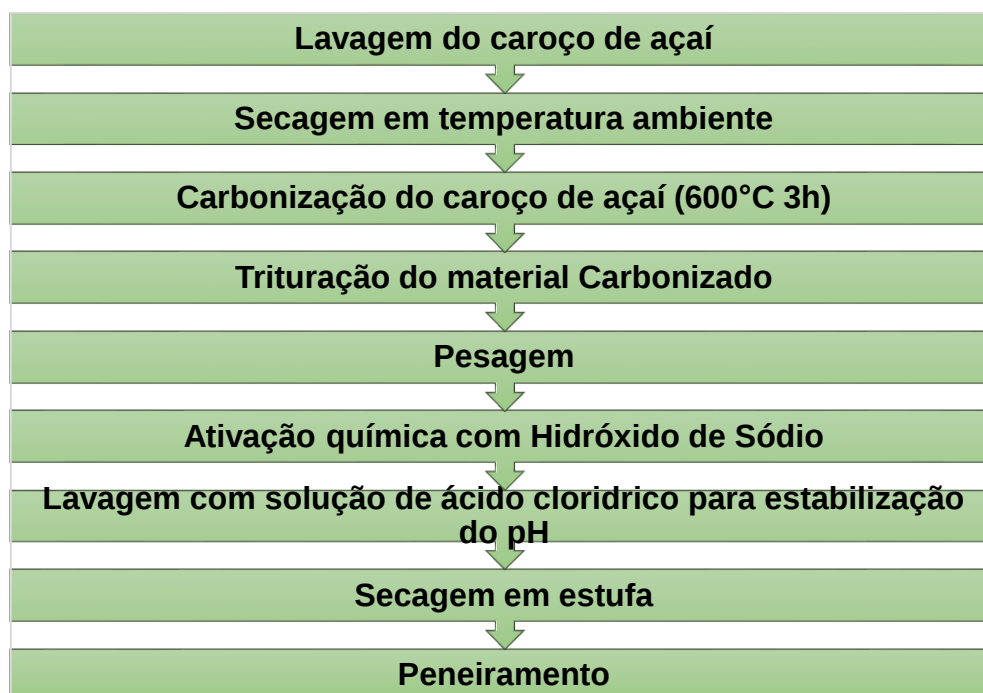


Figura 11 - Etapas de produção de carvão ativado

Fonte: Direta.

Para a fabricação do carvão ativado foram adotados os seguintes passos. Os caroços de açaí foram coletados em uma área de descarte como mostra a Figura 12, pois, ao passar pelo processo de beneficiamento os caroços não tem um destino final adequado, sendo acondicionados em calçadas, vias públicas, etc.



Figura 12 - Descarte do caroço de açaí após beneficiamento.
Fonte: Direta.

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, mostrado na Figura 13 (a) e (b).



Figura 13 - a) Lavagem do caroço; b) Secagem do caroço.
Fonte: Direta.

Em seguida, 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.

4.3.4 Produção de Zeólita-A

As zeólitas foram adquiridas utilizando como matéria-prima uma argila do grupo caulim, a caulinita. O procedimento experimental de preparação da Zeólita a partir de caulinita consistiu, basicamente, em 3 etapas conforme apresentadas na Figura 14.

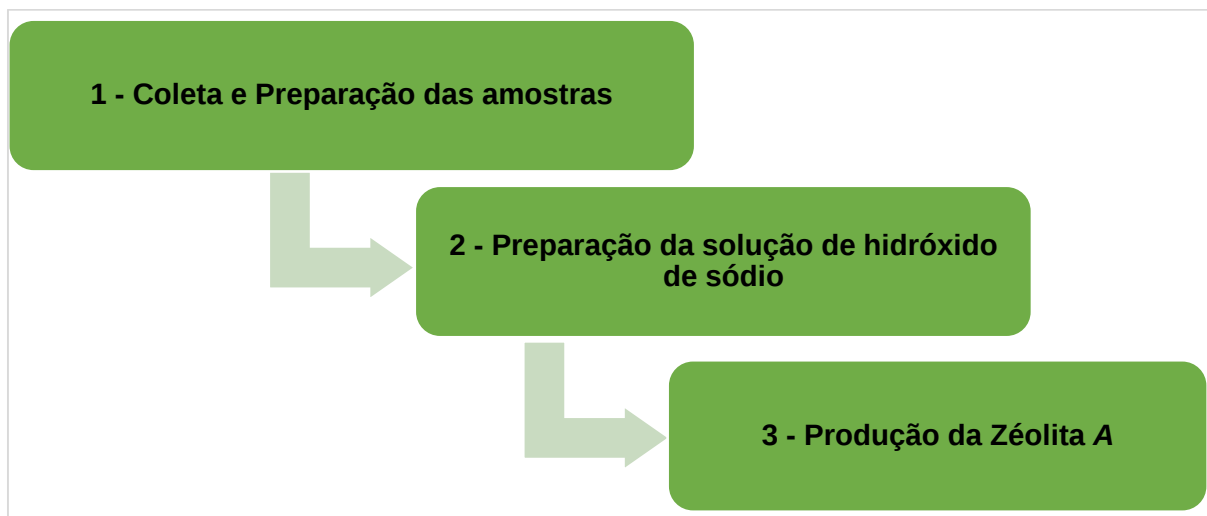


Figura 14 - Esquema das etapas de produção de Zeólita-A.
Fonte: Direta.

As amostras de caulinita foram coletadas na *Mina do Binga*, localizada a cerca de 11 Km do centro de Santarém, instalada na Rodovia PA-457, Km 2 SN, nas coordenadas geográficas latitude $-02^{\circ}28'01''40$ S e longitude $-54^{\circ}46'40''108$ W conforme mostrado na Figura 15.

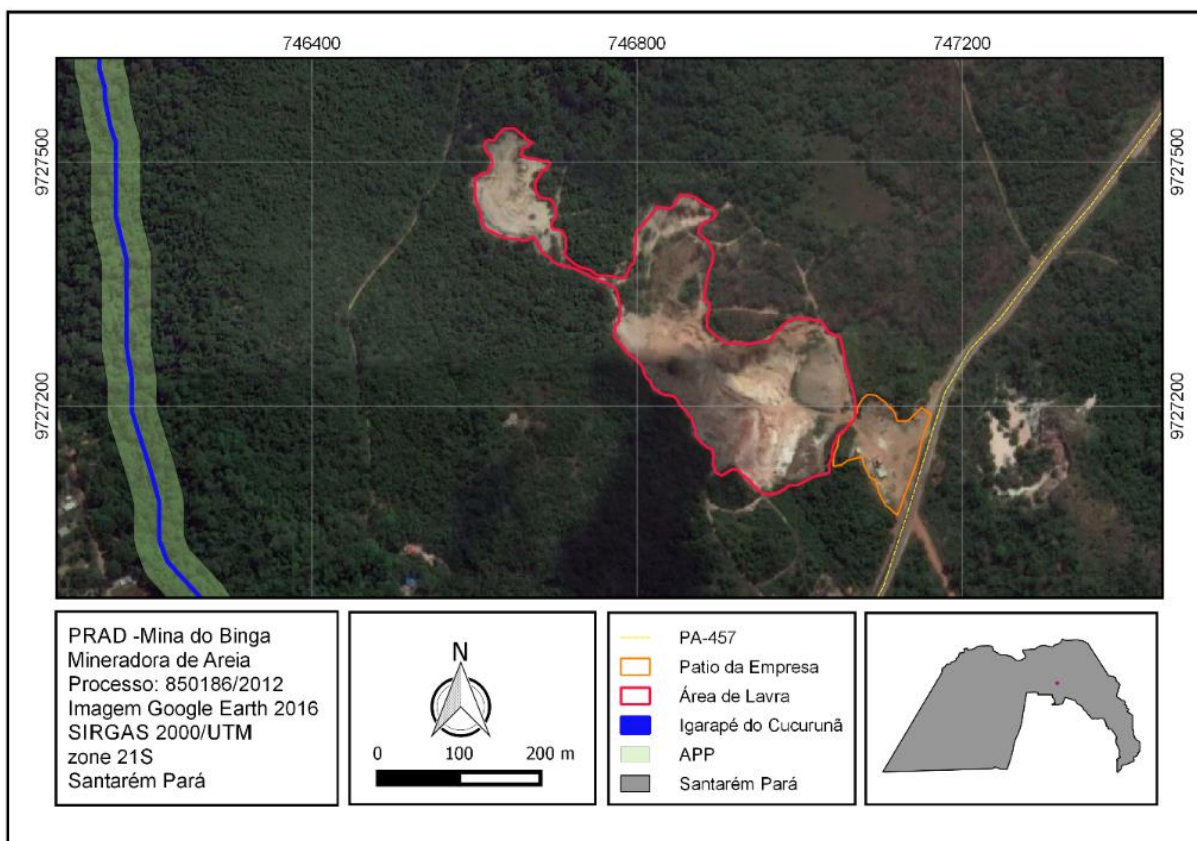


Figura 15 - Área de extração da caulinita.
Fonte: Direta 2016.

A caulinita foi submetida ao processo de moagem, realizada através de triturador de mesa, a fim de obter a granulometria ideal. Em seguida foi colocada em estufa a uma temperatura de 120°C por 8 horas para retirada da umidade, uma pequena porção do material foi enviada para análise por Difração de Raios X (DRX). Após o material moído, o mesmo foi colocado em recipiente de cerâmica e foi calcinado em forno mufla da marca *Junk* modelo 412 a uma temperatura de 600 °C durante 120 minutos, para obter o metacaulim conforme mostrado na Figura 16.



Figura 16 - Material em forno mufla.
Fonte: Direta.

Foi preparado solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) comercial da marca Sodabel 99% de tal modo foi utilizado uma proporção 1:1, então para uma massa de 200 gramas metacaulin, pesou-se 200 gramas de NaOH em balança analítica da marca *SHIMADZU*, modelo *UX6200H* dentro de um béquer de 600 mL, em seguida acrescentou-se 300 mL de água destilada e agitou-se com um bastão de vidro, posteriormente a mistura foi transferida para balão volumétrico de 1000 mL, e completou-se o volume para diluição. Agitou-se o balão para completa homogeneização formando assim a solução.

Para a síntese da Zeólita A foi realizada pesagem de metacaulim, para cada 200 gramas do material foi utilizado 1000 mL da solução de NaOH. A solução foi colocada em balão de fundo redondo de 5000 mL posto sobre manta aquecedora modelo 652 da marca *Fisatom*, em seguida o metacaulim foi inserido no balão. Posteriormente foi utilizado um agitador mecânico para a mistura dessas substâncias durante uma hora. A temperatura de agitação foi 95 °C, controlada através de termômetro digital da marca Incoterm, mostrado na Figura 17.



Figura 17 - Síntese da Zeólita.
Fonte: Direta.

Em seguida, o material sintetizado foi transferido para um béquer de 2 L e realizada a lavagem, onde o mesmo foi cheio até a sua capacidade e com uma espátula homogeneizou-se o produto com a água destilada e esperou-se a

sedimentação do produto para eliminar o sobrenadante, conforme mostrado na Figura 18 (a) e (b). Este procedimento foi realizado até obter-se um pH constante em torno de 9, em seguida o material foi seco em estufa. Depois da fase de lavagem e estabilização de pH, o produto obtido foi introduzido em estufa a 120° C por 18 horas para secagem, e então finalização da produção de Zeólita A. As amostras foram encaminhadas para análise no laboratório da Universidade Federal do Pará (UFPA) por meio das técnicas de Difração de Raios X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).



Figura 18 (a) e (b) - sedimentação do produto.
Fonte: Direta.

4.3.5 Análise da eficiência de tratamento de água subterrânea da estação piloto de tratamento de água.

Foram determinadas as eficiências por unidade e global do sistema de tratamento piloto. Para isso foram realizados coletas em triplicata em seis pontos de coleta totalizando 18 amostras para determinações laboratoriais, referentes aos respectivos pontos de amostragem, conforme Quadro 4 Quadro 4 - **Identificação dos pontos de coleta.**e Figura 19.

IDENTIFICAÇÃO DO PONTO DE COLETA	LOCALIZAÇÃO DO PONTO
P1	Tubulação de alimentação de água bruta
P2	Tubulação de saída do aerador
P3	Tubulação de saída do leito de contato
P4	Tubulação de saída do Filtro 1
P5	Tubulação de saída do Filtro 2
P6	Saída do reservatório

Quadro 4 - Identificação dos pontos de coleta.

Fonte: Direta.

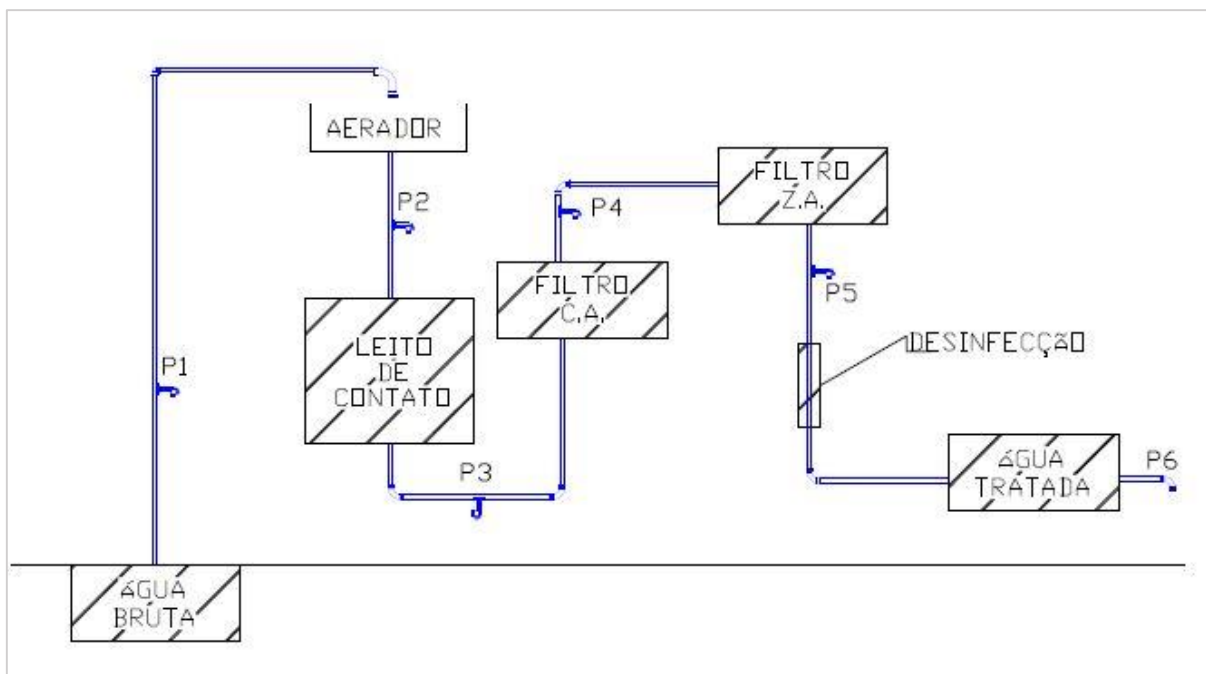


Figura 19 - Pontos de monitoramento.

