



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

**ANÁLISE DE EFLUENTES UTILIZANDO POLIESTIRENO, OBTIDO A PARTIR DE  
COPOS DESCARTÁVEIS COMO AGENTE FACILITADOR NO PROCESSO DE  
COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE ESGOTO  
DOMÉSTICO NA CIDADE DE SANTARÉM-PARÁ**

**ANDRÉ ROGÉRIO DA SILVA CALDEIRA  
MARIANE ASSIS DOS SANTOS**

**SANTARÉM-PARÁ**

**2017**

**ANDRÉ ROGÉRIO DA SILVA CALDEIRA  
MARIANE ASSIS DOS SANTOS**

**ANÁLISE DE EFLUENTES UTILIZANDO POLIESTIRENO, OBTIDO A PARTIR DE  
COPOS DESCARTÁVEIS COMO AGENTE FACILITADOR PARA O PROCESSO  
DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE ESGOTO  
DOMÉSTICO NA CIDADE DE SANTARÉM-PARÁ**

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

**ORIENTADOR:**

Prof. Me. Manoel Bentes dos Santos Filho

**SANTARÉM-PARÁ**

**2017**

## FOLHA DE AVALIAÇÃO

Nome do Autor: SANTOS, Mariane Assis; CALDEIRA, André Rogerio da Silva

**Título: Análise de Efluentes Utilizando Poliestireno, Obtido a partir de Copos Descartáveis como agente facilitador para o Processo de Coagulação/Floculação no Tratamento de Esgoto Doméstico na Cidade de Santarém-Pará.**

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

Data da aprovação:

Banca Examinadora:

\_\_\_\_\_ Orientador e Presidente

Prof. Me. Manoel Bentes dos Santos Filho

Curso em Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas /Universidade Federal do Oeste do Pará

\_\_\_\_\_ Membro Titular

Prof. Dr. Lucinewton Silva de Moura

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

\_\_\_\_\_ Membro Titular

Prof. Dr. Ruy Bessa Lopes

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

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

C146a Caldeira, André Rogério da Silva

Análise de efluentes utilizando poliestireno, obtido a partir de copos descartáveis como agente facilitador no processo de coagulação/floculação para o tratamento de esgoto doméstico na cidade de Santarém-Pará. / André Rogério da Silva Caldeira; Mariane Assis dos Santos, 2017.

44f.: il.

Inclui referências bibliográficas.

Orientador: Manoel Bentes dos Santos Filho

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

1. Tratamento de efluentes domésticos. 2. Coagulação/floculação. 3. Poliestileno. 4. Sulfato de alumínio. I. Santos filho, Manoel Bentes, *orient.* II. Título.

**CDD: 23.ed. 628.162**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar meus caminhos e me dar forças para percorrê-los.

Aos meus pais, Abel Caldeira e Odaléa Caldeira, minhas irmãs Andréa Caldeira, Andreissy Caldeira e meu sobrinho Arthur Cabral Caldeira por todo apoio e amor concedido sempre. Por alegrarem minha vida e me encherem de esperança naqueles momentos em que tudo parece ir de mal a pior.

Aos amigos Higino Gama, Jacknilson Costa, Jean Muniz, Ricardo Amaral, e em especial Bruna Mumberguer e Carla Paula que sempre estiveram comigo em todas as situações dentro e fora da universidade.

Ao Professor e Orientador Manoel Bentes ao qual nunca colocou dificuldades para o êxito deste trabalho.

E o que dizer de você minha amiga/irmã e companheira de TCC Mariane Santos, obrigado pela paciência, pelo incentivo, pela força e principalmente pelo carinho, valeu a pena toda essa jornada, todo esse sofrimento, todas as renúncias. Hoje estamos colhendo juntos os frutos do nosso empenho. Esta vitória é muito mais sua do que minha!!! Obrigado.

André Rogério da Silva Caldeira

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional, pois sem eles tudo teria sido mais difícil.

Ao meu orientador Prof. Me. Manoel Bentes dos Santos Filho, por toda ajuda, paciência, incentivo e confiança durante este trabalho

Aos amigos de Curso Carla, Bruna, Higino, Jacknilson, Jean, Ricardo que direto ou indiretamente me auxiliaram para chegar até aqui. Por estarem sempre ao meu lado e pela experiência vivida entre vocês, que é única em cada amizade.

Ao meu amigo e parceiro nesta jornada André Rogerio. Foram tantos momentos juntos, alegres, desafiadores, engraçados, por toda paciência, incentivo, por estar sempre ao meu lado e fazer com que esse projeto se realizasse.

Enfim, a todos os que de alguma forma, incentivaram e contribuíram para a minha formação.

Mariane Assis dos Santos

## RESUMO

SANTOS, M. A.; CALDEIRA, A. R. S. **Análise de Efluentes Utilizando Poliestireno, Obtido a partir de Copos Descartáveis como agente facilitador no Processo de Coagulação/Floculação para o Tratamento de Esgoto Doméstico na Cidade de Santarém-Pará.** 2017. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Química Sanitária) – Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Oeste do Pará.

Este trabalho objetivou utilizar o poliestireno  $(C_8H_8)_n$  obtido pela trituração de copos descartáveis pós consumo como agente facilitador nos processos de coagulação/floculação para o tratamento de esgoto doméstico. Obtendo como variável resposta à remoção da turbidez, porém utilizando também outros parâmetros como: pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido. As etapas seguintes consistem em determinar os mecanismos de coagulação que visam descrever a adsorção via sulfato de alumínio e neutralizando das cargas e adsorção via poliestireno e formação de pontes. Em seguida determinou-se a concentração mínima do coagulante de sulfato de alumínio e poliestireno com quantidade de 5mg/L, 10mg/L e 15mg/L. Os resultados demonstraram que a quantidade de concentração do coagulante foi de 15mg/L pois foi a que melhor apresentou remoção na turbidez. Para pH poliestireno mostrou-se mais eficiente uma vez que manteve o valor próximo a neutralidade, sendo o único permitido que atendeu a legislação vigente de lançamento. Para a turbidez ambos os resultados apresentaram significativa melhora se comparados ao esgoto bruto, porém se equipararmos poliestireno com o sulfato de alumínio o mesmo mostrou-se mais eficaz promovendo a remoção de turbidez de maneira mais rápida. Em relação à condutividade e oxigênio dissolvido sulfato de alumínio e poliestireno apresentaram eficiências muito próximas em relação ao esgoto bruto. Conclui-se que o poliestireno, apresenta bons resultados como agente facilitador nos processos de coagulação/floculação, porém de maneira mais lenta e menos drástica quando comparado ao sulfato de alumínio.

**Palavras-chaves:** tratamento de efluentes domésticos, coagulação/floculação, poliestireno, sulfato de alumínio,

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Definição esquemática do mecanismo de adsorção e neutralização de cargas com aplicação de sulfato de alumínio. Fonte: Kemira (2003) apud Lima (2007). .....	19
<b>Figura 2:</b> Definição esquemática da formação de pontes entre partículas com aplicação de polímeros .....	20
<b>Figura 3:</b> Reação de polimerização do poliestireno a partir do estireno .....	22
<b>Figura 4:</b> mapa de localização dos pontos de coleta.....	24
<b>Figura 5:</b> Material triturado. Fonte: o autor .....	25
<b>Figura 6:</b> Análise granulométrica do material. Fonte: o autor .....	25
<b>Figura 7:</b> Jar Test utilizado nos ensaios. Fonte: o autor .....	26
<b>Figura 8:</b> Ensaios utilizando Sulfato de Alumínio e Poliestireno respectivamente. Fonte: o autor .....	28
<b>Figura 9:</b> Caracterização do efluente. Fonte: o autor .....	29
<b>Figura 10:</b> Turbidez remanescente versus dosagem de coagulante nos ensaios de Jar-test. Fonte: o autor .....	30
<b>Figura 11:</b> Turbidez remanescente versus dosagem de coagulante nos ensaios de Jar-test. Fonte: o autor .....	30
<b>Figura 12:</b> Amostras comparando sulfato de alumínio e poliestireno .....	31
<b>Figura 13:</b> Resultados da influência do pH sobre a turbidez. ....	32
<b>Figura 14:</b> Resultado dos Ensaios de Coagulação utilizando Sulfato de Alumínio e Polímero de Poliestireno na Variação de pH.....	33
<b>Figura 15:</b> Resultado dos Ensaios de Coagulação utilizando sulfato de alumínio e poliestireno na eficiência da remoção de turbidez.....	34
<b>Figura 16:</b> Resultado dos ensaios de coagulação utilizando Sulfato de alumínio e poliestireno na variação de condutividade elétrica .....	35
<b>Figura 17:</b> Resultado dos Ensaios de Coagulação utilizando sulfato de alumínio e poliestireno na variação de oxigênio dissolvido.....	36