Fonte: Direta.

Foram analisadas as variáveis indicadas no Quadro 5 para a análise da eficiência global do sistema Piloto de Tratamento de Água. Já para a determinação da eficiência de cada unidade isolado do sistema foram analisadas os parâmetros: pH, ferro total, cor aparente e turbidez. Os métodos analíticos para a determinação de todos os parâmetros seguiram o recomendado por APHA Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater (APHA, 2005). Vale observar que os pontos de amostragem foram caracterizados segundo os valores máximos permissíveis (VMP) recomendados pela Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde, publicado em 12 de Dezembro de 2012.

PARÂMETROS FÍSICO QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS	UNIDADE	MÉTODO/CÓDIGO STANDARD METHODS(2005)	EQUIPAMENTOS	VPM
Cor Verdadeira	uH	Colorimétrico (Cód.: 2120 C)	Analizador de cor	15
Potencial hidrogeniônico-pH	-	Medição in situ – potenciometria (Cód.: 4500-H B)	Multiparâmetro portátil	-
Dureza Total	mg/L	Titulação Com EDTA (Cód.: 3500- Ca B)	-	500
Sólidos Totais dissolvidos	mg/L	Potenciometria (Cód.: 2510-A)	Multiparâmetro portátil	1000,0
Condutividade elétrica	µS/cm	Medição in situ – Condutivimetria (Cód.: 2510 A)	Multiparâmetro portátil	-
Ferro Total	mg/L	Orto- Fenatrolina (Cód.: 3500-Fe A)	Espectrofotômetro	0,3
Nitrito	mg/L -	N- (1- naftyl)- etilenodiâmina (Cód.: 4500NO3)	Espectrofotômetro	1
Nitrato		N- (1- naftyl)- etilenodiâmina	Espectrofotômetro	
Amônia	mg/L	N- (1- naftyl)- etilenodiâmina	Espectrofotômetro	1,5
Turbidez	uT	Nefelométrico (Cód.: 2510A)	turbidímetro de bancada	5
Coliformes Totais	100 mL	Membrana filtrante-meio Endo (Cód.: 9222 D)	Membrana filtrante	0
Coliformes Termotolerantes	100 mL	Membrana filtrante-meio Endo (Cód.: 9222 D)	Membrana filtrante	0

Quadro 5 – Parâmetros analisados.

Fonte: Direta.

A determinação de pH, condutividade e sólidos totais dissolvidos foram realizadas utilizando um multiparâmetro portátil da marca Lovebond®. A quantificação de ferro total foi realizada no espectrofotômetro de UV-Visível, conforme o método Orto-Fenatrolina (AWWA 3500 - Fe A) que se baseia na formação de um complexo róseo entre os sais de ferro (II) com ferro espectral. Para a análise de cor verdadeira foi utilizado um analisador de cor de marca HANNA. As medidas de turbidez foram feitas com um turbidímetro de bancada da marca Policontrol.

Para a colimetria foi adotado o método da membrana filtrante (47 mm de diâmetro com poros de 0,45 µm), onde 100 mL das amostras foram filtradas e concentradas em filtros, os quais foram impregnados em meios de cultura do tipo NKS Indo e incubados em estufa bacteriológica sob temperatura de 36°C durante 24 horas.

As coletas das amostras foram realizadas conforme o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2011). Para o procedimento de coleta foram utilizados frascos de polipropileno com volume de 1L para os parâmetros físico-químicos e com volume de 250 mL para as análises microbiológicas. As amostras foram estocadas em caixa isotérmicas com gelo e levadas para Laboratório do curso bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará-UFOPA, onde se procederam as análises.

Para o cálculo do grau de eficiência da filtração na remoção do ferro nas unidades da estação piloto foi adotada a fórmula, a seguir:

$$E = \frac{EAF \times 100}{EAB}$$

Onde:

E= eficiência de filtração (%)

EAB= Concentração de ferro na água bruta (mg/L)

EAF= concentração de ferro água final(mg/L)

- **Avaliação dos dados**

No tratamento dos dados foi utilizado software STATISTICA 7.0, e suas ferramentas, tais como: análise de estatística descritiva, e plotagem de gráficos, que segundo Lima (2006), é o conjunto de técnicas utilizadas para resumir o conjunto de todos os dados coletados na investigação à relativamente poucos números e gráficos. Através dos dados foi possível identificar quais as concentrações dos parâmetros analisados para cada unidade do sistema. Com isso foi possível determinar qual a eficiência da unidade de tratamento, e quais as etapas que necessitam de ajustes.

Nesta etapa de avaliação e tratamento dos dados foram analisadas as seguintes medidas de posição: média, mediana e quartis e medidas de dispersão como: variância e desvio padrão. O teste estatístico Análise de Variância (ANOVA) fatorial sem repetição, foi realizado para verificar a existência ou não, de diferenças significativas ($p = <0,05$) entre os parâmetros analisados, considerando como fatores os seis pontos de coleta estudados Para a melhor compreensão dos resultados foram utilizados alguns gráficos: Gráfico de colunas, Gráfico de linhas e gráficos de linhas com eixos invertidos.

4.3.6 Implantação da estação piloto de tratamento de água

No início do desenvolvimento das atividades de adaptação das unidades da estação piloto de tratamento de água, instalada na escola Francisca das Chagas, a mesma encontrava-se fora de operação, com suas instalações conforme mostrado na Figura 20.



Figura 20 - Estação piloto desativada.
Fonte: Direta.

Para a implantação das novas unidades na estação piloto, foram feitas algumas adaptações, tais como:

- Extensão da base de madeira em 1,5 metros para sustentação do aerador e do reservatório superior de água tratada, conforme mostrado na Figura 21.
- Construção de base de concreto com dimensões de 3,0 x 4,0m, com 22 cm de altura, para a sustentação do conjunto de filtros e reservatório inferior de água tratada, conforme é apresentado na Figura 22.



Figura 21 - Preparação para construção da base em concreto.
Fonte: Direta.



Figura 22 - Construção da base em concreto.
Fonte: Direta.

Para a instalação da unidade do Leito de contato e do conjunto de filtro rápido os mesmos foram colocados em série, como mostrado na Figura 23.



Figura 23 - Locação das unidades da estação piloto de tratamento de água.
Fonte: Direta.

Em seguida foram inseridos tubos, peças e conexões nas unidades, e as mesmas foram interligados, porém, foi observado que não havia desnível suficiente que fornecesse carga hidráulica entre as unidades, para isso, foram providenciadas bases de madeira de 20cm e 5,0cm de espessura respectivamente para o primeiro e segundo filtro.

Para a fixação dos novos tabuleiros ao aerador já existente na unidade, foi necessária a retirada do mesmo da estrutura como apresentado na Figura 24, pois, ocorreu uma divergência de aproximadamente 5cm no tamanho da estrutura nova com a já existente. Para solucionar tal diferença, a nova estrutura foi fixada na parte de baixo e a antiga na parte superior, totalizando sete tabuleiros e uma altura de 3,5m. Vale ressaltar que foram parafusadas todas as estruturas, para melhor fixação dos componentes do aerador



Figura 24 - Adaptação da unidade de aeração
Fonte: Direta.

Na unidade de desinfecção foi desenvolvido um clorador, para isso foi utilizado uma bombona plástica de 10L, sendo feitas todas as adaptações necessárias para receber pastilhas de cloro como mostra a Figura 25.



Figura 25 - Fabricação de unidade de desinfecção por pastilhas de cloro.
Fonte: Direta.

Após a fixação do aerador, todas as unidades foram conectadas conforme mostrada na Figura 26 e foi realizado o primeiro teste sem as camadas filtrantes, vale ressaltar que por motivos de recursos não foi possível instalar dispositivo de recalque para encaminhar a água tratada para reservatório superior (2000L), com isso o reservatório (1000L) foi colocado sobre a base de concreto, onde receber a água após a unidade de desinfecção.



Figura 26 - Locação das unidades da estação piloto de tratamento de água.
Fonte: Direta.

Após a instalação completa do sistema foram montados os meios filtrantes nos filtros. No leito de contato ascendente, foram colocadas camadas de seixos totalizando 0,5 metros de espessura, sendo as mesmas dispostas da camada de maior para a camada de menor granulometria conforme mostrado na Figura 27. No Quadro 6 são apresentadas as especificações granulométricas, bem como as espessuras das subcamadas.

CAMADAS DO LEITO DE CONTATO	ESPESSURA	UNIDADES
Seixo Grosso	0,1	M
Seixo Medio	0,25	M
Seixo Fino	0,15	M

Quadro 6 - Especificações das camadas que constituem o leito de contato.

Fonte: Direta.



Figura 27 - Locação do meio filtrante.

Fonte: Direta.

Para seleção e caracterização do material filtrante do conjunto de filtros rápidos descendentes, as amostras foram previamente homogeneizadas e secas em estufa durante 12 horas, em seguida foram realizados ensaios granulométricos em agitador de peneiras como mostrado na Figura 28, conforme a NBR 12.216/92.



Figura 28 - Agitador de peneiras

Fonte: Direta.

Para a determinação da granulometria do material filtrante foi empregado o método do peneiramento mecânico, de acordo com Di Bernardo e Dantas (2005),

consiste na colocação de 1000 g de material em uma serie de peneiras com aberturas decrescentes de cima para baixo e com vibração automática. O tempo de agitação adotado nos ensaios granulométricos foi de 5 (cinco) minutos.

No Quadro 7 - é apresentada à especificação do material componente do leito filtrante para o conjunto de filtro rápido.

FILTRO I	MATERIAL	ESPESSURA	UNIDADE
Camada suporte	Seixo grosso	0,1	m
Camada dupla	Areia 45/60 mesh	0,10	m
	Carvão ativado	0,05	m
	Areia 30/100 mesh	0,05	m
	Areia 18/20 mesh	0,05	m
FILTRO II	MATERIAL	ESPESSURA	UNIDADE
Camada suporte	Seixo grosso	0,1	m
Camada dupla	Areia 45 mesh	0,1	M
	Zeólita A	0,05	M
	Areia 30 mesh	0,1	M
	Areia 18/20 mesh	0,05	M

Quadro 7 - Especificações granulométricas das camadas que constituem os Filtros I e II.

Fonte: Direta.

Na Figura 29 (a), é mostrado a aplicação das camadas do Filtro I, que é composto de areia de granulometrias variadas e carvão ativado produzido utilizando caroços de açaí e na Figura 29 (b), do Filtro II, que é composto de areia de granulometrias variadas e Zeólita A produzida utilizando caulinita.



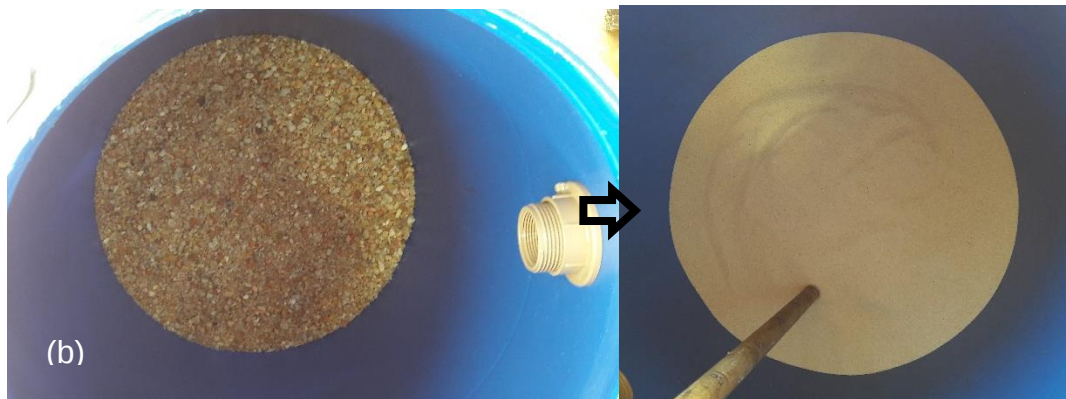


Figura 29 – (a)Camadas filtrantes do Filtro I e (b) Filtro II respectivamente.

Fonte: Direta.

Após todos os ajustes no sistema foi observado uma baixa vazão do Filtro I para o Filtro II, ocasionado pela baixa cota de nível entre ambos, com isso foi necessário fazer um ajuste nas alturas do leito de contato e dos filtros, para assim, obter-se uma vazão satisfatória no reservatório final.



Figura 30 - Coleta das amostras de água.

Fonte: Direta.

O sistema ficou em funcionamento durante dois dias por um período de 4 horas/dia, após isso, foi realizada a coleta das amostras de água nos seis pontos determinados conforme mostrado na Figura 300.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes de iniciar as atividades de implantação das unidades da estação piloto de tratamento de água, foram realizados testes de vazão durante cinco dias para que fosse possível estimar um valor médio de vazão do poço, mostrados na Tabela 01.