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Métodos e Protocolos Utilizados na Caracterização do Efluente:.....	26
<b>Tabela 2</b> - Caracterização do Esgoto doméstico, Padrão de Lançamento de Efluentes Especificados nas Resoluções do CONAMA 357/2005 e 430/2011 .....	29

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	13
2.1. OBJETIVO GERAL: .....	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
3.1. Contaminação da Água .....	14
3.2. Classificação do Esgoto .....	15
3.4. Coagulação/Floculação .....	17
3.4.1. Mecanismos de Coagulação .....	18
3.5. Utilização de Polímeros no Tratamento de Esgoto .....	21
3.5.1. Polímero Sintético – Poliestireno (PS) .....	22
3.5.2. Principais Propriedades do Poliestireno (PS) .....	23
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	24
4.1. Preparo do material polimérico utilizado nos ensaios de coagulação/floculação. ....	25
4.2. Métodos de Análise e Caracterização dos Efluentes .....	26
4.3. Teste de Jarros (JAR-TEST) .....	26
4.4. Concentração Mínima de Coagulante .....	27
4.5. Determinação de pH Ideal .....	27
4.6. Ensaios de Coagulação/Floculação .....	27
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
5.1. Caracterização do Efluente .....	29
5.1. Determinação da concentração mínima de coagulante .....	30
5.2. Determinação de pH Ótimo .....	31
5.3. Resultado dos Ensaios de Coagulação utilizando Sulfato de Alumínio e Polímero de Poliestireno na Variação de pH. ....	33
5.4. Resultado dos Ensaios de Coagulação utilizando sulfato de alumínio e poliestireno na eficiência da remoção de turbidez .....	34
5.5. Resultado dos Ensaios de Coagulação utilizando sulfato de alumínio e poliestireno na variação de condutividade elétrica .....	34
5.6. Resultado dos Ensaios de Coagulação utilizando sulfato de alumínio e poliestireno na variação oxigênio dissolvido .....	36
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	37
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	38
APÊNDICE A .....	41
APÊNDICE B .....	43

## 1. INTRODUÇÃO

A água utilizada nas atividades humanas possui características que a tornam imprópria para consumo e retorno ao meio ambiente. Apesar do tratamento de esgoto doméstico ser responsabilidade das prefeituras e do governo de cada estado, a realidade encontrada na maioria das cidades brasileiras é a falta de tratamento ou no mínimo um tratamento deficiente. É comum encontrar esgotos sendo lançados em mananciais, o que traz prejuízos à fauna, à flora e ao ser humano, encadeamentos que tornam indispensáveis melhores processos de tratamento. “Uma vez poluída, a água pode ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos” (BRAGA et al., 2004).

O problema do esgotamento sanitário no Brasil é antigo onde a maioria da população ainda convive de forma direta com esgotos a céu aberto ficando expostos a diversos riscos provenientes desse esgoto como vírus, produtos químicos, bactérias entre outros. Além da contaminação ambiental, um grande número de doenças pode ser transmitido devido à disposição incorreta do esgoto sanitário. Assim, sob o aspecto sanitário, o tratamento e destinação correta dos dejetos humanos têm por finalidades evitar a contaminação do solo e mananciais de abastecimento de água, impedir o contato de vetores com as fezes, inculir e promover hábitos higiênicos na população, fomentar o conforto e atender o senso estético. Já em relação aos aspectos econômicos, o tratamento de esgoto contribui para a redução da mortalidade humana, uma vez que reduz os casos de doenças.