Tabela 1 - Dados de medição de vazão do poço

TESTE DE VAZÃO						
DIA	VOLUME(L)	1° TESTE (s)	2° TESTE (s)	3° TESTE (s)	MÉDIA VAZÃO (s)	VAZÃO (L/s)
1	18	15	14	15	14,66	1,22
2	18	14,8	14,6	14,56	14,65	1,22
3	18	14,46	15,34	14,91	14,90	1,20
4	18	14,84	14,77	14,63	14,74	1,22
5	18	14,84	14,76	14,69	14,76	1,21
					MÉDIA VAZÃO (L/s)	1,22

Fonte: Direta.

5.1 Produção de Carvão Ativado Proveniente do Caroço de Açaí

Não foi possível realizar as análise de difratograma de Raios X –DRX e micrografia eletrônica de varredura – MEV do carvão ativado obtido a partir da matéria-prima do caroço de açaí, onde passou por processos químicos para sua ativação.

Após todas as etapas de produção do carvão ativado, onde a massa inicial do material era de 5.5 Kg, após o processo o mesmo foi pesado em balança analítica da marca SHIMADZU, modelo UX6200H e foi contatado o peso final de 3.8 Kg de carvão ativado mostrado na Figura 31, assim pode ser constatado que após o processo de fabricação houve uma perda de 1.7 Kg de carvão, valor bem significativo, podendo está relacionado com as perdas no processo térmico e na lavagem do material final.



Figura 31 – Carvão Ativado de Caroço de Açaí.
Fonte: Direta.

5.2 Produção de Zeólita A Utilizando a Caulinita

Na Figura 32 é mostrado o difratograma de Raios X do material argiloso coletado para a pesquisa, onde apresenta picos característicos de caulinita bem definidos. Material indicado para produção da zeólita A.

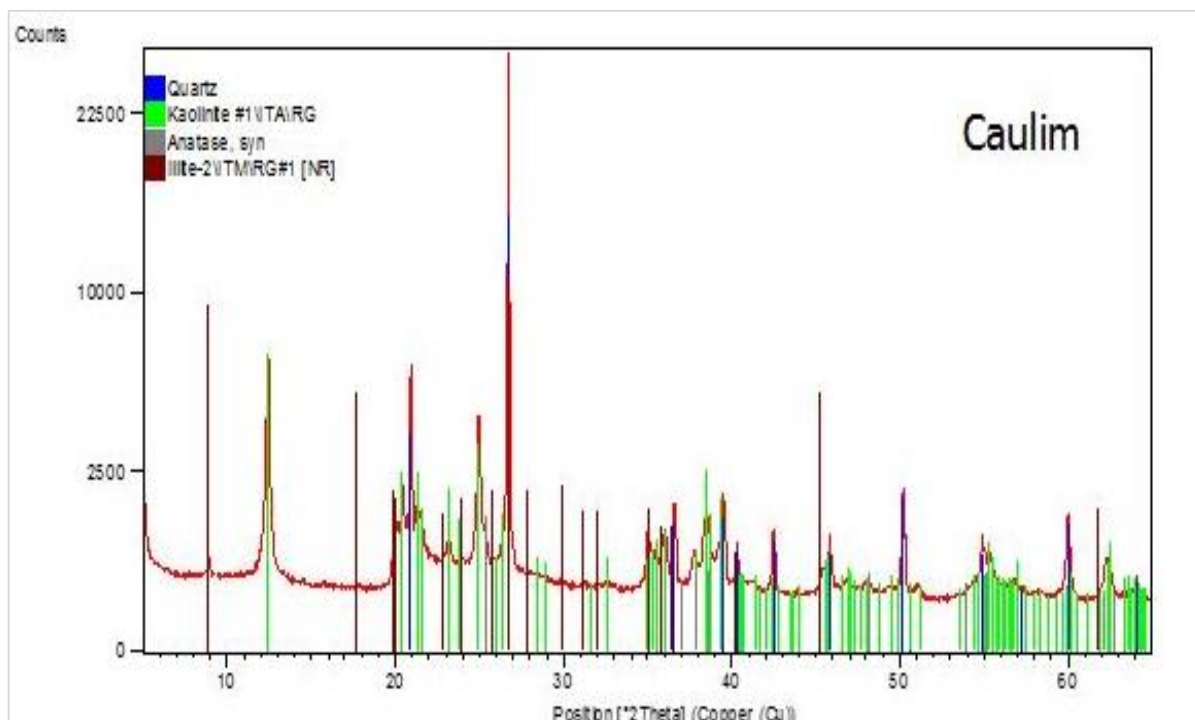


Figura 32 - Análise de DRX – amostra inicial.

Fonte: Laboratório de espectroscopia de infravermelho e W-VIS – UFOPA.

A micrografia eletrônica de varredura é apresentada na Figura 33 a, b, c e d onde mostra a morfologia das zeólitas sintetizadas com solução de NaOH a 95 °C, onde percebe-se os cristais cúbicos que são característicos da zeólita A e a Hidroxisodalita possui morfologia esférica, assim como apresentado na figura. A Figura 33 a é mostrada uma parte da amostra onde os cristais em formação a partir de uma estrutura caulinitica, no início do processo de formação. A Figura 33 c e d apresenta uma grande quantidade de cristais aglomerados e ainda pequenas porções de caulinita que não reagiu durante o tempo de síntese. Já as Figura 33 b, mostra cristais bem formados e evidencia a estrutura cúbica definida para o caso das zeólitas tipo A

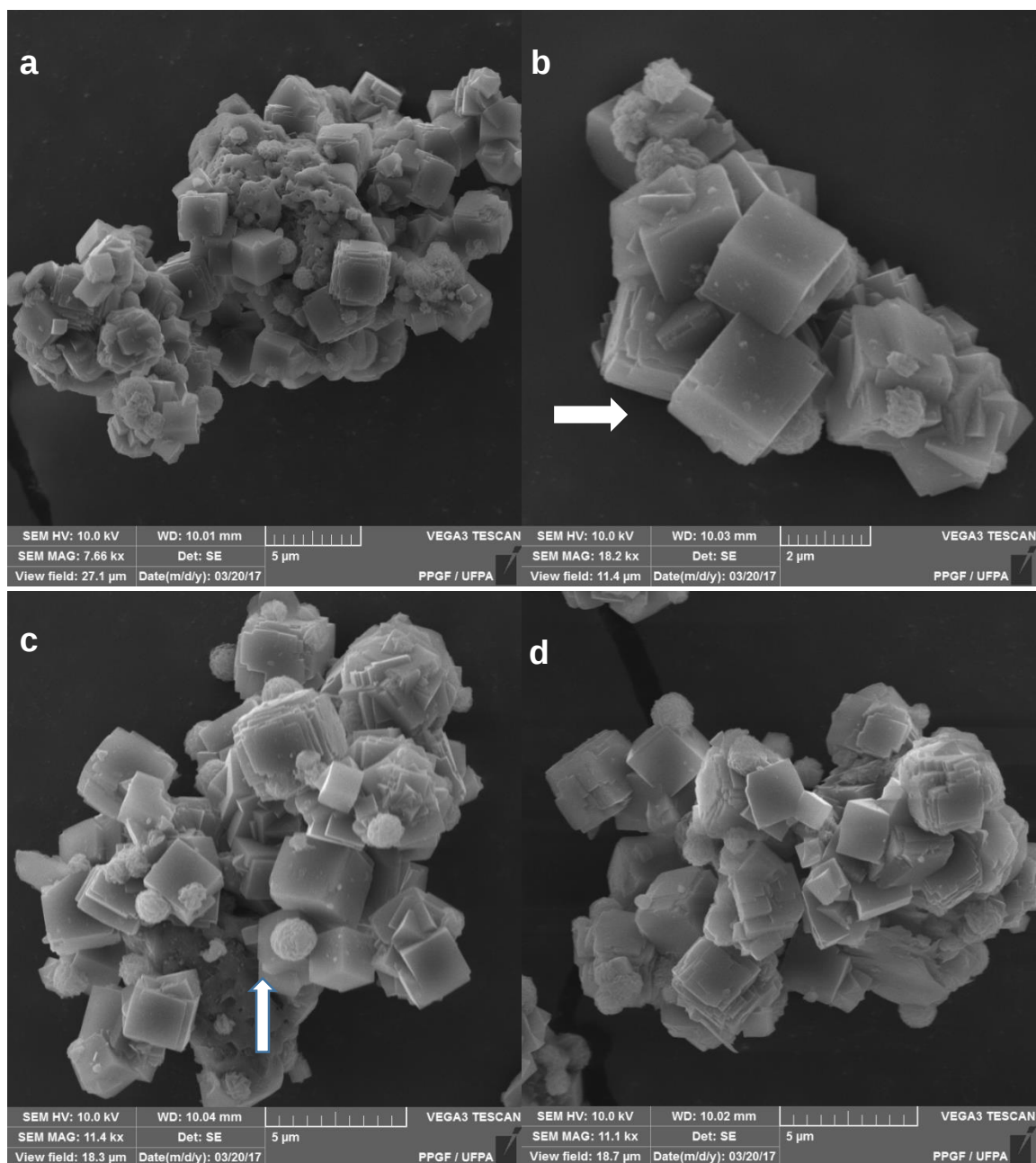


Figura 33 - Análise de MEV da Zeólita.

Fonte: PPGF/UFPA.

Durante os testes de operação do sistema, foi observado que no Filtro 2, onde foi inserido uma camada de zeólita e outras de seixo e areia com granulometrias diversas, houve a formação de uma camada quase que impermeável, depois do contato da água e mistura das camadas, o que impossibilitou a passagem de água de forma contínua, conforme mostrado na Figura 34.



Figura 34 - Formação de camada semipermeável no Filtro II.
Fonte: Direta.

Neste contexto, foi necessário realizar a diminuição da camada de zeólita, para que o fluxo de água fosse liberado. Porém, foi possível realizar uma coleta de amostra de água filtrada por essa camada de zeólita, para posterior verificação da eficiência de remoção de ferro em laboratório.

Os resultados das análises de ferro total das amostras de água coletadas no Filtro 2, que é composto de camadas de seixo com diferentes granulometrias e de zeólita, apresentaram resultados satisfatórios, sendo 0,115mg/L no ponto de entrada do filtro e 0,00mg/L no ponto de saída do filtro, Obtendo efeitos positivos, com 100%

de remoção do ferro total, porém devem-se ser realizados ajustes para a sua inserção na ETA piloto.

5.3 Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas da Água

Os valores absolutos das concentrações dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos em todos os pontos estudados nas unidades do sistema piloto de tratamento de água estão sistematizados em triplicata, no Quadro 8 -10 e no Quadro 9 -11. Os resultados das amostras foram comparados com os padrões estabelecidos pela Portaria 2.914 de 2011, do Ministério da Saúde, que dispõe sobre o padrão de potabilidade de água para o consumo humano.

CÓDIGO DAS AMOSTRAS	PONTO DE COLETA	COR APARENTE	pH	DUREZA TOTAL	TDS ¹	COND	FERRO	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₃	TURB	C.T. ²	C. TER ³
P1.1	Água Bruta	20	5,23	3	9,98	19,8	4,35	0	0,41	0,087	0,02	78	0
P1.2	Água Bruta	20	5,22	3	9,74	19	4,41	0	0,4	0,097	0,02	57	0
P1.3	Água Bruta	20	5,26	4	10,25	20,1	4,39	0	0,4	0,07	0,02	72	0
P6.1	Água Tratada	<10	6,22	2	7,8	15,1	0,035	0	0,41	0	0,34	42	0
P6.2	Água Tratada	<10	6,23	2	7,45	14,8	0,031	0	0,4	0	0,42	52	0
P6.3	Água Tratada	<10	6,41	2	7,46	14,8	0,044	0	0,41	0	0,24	44	0
Valor Máximo Permitido (Portaria 2.914 – Ministério da Saúde)		15	6 -9,5	500	1000	N.F.R.	0,3	1	10	250	5	Aus ¹¹	Aus
Unidade de medida		uH	-	mg/L	mg/L	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	NTU	UFC	UFC

Quadro 8 - Dados brutos em triplicata dos pontos de coleta inicial e final.

Fonte: Direta.

¹ Sólidos Totais Dissolvidos

² Coliformes Totais

³ Coliformes Termotolerantes

CÓDIGO DAS AMOSTRAS	PONTO DE COLETA	COR	pH	FERRO	TURB ⁵
P2.1	Aerador	<10	5,97	3,64	4,19
P2.2	Aerador	<10	6,11	3,53	3,54
P2.3	Aerador	<10	6,12	3,49	4,73
P3.1	Leito de Contato	<10	5,85	2,37	1,73
P3.2	Leito de Contato	<10	5,7	2,39	1,31
P3.3	Leito de Contato	<10	5,72	2,4	1,61
P4.1	Filtro C.A.	<10	5,62	0,241	0,02
P4.2	Filtro C.A.	<10	5,64	0,239	0,02
P4.3	Filtro C.A.	<10	5,6	0,235	0,02
P5.1	Filtro Z.A.	<10	5,65	0,099	0,37
P5.2	Filtro Z.A.	<10	5,73	0,103	0,02
P5.3	Filtro Z.A.	<10	5,69	0,103	0,17
Valor máximo permitido		15	6 -9,5	0,3	5
Unidade		uH	-	mg/L	NTU

Quadro 9 - Dados brutos em triplicata das unidades da ETA - Piloto.

Fonte: Direta.

Vale ressaltar que os resultados de coliformes totais mostrados no Quadro 8 -, apontam que os mesmos estão fora dos padrões estabelecidos pela portaria 2.914 do Ministério da Saúde, fato este que se deve a possíveis interferências na operação das unidades do sistema e nas características do terreno, segundo Silva & Araujo, 2003 a presença de coliformes totais indicam contaminação pelo solo, pois as mesmas são bactérias escassa em fezes.

Outro parâmetro que merece atenção é a cor aparente que reduziu em 100% do ponto de entrada do sistema (P1) até o ponto de saída (P6), porém, é importante observar que o valor mínimo de detecção de cor do aparelho é de 10uH.

A presença de amônia nas amostras não foi significativa, pois, a mesma apresentou valores bem abaixo do permitido para potabilidade que é de 250 mg/L. A ocorrência de concentrações elevadas de amônia pode ser resultante de poluição próxima, bem como de redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo (Silva e Araújo, 2003). Nesse contexto, esse baixo teor de amônia pode estar associado a alta concentração de ferro do solo.

Segundo Lemos 2015, a ocorrência de nitrato em águas subterrâneas é a principal característica de que o manancial está afetado por algum tipo de contaminação, porem os valores encontrados são bem inferiores ao valor máximo permitido para potabilidade.

Os resultados mostrados no Quadro 8 - e Quadro 9 -, são a seguir apresentados em gráficos de acordo com a representatividade dos resultados obtidos por parâmetro.

- **Potencial Hidrogeniônico (pH)**

Todas as amostras coletadas apresentaram pH ácido (<7,0), treze amostras abaixo do padrão recomendado pela Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde, que estabelece a faixa de pH de 6,0 a 9,0 para potabilidade como mostrado no Gráfico 1. Esses valores ácidos são justificados pelas características naturais das águas subterrâneas do sistema hidrogeológico da formação Alter do Chão (TANCREDI, 1996). 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.

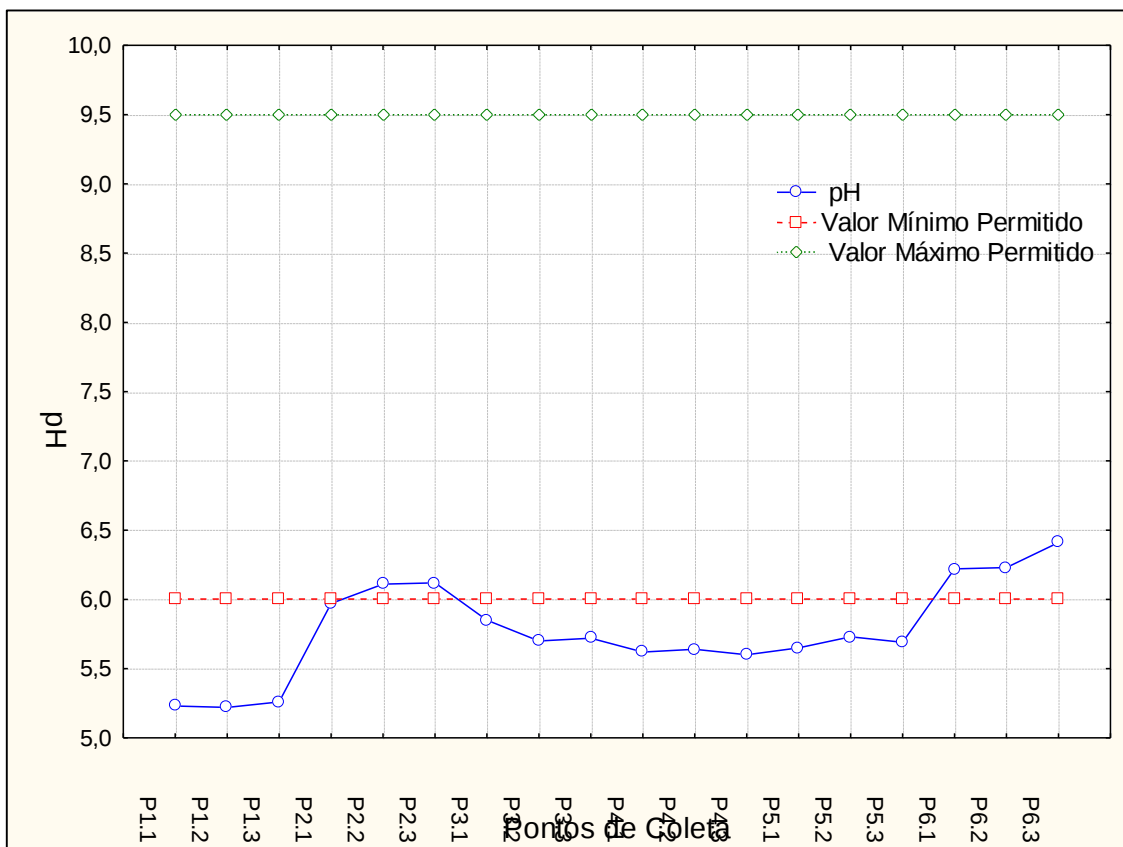


Gráfico 1 - Resultados de pH.

Fonte: Direta.

O valor médio de pH encontrado na água bruta do sistema foi de 5,23, porém, após a água percorrer as unidades do sistema piloto de tratamento, o pH foi aumentando até chegar a um valor médio de 6,28, estando assim, dentro dos padrões de potabilidade.

- **Turbidez**

Os dados de turbidez analisados, apresentaram valores iniciais abaixo do valor máximo permitido que é de 5 NTU, porem após passar pelas unidades da ETA - piloto seu valor aumentou em virtude dos matérias filtrantes utilizados, mas não ultrapassando-o em nenhum ponto de coleta o valor máximo recomentado pela portaria 2914/2011, conforme apresentado no Gráfico 2.

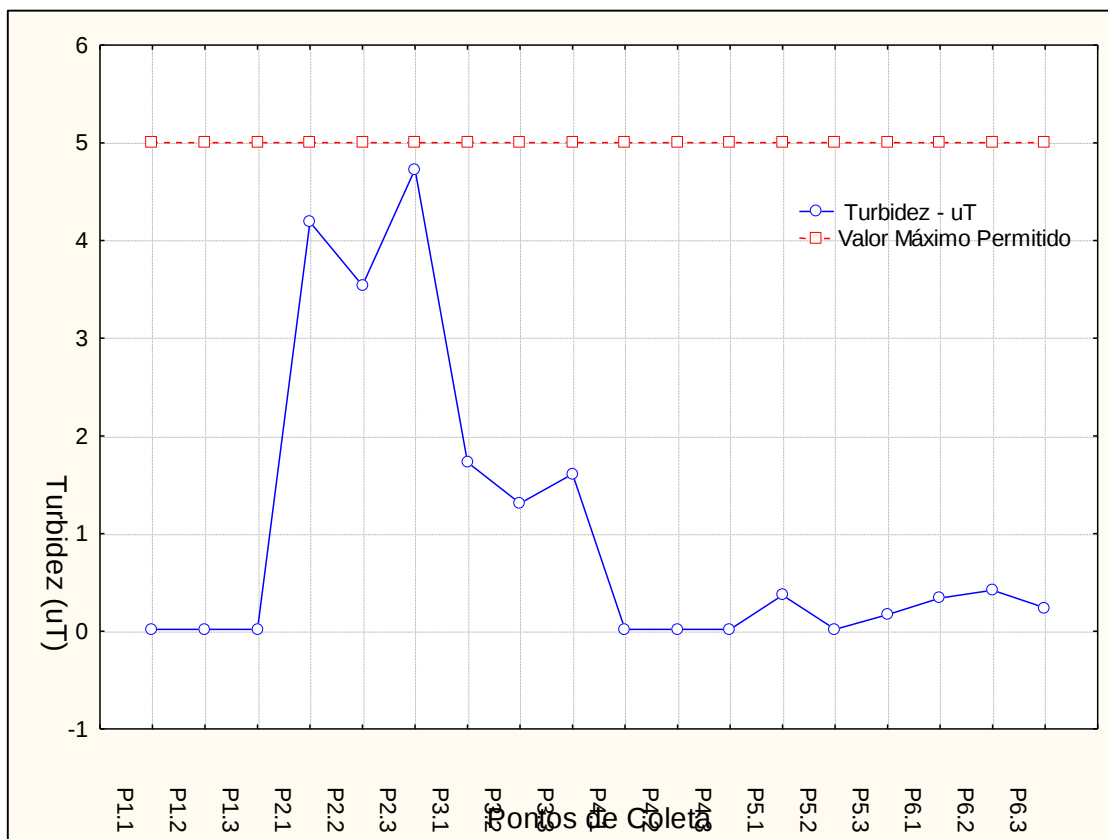


Gráfico 2 - Resultados de Turbidez.

Fonte: Direta.

- **Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade elétrica**

No Gráfico 3 pode-se observar que o desempenho destes parâmetros ocorre de forma paralela em todos os pontos analisados, Zimbres (2000), comenta que a condutividade é a capacidade de conduzir corrente elétrica por meio da carga de sólidos em suspensão.

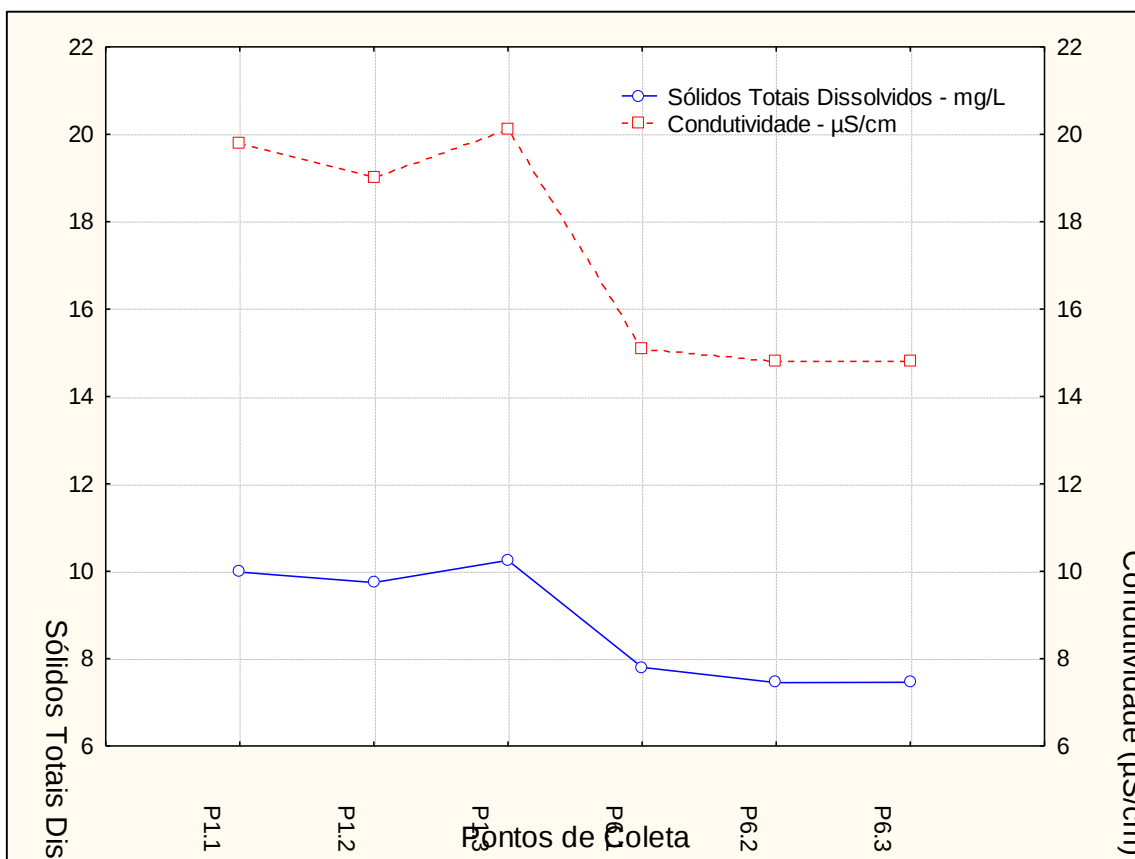


Gráfico 3 - Resultados de Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade elétrica.

Fonte: Direta.

- **Ferro total**

Conforme pode-se observar no Gráfico 4 a concentração média de ferro é bastante elevada nos pontos iniciais P1(4,38mg/L), P2 (3,55 mg/L) e P3 (2,38 mg/L), sendo os pontos de entrada de água bruta, após o aerador e após o leito de contato, respectivamente, o que demonstra a necessidade de ações de intervenção para a diminuição destes valores para o estabelecido pela Portaria 2.914 do Ministério da Saúde que é de 0,3 mg/L. Pode-se afirmar também com base nestes valores que houve uma pequena redução nos teores de ferro após

as unidades de aeração e leito de contato. É possível observar também que do ponto P3 para o ponto P4 (Filtro - Carvão ativado de caroços de açaí), houve uma importante redução na concentração de ferro total que passou de 2,38 mg/L para 0,23mg/L, fato este que comprova a viabilidade de utilização de carvão ativado produzido com caroços de açaí.