Em termos de rede coletora de esgoto, segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios/IBGE de 2014 a proporção de domicílios que dispunham de serviços de rede coletora de esgoto no Brasil passou de 63,4% em 2013 para 63,5% em 2014. Um incremento de 1,2 milhões de domicílios que passaram a possuir este serviço, totalizando 42,6 milhões de domicílios atendidos. As regiões que tiveram os maiores aumentos na proporção de domicílios ligados à rede coletora de esgoto foram a Região Norte com aumento de 1,9 pontos percentual e a Região Sul, com 1,3 ponto percentual. A Região Centro-Oeste teve queda, de 1,6 pontos percentuais. As Regiões Norte (21,2%), Nordeste (41,1%), Centro-Oeste (46,5%) e Sul (61,9%), permaneceram com percentuais de domicílios com acesso a este serviço inferior à

média nacional; enquanto a Região Sudeste continuou sendo a que possuía a maior cobertura desse serviço, com 87,7% dos domicílios atendidos.

O quadro precário do atendimento com serviços de esgotamento sanitário resulta no lançamento de esgotos sem tratamento ou com concentrações acima dos limites permitidos pela legislação ambiental, segundo a Resolução CONAMA nº 357/05. O tratamento adequado de esgoto, seja para dar um destino final, seja para o reuso e/ou diversos fins, conforme preconiza as normas do CONAMA, representa resultados para as problemáticas da escassez de recursos hídricos e para diminuir a poluição das águas, colaborando de forma direta com o meio ambiente e com a saúde da população.

São vários os processos existentes para serem implantados em Sistemas de Tratamento de Esgoto, sejam eles processos individuais ou combinados. Onde leve-se em consideração as composições e as características físico-químicas e biológicas do esgoto bruto gerado, decidindo então qual processo é mais adequado para tratar esses efluentes indesejáveis. Além desses fatores (Imhoff e Imhoff apud MELLO, 2007), afirmam que é necessário certificar-se da eficiência de cada processo unitário e de seu custo, além da disponibilidade de área.

Entre os vários processos que envolvem o tratamento de esgoto destacaremos os processos químicos, aqueles obtidos através de aplicações de produtos químicos como sais de ferro, de alumínio ou polímeros sintéticos. Todo efluente que irá ser tratado contém impurezas, destacando-se partículas coloidais com diâmetro médio entre 1 e 1000 nm, substâncias húmicas e organismos em geral. Essas impurezas apresentam carga superficial negativa, impedindo que as mesmas se aproximem uma das outras, permanecendo no meio líquido se suas características não forem alteradas. Para que essas impurezas possam ser removidas é necessário alterar alguma de suas características por meio da coagulação, floculação, sedimentação e etc.

A coagulação realizada por sais de ferro ou de alumínio ou polímeros sintéticos tem como finalidade desestabilizar as partículas coloidais para que haja a suspensão dessas partículas sólidas indesejáveis, que não podem ser removidas por sedimentação e outros processos. Vesilind e Morgam, 2011, reforçam que a coagulação é a alteração química das partículas coloidais para que possam se aglutinar e formar partículas maiores conhecidas como flocos. Em seguida inicia-se o processo de floculação que tem o mesmo desempenho da coagulação, continuando