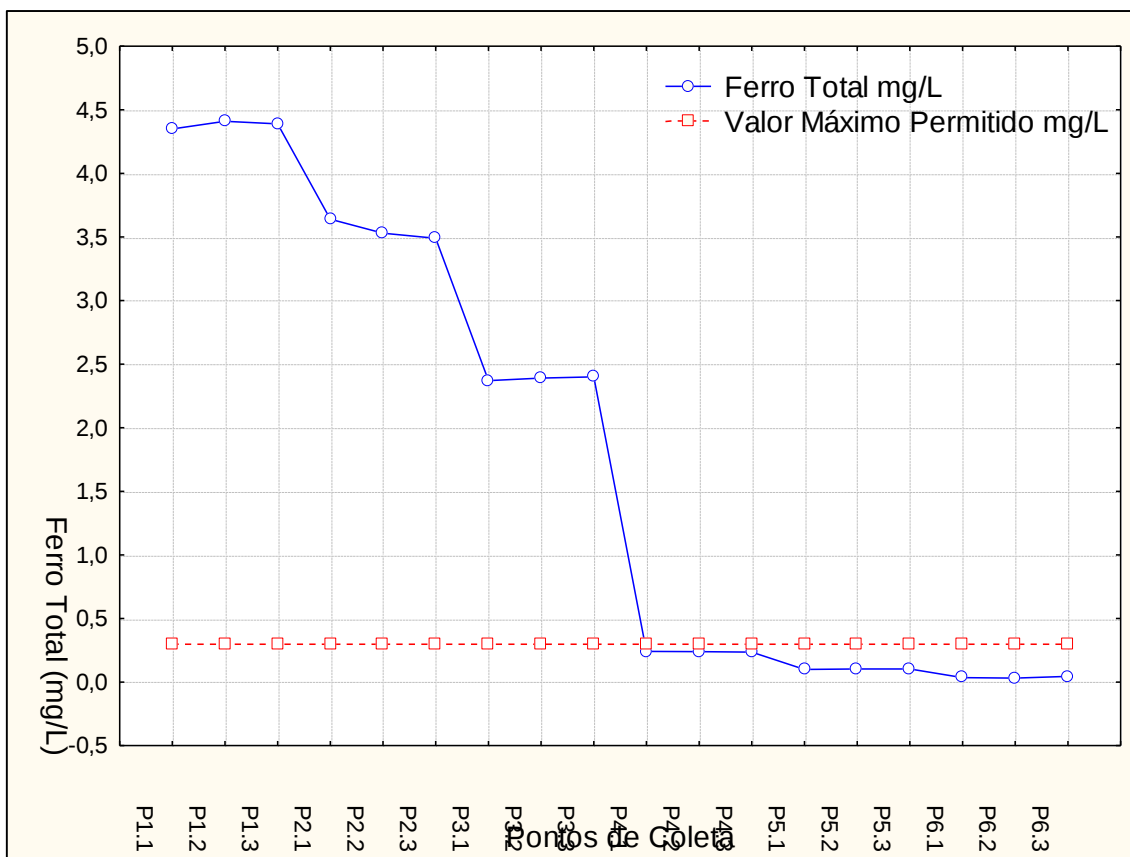


Gráfico 4 - Resultados das análises de ferro total em todos os pontos de coleta.

Fonte: Direta.

Também observa-se que do ponto P4 para o ponto P5 (Filtro II – Zeólita A) a redução da concentração de ferro continuou decaindo passando de 0,23mg/L para 0,10mg/L, o que mostra a eficácia da utilização de zeólita A na remoção de ferro em água para consumo humano.

5.4 Análise da Eficiência de Tratamento da Eta - Piloto

5.4.1 Avaliação das unidades do sistema

Na Tabela 2 é apresentada a estatística descritiva dos resultados das amostras de água, com maior expressividade, obtidos para as unidades intermediárias do sistema piloto de tratamento de água, conforme apresentados.

Tabela 2: Dados da estatística descritiva das unidades da estação piloto.

Parâmetro	P2			P3			P4			P5		
	pH	Ferro	Turbidez	pH	Ferro	Turbidez	pH	Ferro	Turbidez	pH	Ferro	Turbidez
Média	6,07	3,55	4,15	5,76	2,39	1,55	5,62	0,24	0,02	5,69	0,10	0,19
Mediana	6,11	3,53	4,19	5,72	2,39	1,61	5,62	0,239	0,02	5,69	0,103	0,17
Variância	0,01	0,01	0,36	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Desvio Padrão	0,08	0,08	0,60	0,08	0,02	0,22	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,18
Mínimo	5,97	3,49	3,54	5,70	2,37	1,31	5,60	0,24	0,02	5,65	0,10	0,02
Máximo	6,12	3,64	4,73	5,85	2,40	1,73	5,64	0,24	0,02	5,73	0,10	0,37
Quartis												
Q1	6,04	3,51	3,87	5,71	2,38	1,46	5,61	0,24	0,02	5,67	0,10	0,10
Q2	6,11	3,53	4,19	5,72	2,39	1,61	5,62	0,24	0,02	5,69	0,10	0,17
Q3	6,12	3,59	4,46	5,79	2,40	1,67	5,63	0,24	0,02	5,71	0,10	0,27

Fonte: Direta.

Para os dados de Ferro Total presente na água, os resultados foram consideráveis entre as unidades do sistema, sobretudo no Filtro de C.A. ($F(3, 8)=5431,9$, $p=,00000$). O maior valor médio de Ferro Total atingiu 3,55 mg/L na unidade de aeração, já o menor valor médio foi identificado no Filtro de C.A. sendo 0,101 mg/L. No Gráfico 5 são representados os valores mínimos e máximos e a média do Ferro total das unidades do sistema, mostrando a variação expressiva da concentração de ferro presente ao longo das unidades.

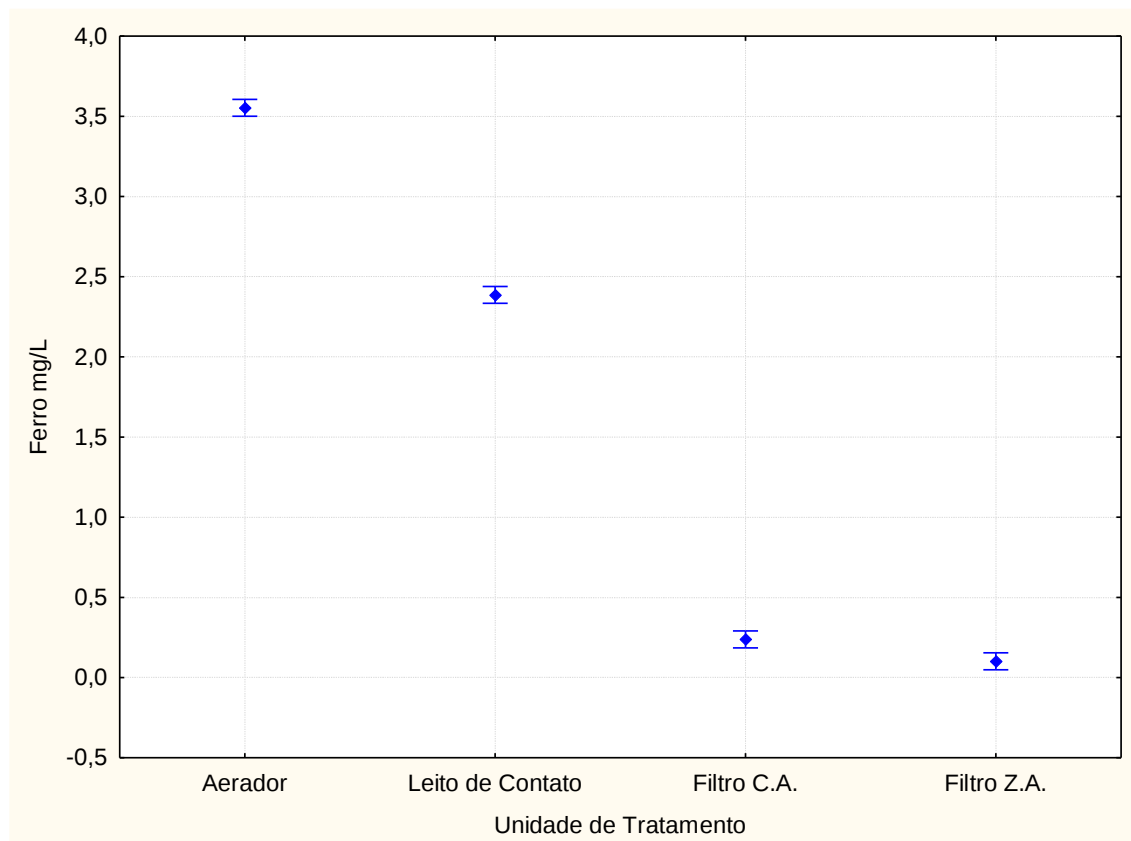


Gráfico 5 - resultados de concentração de ferro total por unidade da estação piloto de tratamento.

Fonte: Direta.

Os valores de ferro total após as unidades de tratamento variaram em média de 3,53 a 0,10mg/L. Pode-se perceber que a maior parcela de ferro tratada foi na unidade do Filtro de C.A, onde pode-se verificar já uma expressiva remoção de ferro na unidade. Pode-se observar que os valores de ferro total para o Filtro de C.A. já se encontram adequados ao consumo humano, ou seja, inferiores ao limite estabelecido pela Portaria nº 2914/2012 do Ministério da Saúde, que é de 0,3mg/L.

No monitoramento das unidades é observado que o ferro total ao passar pela unidade de aeração esteve em média 3,53 mg/L, desvio padrão de 0,077

e variância de 0,00603. Já para a unidade do leito de contato o ferro total esteve em média a 2,38 mg/L, desvio padrão de 0,00023 e variância de 0,015. Para a unidade do filtro de C.A. na média do valor de ferro total esteve em média 0,23 mg/L, desvio padrão de 9,23 e variância de 0,0030. Para a última unidade do sistema o filtro composto por zeolita a média do ferro total foi de 0,10 mg/L, desvio padrão de 5,33 e variância de 0,0023.

Pode-se notar que ao longo das unidades a concentração de ferro total foi diminuindo e ao passar pela unidade de filtro de carvão verifica-se uma expressiva remoção de ferro nesta unidade.

No Gráfico 6 são representados os valores mínimos e máximo e a média do pH das unidades da estação piloto. Observa-se que houve diferenças significativas ao longo das unidades. ($F(3, 8)=29,713$, $p=,00011$).

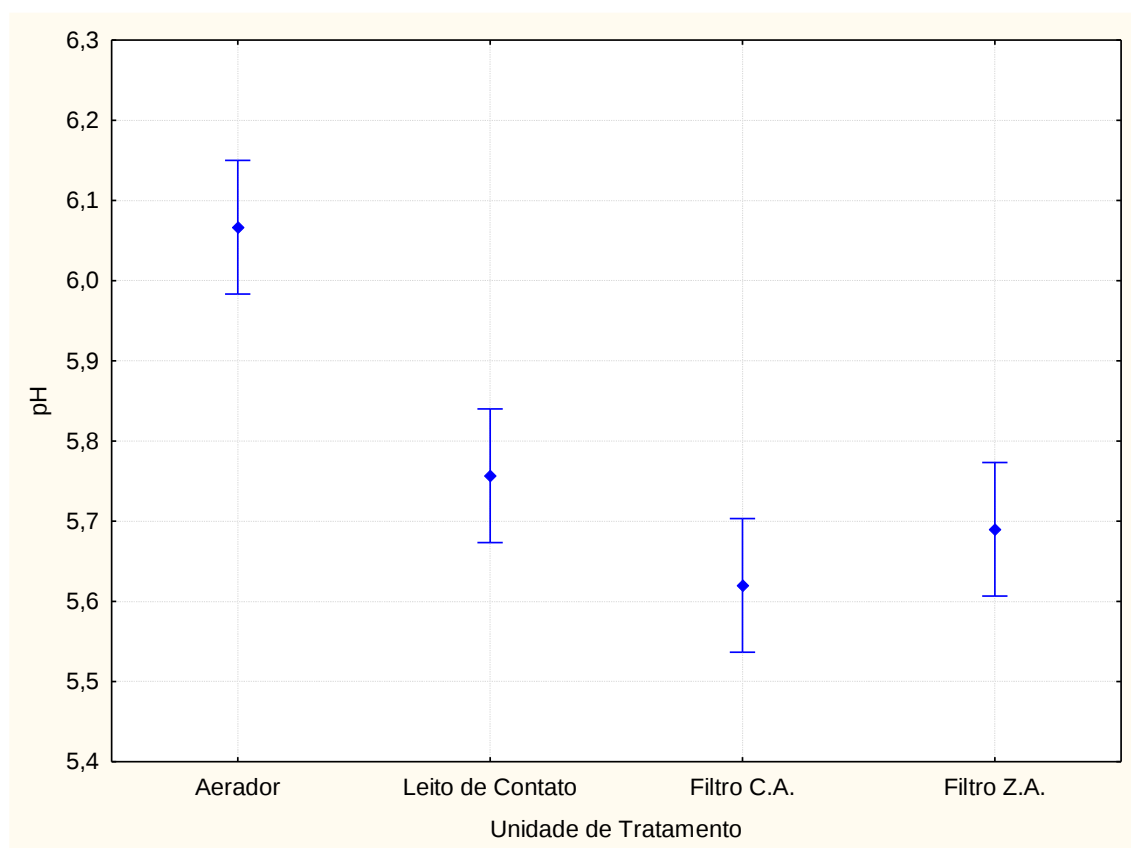


Gráfico 6 - Resultados de pH por unidade da estação piloto de tratamento de água.
Fonte: Direta.

Observando-se os valores de pH do ponto P2, nota-se que o valor médio ficou em torno de 6,06 porem como já enfatizado anteriormente as características do pH da região para a água subterrânea e levemente ácido, portanto mesmo ficando fora do recomendado é aceitável. É observado que o

pH ao passar pela unidade de aeração esteve em média a 6.06, desvio padrão de 0,0837 e variância de 0,0070. Já para a unidade do leito de contato esteve em média a 5.75, desvio padrão de 0,081 e variância de 0,0066. Para a unidade do filtro de C.A. o valor médio do esteve em torno de 5.62, desvio padrão de 0,02 e variância de 0,0004. Para a última unidade do sistema o filtro composto por zeolita à média foi de 5.69, desvio padrão de 0,04 e variância de 0,0016. Os valores obtidos apresentaram diferenças ao longo das unidades ocasionadas pelas características dos materiais utilizados como meios de suporte e filtrantes.

Observando-se os valores de turbidez, percebesse diferenças significativas entre as unidades do sistema ($F(3, 8)=101,29$, $p=,00000$). Para o ponto P2, verificou-se valores, com média de 4,15 uT, de acordo com a legislação vigente que estabelece o valor máximo permissível - VMP de 5 uT .

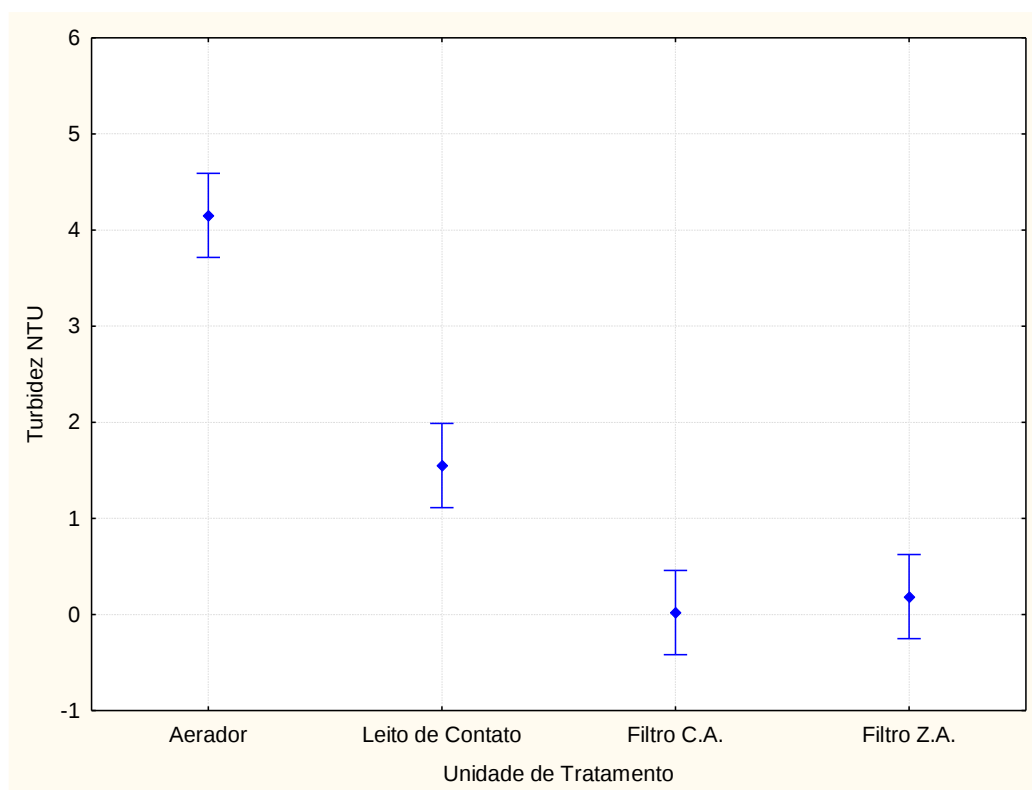


Gráfico 7 - Variação dos valores de turbidez nas unidades da estação piloto de tratamento de água.

Fonte: Direta.

No Gráfico 7 pode-se verificar o comportamento da variável turbidez para as unidades do sistema piloto. Assim é observado que a turbidez ao passar pela unidade de aeração esteve em média a 4.15 uT, desvio padrão de 0,59 e variância de 0,35. Já para a unidade do leito de contato esteve em

média a 1.55 uT, desvio padrão de 0,21 e variância de 0,046. Para a unidade do filtro de C.A. o valor médio esteve em torno de 0.02 uT, desvio padrão de 0 e variância de 0. Para a última unidade do sistema o filtro composto por zeolita à média foi de 0,18 uT, desvio padrão de 0,030 e variância de 0,17.

Portanto percebe-se que houve uma variação bem significativa da turbidez ao passar pelo filtro de C.A. chegando próximo a zero, portanto esta unidade foi de grande importância para a estação piloto.

5.4.2 Eficiência global de tratamento da ETA – piloto

Na Tabela 3 e Tabela 4 respectivamente é apresentada a estatística descritiva dos resultados das amostras de água bruta e da água tratada, com maior expressividade.

Tabela 3 - Análise de estatística descritiva das análises do ponto de coleta de água bruta nº1 (P1).

	P1									
Parâmetro	pH	Ferro	Turbidez	Cor	D.T	T.D.S.	COND	NO₃	NH₃	C.T
Média	5,236667	4,38333	0,02	20	3,333	9,99	19,63333	0,403333	0,084667	69
Mediana	5,23	4,39	0,02	20	3	9,98	19,8	0,4	0,087	72
Variância	0,000433	0,00093	0	0	0,333	0,0651	0,323333	3,33E-05	0,000186	117
Desvio Padrão	0,020817	0,03055	0	0	0,577	0,255147	0,568624	0,005774	0,01365	10,81665
Mínimo	5,22	4,35	0,02	20	3	9,74	19	0,4	0,07	57
Máximo	5,26	4,41	0,02	20	4	10,25	20,1	0,41	0,097	78
Quartis										
Q1	5,225	4,37	0,02	20	3	9,86	19,4	0,4	0,0785	64,5
Q2	5,23	4,39	0,02	20	3	9,98	19,8	0,4	0,087	72
Q3	5,245	4,4	0,02	20	3,5	10,115	19,95	0,405	0,092	75

Tabela 4 - Análise de estatística descritiva das análises do ponto de coleta de água tratada nº6 (P6).

	P6									
Parâmetro	pH	Ferro	Turbidez	Cor	D.T	T.D.S.	COND	NO₃	NH₃	C.T
Média	6,286667	0,03667	0,333333	0	2	7,57	14,9	0,406667	0	46
Mediana	6,23	0,035	0,34	0	2	7,46	14,8	0,41	0	44
Variância	0,011433	4,4E-05	0,008133	0	0	0,0397	0,03	3,33E-05	0	28
Desvio Padrão	0,106927	0,00666	0,090185	0	0	0,199249	0,173205	0,005774	0	5,291503
Mínimo	6,22	0,031	0,24	0	2	7,45	14,8	0,4	0	42
Máximo	6,41	0,044	0,42	0	2	7,8	15,1	0,41	0	52
Quartis										
Q1	6,225	0,033	0,29	0	2	7,455	14,8	0,405	0	43
Q2	6,23	0,035	0,34	0	2	7,46	14,8	0,41	0	44
Q3	6,32	0,0395	0,38	0	2	7,63	14,95	0,41	0	48

- **FERRO TOTAL**

Os valores encontrados para o parâmetro de ferro total apresentaram diferenças significativas ($F(1, 4) = 57975$, $p = ,00000$). O valor médio inicial de ferro na água bruta foi de 4,38 mg/L, desvio padrão de 0,030 e variância de 0,00093. Para a água tratada a concentração média foi de 0,036 mg/L, desvio padrão de 4,4 e variância de 0,0066.



Gráfico 8 - Concentração de ferro na água bruta e na água tratada.

Fonte: Direta.

Observando o Gráfico 8 percebe-se a grande variação da concentração de ferro total inicial e final, assim após passar pela estação piloto de tratamento de água, a concentração de ferro total reduziu para um valor bem abaixo do máximo permitido pela portaria 2914/2011.

- **POTENCIAL HIDROGENIÔNICO – pH**

O parâmetro de pH apresentou diferenças significativas em relação a água bruta e água tratada ($F(1,4) = 278,72$, $p = ,00008$) como mostra o Gráfico 9. Para a

água bruta o valor médio do pH foi de 5.23, desvio padrão de 0,020 e variância de 0,0004. Já para a água tratada o valor médio ficou entre 6.28, desvio padrão de 0,106 e variância de 0,011. Como comentado anteriormente o pH com características ácidas é característico das águas subterrâneas da região de estudo, porém após passar pela estação piloto de tratamento o mesmo estabilizou com valor médio de 6,28 sendo assim um valor acima do mínimo permitido pela portaria 2914/2011.

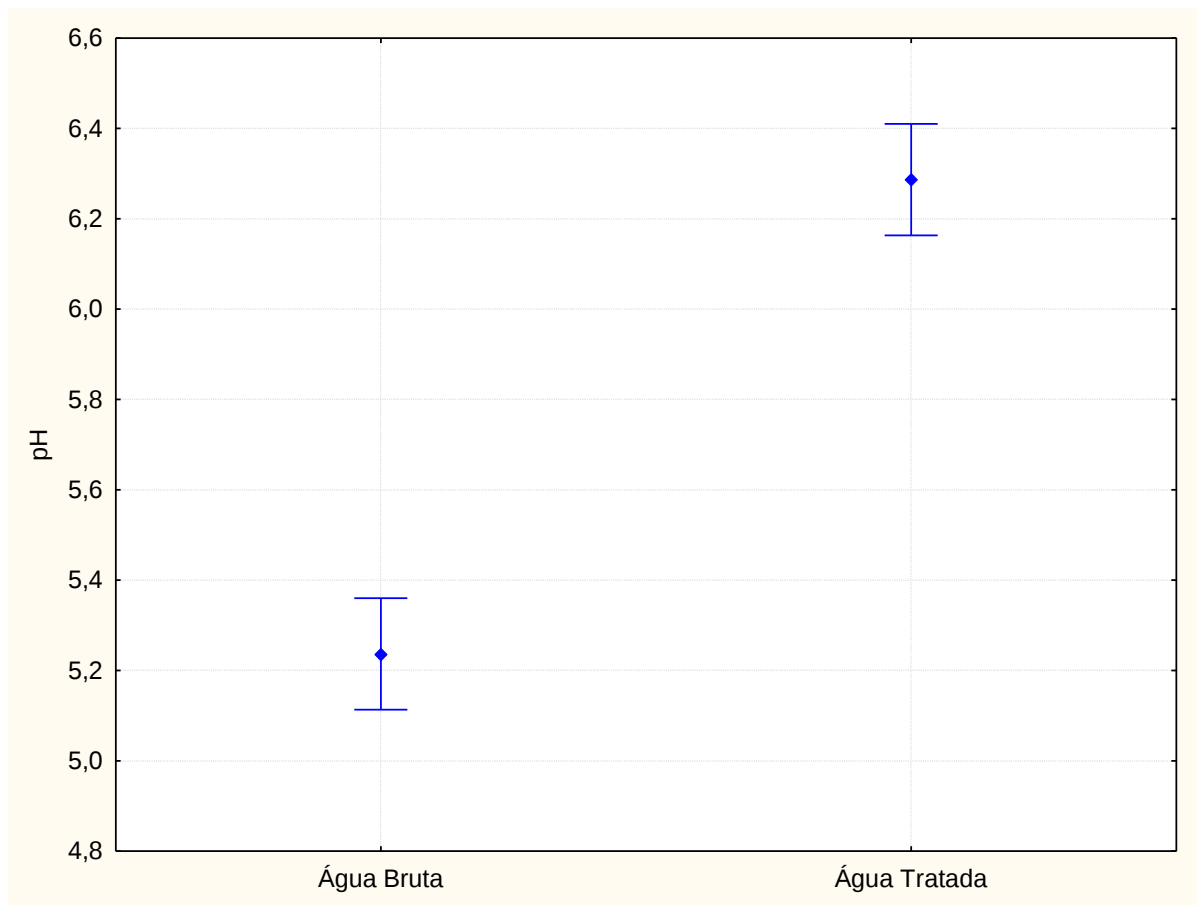


Gráfico 9 - valores de pH na água bruta e na água tratada.
Fonte: Direta.

- **SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS–TDS**

O parâmetro de sólidos totais dissolvidos–TDS apresentou diferenças significativas ($F(1, 4)=167,65$, $p=,00021$), onde o mesmo na água bruta apresentou valor médio de 9,99 mg/L, desvio padrão de 0,225 e variância de 0,065, já a água tratada apresentou valor médio de 7,57 mg/L, desvio padrão de 0,199 e variância de 0,039. Portanto através do Gráfico 10 percebesse a variação do parâmetro no

sistema, onde o mesmo não se encontrava acima do valor máximo permitido e após o tratamento seu valor diminuiu.

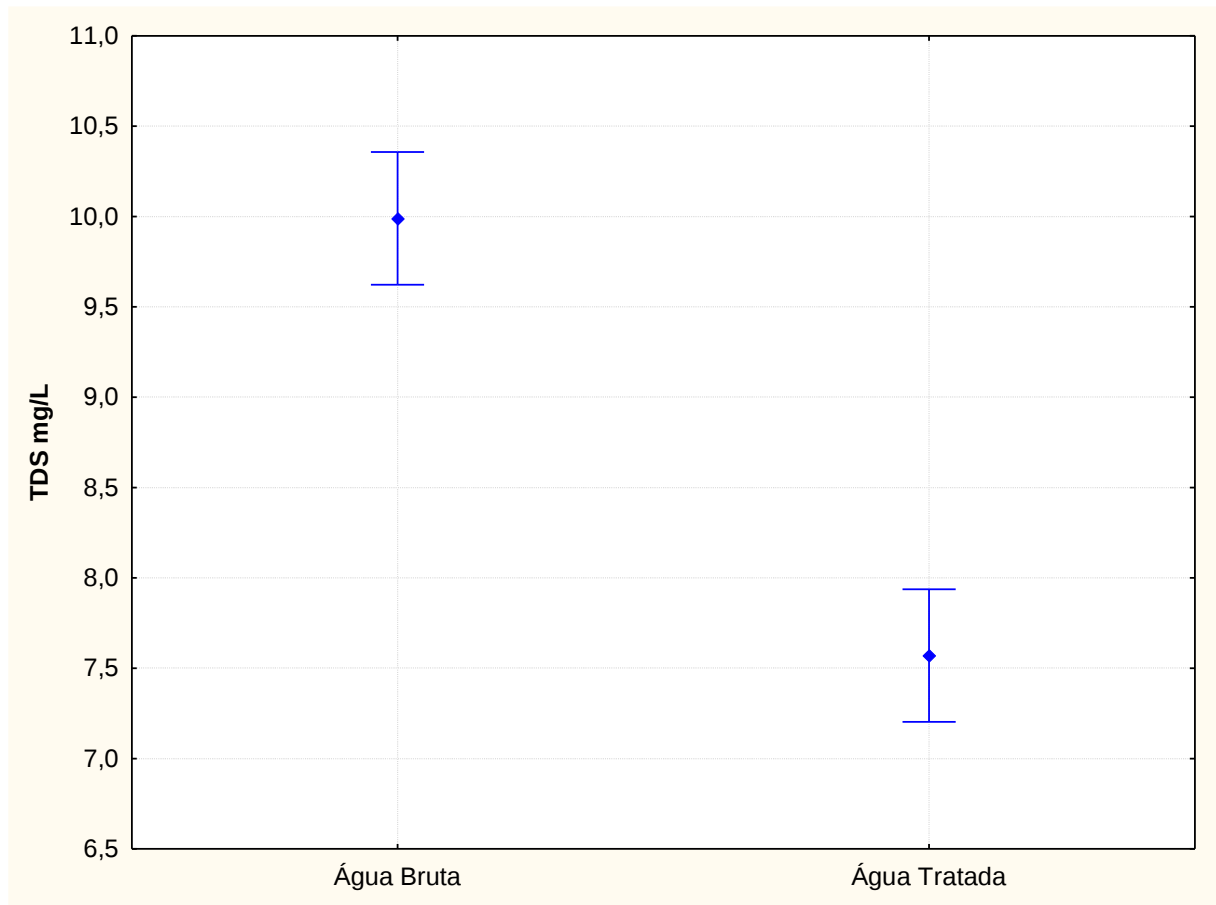


Gráfico 10 - valores de sólidos totais dissolvidos na água bruta e na água tratada.