assim a aglutinação das sujeiras para que venha facilitar a remoção desses sólidos indesejáveis, havendo choques entre as partículas numa velocidade ideal para que não haja a desintegração da mesma. É nítido que quanto maior o tamanho do floco, melhor será a remoção aumentando a eficiência para a continuação do tratamento de esgoto. Dentre os produtos químicos utilizados no tratamento de esgoto destacam-se os polímeros sintéticos e naturais, isso vai depender com qual tipo de efluente estaremos trabalhando pois existe uma grande diferença entre a composição química do esgoto, sendo necessário um tratamento adequado para cada efluente. Os polímeros usados no tratamento de água e efluentes são normalmente sintéticos e solúveis em água. Quanto a sua natureza iônica, podem ser aniônicos ou catiônicos e a densidade de carga também é variável. Quando em meio aquoso, os polímeros aniônicos apresentam sítios negativos ao longo da cadeia, os catiônicos apresentam sítios positivos e os não-iônicos não apresentam sítios ionizáveis (BOLTO E GREGORY, 2007 *apud* KURITZA, 2012).

Este trabalho estuda a possibilidade do uso de Poliestireno, obtido a partir de copos descartáveis pós consumo como agente facilitador no processo de coagulação/floculação, para o tratamento de efluentes domésticos, tornando-se uma alternativa economicamente viável para substituir as matérias-primas tradicionais por mais aplicações poliméricas.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL:

Verificar a possibilidade do uso de material polimérico obtido a partir de copos descartáveis como agente facilitador nos processos de coagulação/floculação para o tratamento de efluentes domésticos.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Propor o uso de um agente facilitar de coagulação/floculação a base de poliestireno.
- Comparar os desempenhos nos parâmetros físico-químicos do coagulante inorgânico sulfato de alumínio, versus o material polimérico poliestireno como agente facilitador nos processos de coagulação/floculação.
- Tentar contribuir com as escassas pesquisas, em se tratando de polímeros e sua eficiência no tratamento do esgoto.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Contaminação da Água

A expansão demográfica e o desenvolvimento tecnológico trazem como consequência imediata o aumento do consumo de água e a ampliação constante do volume de águas residuárias não reaproveitavam que, quando não condicionadas de modo adequado, acabam poluindo as áreas receptoras causando desequilíbrios ecológicos e destruindo os recursos naturais da região atingida ou mesmo dificultando o aproveitamento desses recursos naturais pelo homem. (FERNANDES, 2000)

O consumo de água distingue-se em três áreas: a agricultura, considerada a mais dispendiosa, seguida pela indústria e finalizando com as atividades urbano-domésticos. (TELLES e COSTA 2010)

Os recursos hídricos são contaminados por esgotos domésticos e industriais, produtos químicos orgânicos e inorgânicos tóxicos que causam danos a fauna e a flora sendo prejudiciais direta ou indiretamente ao ser humano. Segundo Jordão e Pessoa 2005, no Brasil, a principal fonte de poluição dos recursos hídricos é o lançamento indiscriminado de esgoto não tratados. Uma parcela significativa das águas, depois de utilizadas para o abastecimento público e nos processos produtivos, retorna suja os cursos d'água, havendo assim a necessidade do tratamento do esgoto, como o objetivo de controle da poluição que chega os corpos hídricos, promovendo assim uma melhoria na qualidade dos corpos aquáticos e de águas destinadas ao abastecimento público, além da redução da poluição ambiental. (GUIMARÃES E NOUR, 2001).

A caracterização mais exata das alterações prejudiciais na qualidade das águas naturais relaciona-se ao uso que se faz do recurso hídrico. Nesta vertente, a própria Resolução Conama 357/2005, ao classificar aos cursos d'água em classes especiais, 1, 2, 3 e 4, explicita alguns usos, tais como abastecimento público, manutenção das espécies aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças e aquicultura. Desta forma, águas com elevada concentração de algas poderiam ser utilizadas para irrigação de várias culturas, como tem ocorrido em algumas circunstâncias com efluentes de lagoas de estabilização de esgoto, mas trariam diversos inconvenientes à operação das estações de tratamento. Em outro exemplo,

águas com elevada concentração de metais pesados ou agrotóxicos usualmente não se prestariam ao abastecimento ou irrigação, mas poderiam ser utilizadas para geração de energia ou transporte hidroviário. (LIBÂNIO 2010).