Fonte: Direta.

• CONDUTIVIDADE

Outro parâmetro que apresentou valores significativos foi a condutividade ($F(1, 4) = 190,23$, $p = 0,00016$), seu valor médio foi de $19,63 \mu\text{S/cm}$ na água bruta, desvio padrão de $0,56$ e variância de $0,32$. Para a água tratada o valor médio foi de $14,9 \mu\text{S/cm}$, desvio padrão de $0,17$ e variância de $0,03$. Vale ressaltar que não existe referência quanto a valores máximos e mínimos estabelecidos de condutividade permitidos pela legislação. A variação dos valores é mostrado no Gráfico 11.

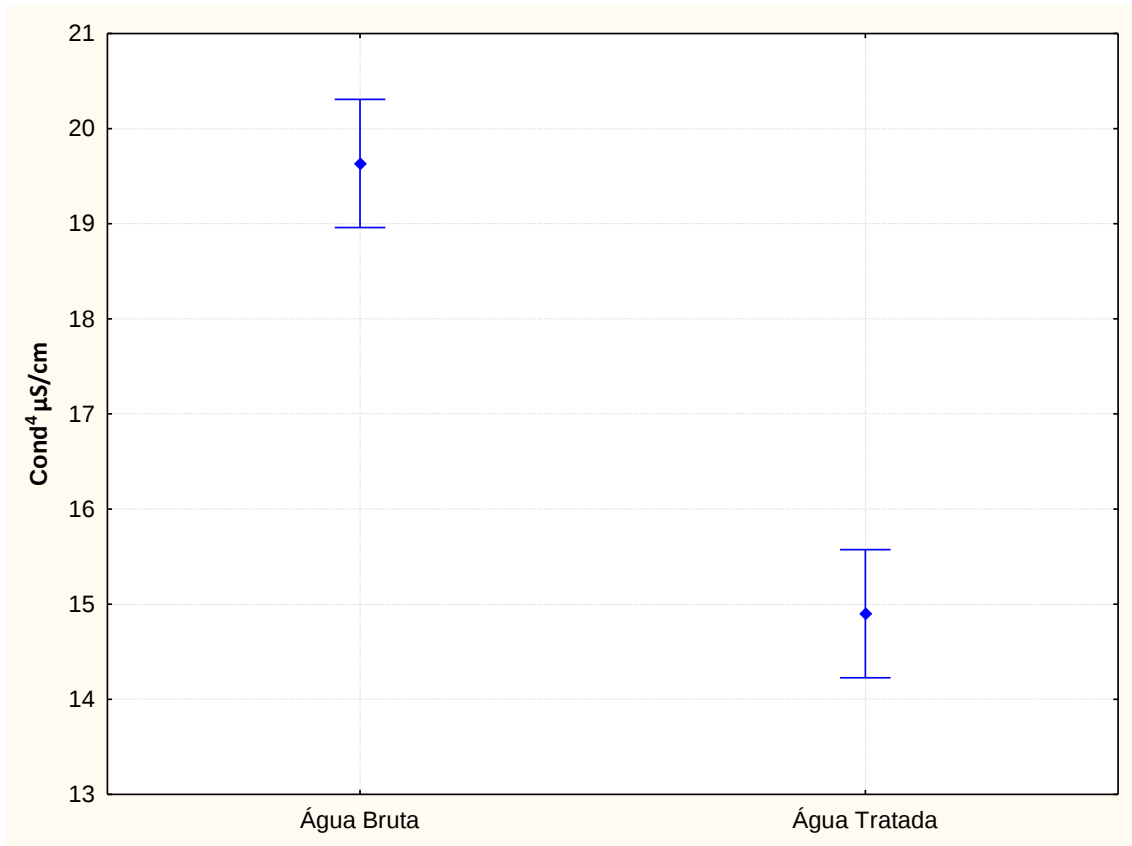


Gráfico 11 - valores de condutividade na água bruta e na água tratada.

Fonte: Direta.

- **AMÔNIA**

A amônia apresentou valores significantes ($F(1,4) = 115,41$, $p = 0,00043$). Seu Valor médio na água bruta foi de 0,084 mg/l, desvio padrão de 0,013 e variância de 0,0001. Após passar pelo sistema piloto de tratamento seu valor médio foi $< 0,04$, vale ressaltar que o valor de detecção mínimo do aparelho é de 0,04 mg/L. A variação da concentração do parâmetro é mostrado no Gráfico 12

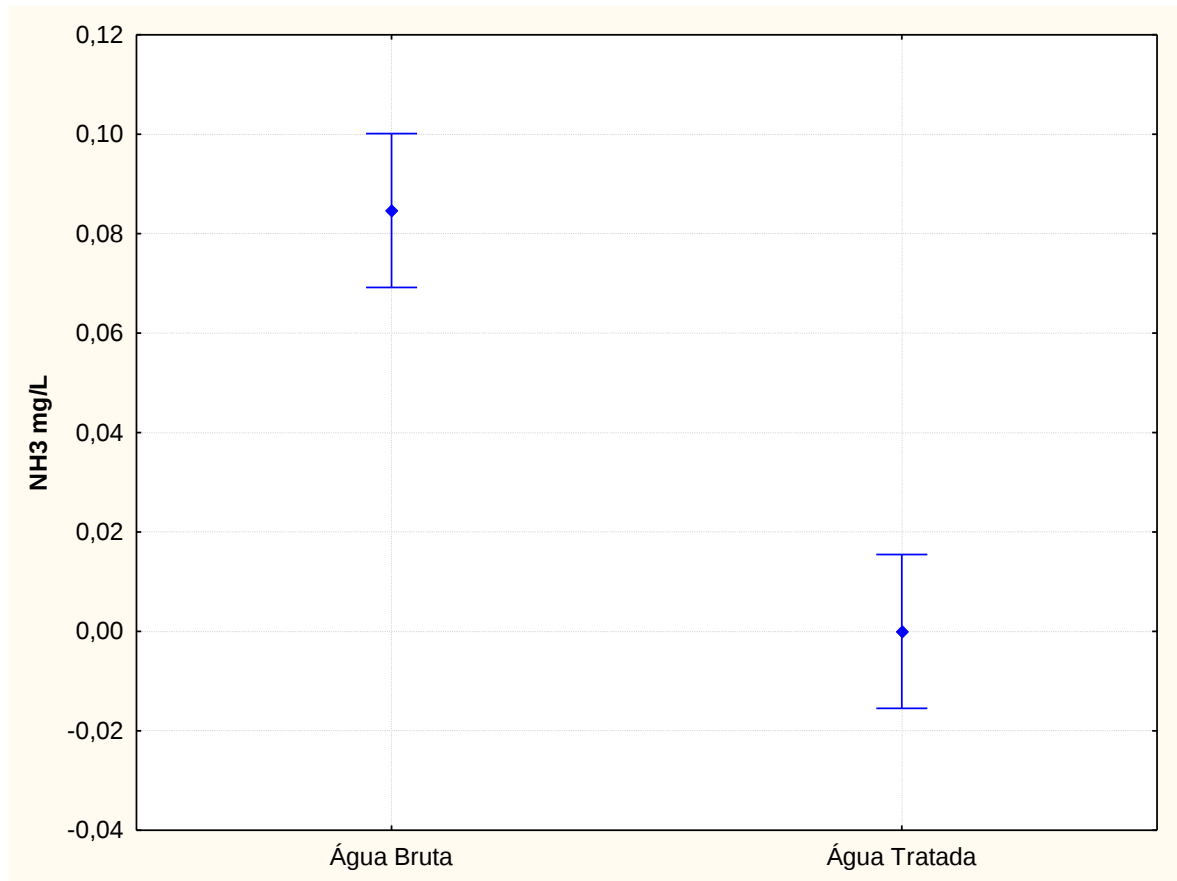


Gráfico 12 - valores de amônia na água bruta e na água tratada.

Fonte: Direta.

- **TURBIDEZ**

Outro parâmetro que apresenta diferenças significativas é a turbidez ($F(1, 4)=36,213$, $p=,00384$). Na água bruta o mesmo apresentou valor médio de 0,02 NTU, desvio padrão de 0 e variância de 0. Já para a água tratada o valor médio do parâmetro foi de 0,33 NTU, desvio padrão de 0,0081 e variância de 0,090. Através do Gráfico 13 podemos visualizar a variação do valor do parâmetro, ao entrar no sistema piloto o parâmetro possui valor muito abaixo do permitido, mesmo esse valor aumentando após passar pelo sistema sua concentração ficou abaixo do estabelecido pela portaria 2914/2011, estando dentro dos padrões de potabilidade.

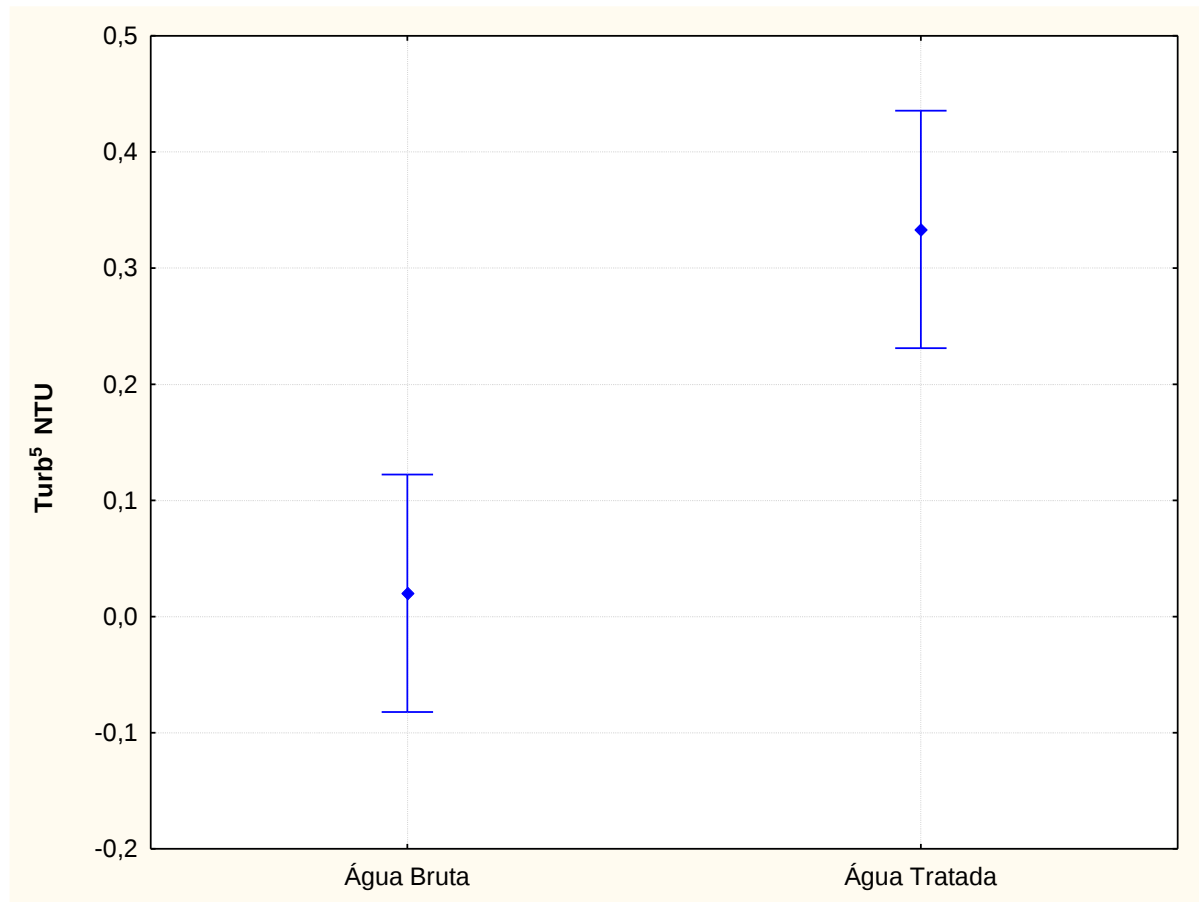


Gráfico 13 - valores de turbidez na água bruta e na água tratada.

Fonte: Direta.

5.4.3 Eficiência de remoção do ferro

Os valores de eficiência de remoção do ferro total para as unidades do sistema, concentraram-se nas faixas: 18,94% a 64%. Porém vale ressaltar que o Filtro com carvão ativado de caroço de açaí obteve uma eficiência de 90,33% de remoção de ferro sendo um valor muito importante para a pesquisa. Portanto verificou-se uma excelente eficiência das unidades do Sistema Piloto de tratamento de água – tipo desferrização composto por aerador, seguido de leito de contato ascendente, seguido de conjunto de filtro rápido descendente composto de carvão ativado proveniente do caroço do açaí e de zeólita A.

No Gráfico 14 verifica-se o comportamento da eficiência de remoção de ferro das unidades e do conjunto como um todo para a remoção de ferro.

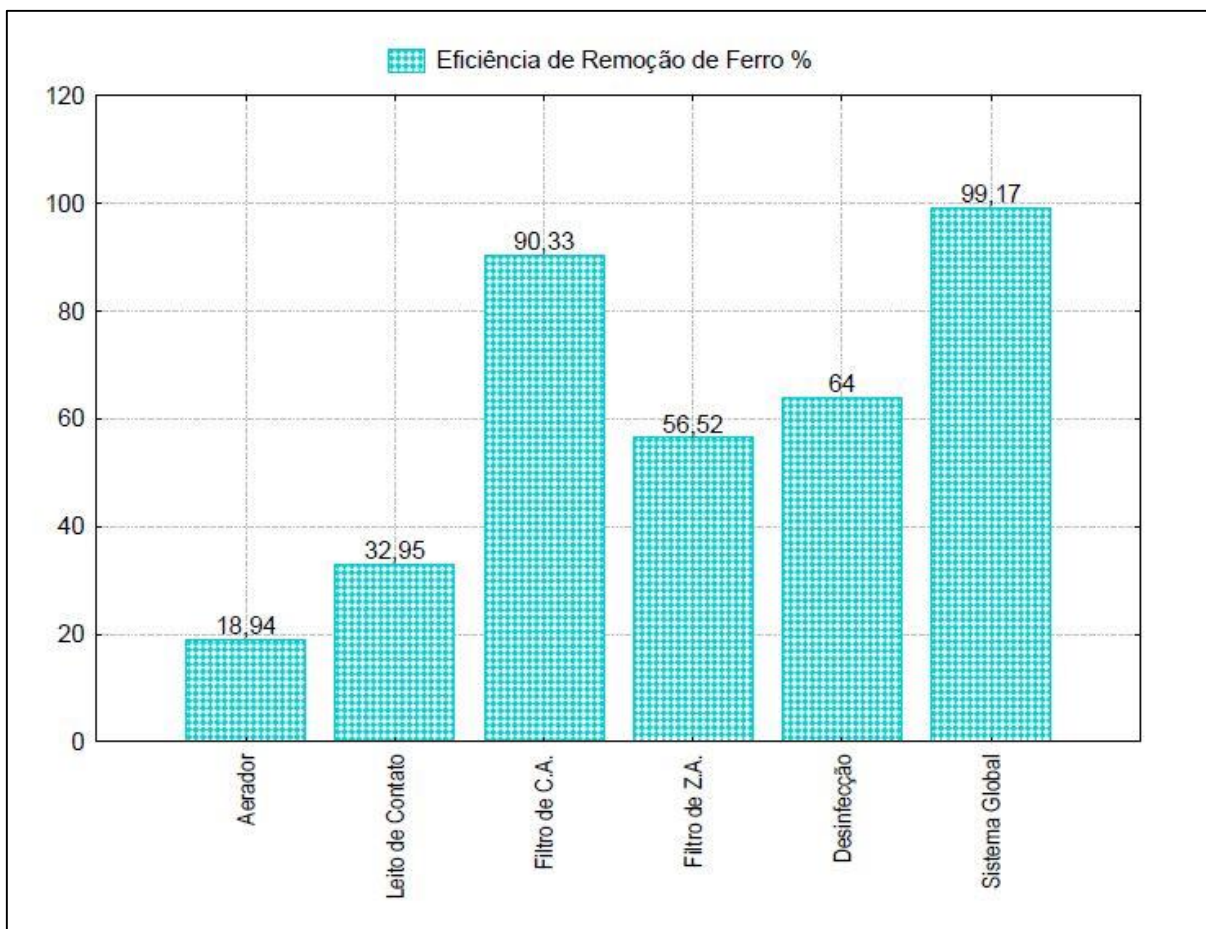


Gráfico 14 - Eficiência de remoção de ferro.

Fonte: Direta.

A eficiência global do Sistema Piloto de tratamento de água foi de 99,17% para remoção de ferro em água subterrânea, assim após passagem da água bruta pelo sistema a mesma ficou dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela portaria 2914/2011 para o parâmetro Ferro Total.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no estudo da Estação de Tratamento piloto, pode-se concluir que o objetivo geral do trabalho foi alcançado com êxito, assim como os objetivos específicos, como a produção de carvão ativado a partir do caroço de açaí, produção de zeólita a partir da caulinita, adaptação e implantação da Estação Piloto de Tratamento de Água tipo desferriização.

Com uma eficiência de 99,17% de remoção de ferro através das unidades propostas e implantadas.

O carvão ativado produzido a partir do caroço do açaí demonstrou-se eficiente na remoção de ferro total de águas subterrâneas com uma eficiência de 90,33% do ferro, assim como para outros parâmetros.

A zeólita produzida a partir da caulinita também demonstrou-se eficiente na remoção de ferro total de águas subterrâneas, porém, foi observado a necessidade de modo a tornar viável o controle e operação em estações piloto de pequeno, médio e grande porte, necessita de mais experimentos para estudar seu comportamento, características e eficiência em estações de tratamento piloto de água.

A eficiência de remoção de ferro total nas unidades do aerador e leito de contato foi significativa, sendo 18,94 % e 32,95% respectivamente, assim foi vital para uma melhora na unidade subsequente do sistema de filtração.

Foi observado também que a unidade de desinfecção dosador de cloro em pastilhas necessita de adequações na dosagem de cloro, pois não atendeu aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria 2914/2011, no que se refere ao padrão de coliformes totais, que deve ser ausente, porém foi detectado um valor médio de 69 coliformes totais após tratamento.

Os parâmetros nitrito, nitrato e amônia foram estudados a fim de verificar o nível de contaminação as proximidades do poço artesiano. Porém foi constatado que todos os parâmetros, na entrada e saída da ETA encontram-se abaixo do limite máximo da Portaria 2914/2011.

Foi observado também uma grande perda de volume de água na unidade de aeração em decorrência da velocidade do vento, em virtude, recomenda-se que a mesma deve ser ligada quando a ventilação do ambiente estiver fraca.

Recomendações do desenvolvimento de trabalhos futuros para otimização do funcionamento e operação da Estação de tratamento de água tipo desferrização, recomenda-se ainda a realização de outros trabalhos, como por exemplo:

Utilização de produtos químicos em função do parâmetro pH, uma vez que existe uma faixa ótima de pH de oxidação do ferro de 7 a 8.

Aumentar as espessuras das camadas filtrantes e suporte e estudar outras alternativas de meio filtrante na eficiência do processo de remoção de ferro total.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES OLIVEIRA, D.; SCHMIDT, S.; FREITAS, M.D. Avaliação do teor de ferro em águas subterrâneas de alguns poços tubulares, no plano diretor de Palmas - TO. 2004. Net, Cuiabá, jan. 2012. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/gilda.pdf>>. Acesso em: 2 dezembro 2016.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. *Standard Methods for Examination of Water and WasteWater*. 18th. Washington, 2005. 9-26 p.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12216 –*Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público*. Rio de Janeiro, 1992. 16 p.

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

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, Sarah. Silva. *Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir resíduos do beneficiamento do café*. Universidade Federal de Lavras. Lavras-Minas Gerais, Brasil, 2007. Disponível em: <http://www.ppgem.ct.utfpr.edu.br> > Acesso em: 21 de fevereiro de 2017.

CAMARA, M. C. Águas Subterrâneas – Sistemas de distribuição de água – Ferro e Manganês. Disponível em: http://www.bosquedojambreiro.com.br/agua/ferro_manganes.htm. Acesso em 26 dezembro 2016.

CARVALHO, M. N. Avaliação do processo de remoção de ferro em água de origem subterrânea por adsorção com materiais naturais. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFPE, Recife, 2005.

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.

CARVALHO, T. E. M. de; FUNGARO, D. A.; IZIDORO, J. de C. *Adsorção do corante reativo laranja 16 de soluções aquosas por zeólitas sintéticas*. Revista Quim. Nova. V. 33, n.2, p. 358-363, 2010.

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. Disponível em: <http://www2.enq.ufsc.br/teses/mt01.pdf>.> Acesso em: 26 de fevereiro de 2016.

CLAUDINO, Andréia. *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. Disponível em: <http://www2.enq.ufsc.br/teses/mt01.pdf>.> Acesso em: 10 de janeiro de 2017.

COMPANHIA AMBIANTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. *Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras*. Brasília - DF, 2001.

COSTA, L. C. M. *Produção e modificação de carvões ativados para aplicações ambientais*. Belo Horizonte, Tese (Doutorado) Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Minas Gerais, 2007.

CPRM. Companhia de pesquisa de Recursos Minerais, Hidrogeologia: Conceitos e aplicações/Coordenadores: Feitosa F. A. C. & Filho, J. M. Fortaleza: CPRM, LABHID- UFPE, 1997.

CUBAS, Karina Guedes. *Avaliação do desempenho de carvões ativos usados na remoção de composto orgânicos de água naturais proveniente de cianobactérias e suas toxinas*. Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR. 2010. Disponível em: <http://www.rbciamb.com.br>> Acesso em: 10 de janeiro de 2017.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2. ed. São Paulo: Rima, 2005.

E. C. RODRIGUES, H. S. ALMEIDA, J. C. F. REIS JR1, A. C. P. A. SANTOS, P. R. O. BRITO e J. A. S. SOUZA. Produção de zeólitas a partir de caulim para adsorção de cobre.COBEP.2014.

FARIAS, A. A. S; AZEVEDO, G. A. *Avaliação do Desempenho do Conjunto Aerador, Filtro e Clorador para Remoção de Ferro da Água de Captação Subterrânea –*

Urumanduba – Santarém – Pará. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil). Universidade Luterana do Brasil. Santarém – Pa, 2015

FERNANDES, K. A. N. *Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água*. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2010. Disponível em: <<http://www.pucrs.com.br>>. Acesso em: 20 de Março de 2016.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. *Manual de Saneamento*. 3º Ed. Ver. Brasília: FUNASA, 2006. 408 p.

HELLER, L; PÁDUA, V. L de (org.). *Abastecimento de água para consumo humano*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

JIMENEZ, R. S.; BOSCO, S. M. D.; CARVALHO, W. A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural esolecita – influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. *Revista Quim. Nova*, V. 27, nº5, p 734-738, 2004.

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.

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

LIMA, R. F. *Influência do Leito de Contato na Eficiência de Remoção de Ferro de Águas Subterrâneas*. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, Belém - Pará, 2006.

LUZ, A. B. *Zeólitas: Propriedades e usos industriais*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1995.

MADEIRA, V. S. *Desenvolvimento de um carvão adsorvente para remoção de íons ferro em águas naturais*. UFSC. Santa Catarina, 2003. 89 p. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85902/210603.pdf>>

MIGNONI, M. L.; DETONI, C.; PERGHER, S. B. C. Estudo da síntese da zeólita ZSM-5 a partir de argilas naturais. *Revista Quim. Nova*. V. 30, nº 1, p. 45-48, 2007.

MIRANDA, Luís Alcides Schiavo. *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.

NIEDERSBERG, C. *Ensaio de Adsorção com Carvão Ativado Produzido a partir da Casca do Tungue (Aleurites fordii), Resíduos de Processo de Produção de Óleo*. Dissertação (Mestrado) Universidade de Santa Cruz do Sul. Santa Cruz do Sul, 2012.

PERGHER, S. B. C.; CAOVIALLA, M.; DETONI, C. Remoção de Cu^{+2} de soluções aquosas em zeólita NaX. Efeito da granulometria. *Revista quim. Nova*. V28, nº 3, p. 397-401, 2005.

PFEIFFER, W. C.; FISZMAN, M.; MALM, O.; AZCUE, M. *Heavy metal pollution in the Paraíba do Sul river, Brasil*. The Science of total environment, 1986.

RICHTER, C.A. *Água: métodos e tecnologia de tratamento*. São Paulo: Blucher, 2009.

RICHTER, C.A.; AZEVEDO NETTO; J.M. *Tratamento de Água: tecnologia atualizada*. São Paulo: Edgard Blucher, 1995.

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

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

RODRIGUES, E. C.; ALMEIDA, H. S.; REIS JR, J. C. F.; SANTOS, A. C. P. A.; BRITO, P. R. O.; SOUZA, J. A. S. Produção de zeólitas a partir de caulim para adsorção de cobre, p. 8867-8874. In: ANAIS DO XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA – COBEQ 2014. São Paulo: Blucher, 2015.

SANTANA, D. L.; SARAIVA, A. C. F.; NEVES, C. F.; SILVA, D. L. *Zeólita A sintetizada a partir de rejeitos do processo de beneficiamento de caulim*. *Cerâmica*, 2012. 238-243.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Operação e manutenção de estações: abastecimento de água: guia do profissional em treinamento: nível*. Belo Horizonte: ReCESA, 2007.
sequence=1>. Acesso em: 22 de março de 2016.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 8, n. 4, p. 1019-1028. 2003.

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.

TEXEIRA, B. L.; GERMANO, V. L. C.; OLIVEIRA, R. F.; FURLAN JÚNIOR, J. *Processos de Compostagem usando resíduos das agroindústrias de açaí e de palmito do açazeiro*. Circular Técnica de nº 41. EMBRAPA Amazônia Oriental. Belém-PA, 2005.

TISUTYA, M. T. *Abastecimento de água*. 4ª Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia hidráulica e sanitária da escola politécnica da USP, 2006.

TSUTIYA, M. T. *Abastecimento de Água*. São Paulo, Escola Politécnica da USP. 3ª Edição, 2006.

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

ZIMBRES, E. *Meio Ambiente*. 2000. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/quimica.htm>>. Acesso em 23 dezembro 2016