### 3.2. Classificação do Esgoto

O esgoto sanitário, segundo a norma brasileira NBR 9648 que trata sobre o “Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário”, (ABNT, 1986) é o “despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Apresentando as seguintes definições:

- Esgoto doméstico: é o “despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas”;
- Esgoto Industrial: é o “despejo de líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamentos estabelecidos”;
- Água de infiltração: é “toda a água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações”;
- Contribuição pluvial parasitária é a “parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário”;

Segundo a Fundação Nacional de Saúde, 2007, esgoto doméstico é o efluente de qualquer edificação que contenha banheiros, lavanderias e cozinhas. Constitui-se, portanto, de água de lavagem ou de banho misturado com excretas, papel higiênico, restos de alimento, sabão e detergentes. A edificação clássica é a residência, porém, estabelecimentos comerciais, escolas, igrejas, banheiros de indústrias, entre outros, também geram esgoto doméstico.

O esgoto industrial é aquele gerado através das atividades industriais, salientando-se que uma unidade fabril onde seja consumida água no processamento de sua produção, gera um tipo de esgoto com características inerentes ao tipo de atividade (esgoto industrial) e uma vazão tipicamente de esgoto doméstico originada nas unidades sanitárias (pias, bacias, lavatórios, etc.). Deverão passar por pré-tratamento ou tratamento específicos antes de serem lançados no corpo receptor. (ABNT/NBR 9648, 1986; FERNANDES, 2000)

Segundo Von Sperling (1996), Os despejos industriais são efluentes de indústrias que, devido às características favoráveis, são admitidos na rede de esgoto.

Os esgotos industriais ocorrem em pontos específicos da rede coletora e suas características dependem da indústria.

### 3.3. Tratamento do Esgoto

A utilização de esgotos sanitários oferece, portanto, oportunidades de natureza econômica, ambiental e social, mas em situações de acentuada escassez de recursos hídricos pode mesmo constituir uma necessidade.

Segundo Sperling, 2005, os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água, 0,1% de sólidos orgânicos como proteínas, carboidratos e lipídeos, sólidos inorgânicos como amônia, nitrato, ortofosfatos, bem como microrganismos como fungos, bactérias, protozoários, vírus etc. É devido a essa fração que há necessidade de se tratar os esgotos, uma vez que ela pode causar problemas de saúde pública, ambientais, visuais e olfativos.

Para NUNES 2012, o tratamento de águas residuárias são processos artificiais de depuração, remoção de poluentes e adequação dos parâmetros das águas residuárias de modo a torna-las próprias para o lançamento e disposição final. O processo de tratamento de águas residuárias são classificados em dois tipos: físico-químicos e biológicos.

- a) Processos físicos: São processos de tratamento de água residuárias em que se aplicam fenômenos de natureza física, tais como: gradeamento, peneiramento, sedimentação, floculação, flotação, decantação, filtração, osmose reversa, resfriamento, etc.
- b) Processos químicos: São processos de águas residuárias em que são conseguidos através de aplicação de produtos químicos ou de reação e interações químicas, tais como: coagulação, correção de pH (neutralização), equalização (homogeneização), precipitação, oxidação, redução, adsorção, troca iônica, eletrodialise, desinfecção, etc.
- c) Processos biológicos: São processos de tratamentos de água residuárias em que são conseguidos através de atividades biológicas ou bioquímicas, tais como remoção de matéria orgânica (DBO), remoção de nitrogênio e fósforo.

A escolha de um ou de outro, ou até a combinação de ambos varia de acordo com a característica do esgoto a ser tratado. Sperling 2005, define que as características dos esgotos ocorrem em função dos usos à qual a água foi submetida,

esses usos e a forma como são exercidos variam de acordo com a situação social, econômica, clima e hábitos da população.

O tratamento de esgoto é usualmente classificado através dos seguintes níveis, segundo Von Sperling 2005:

- **Tratamento preliminar:** objetiva apenas a remoção de sólidos grosseiros;
- **Tratamento primário:** visa à remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica, predominando os mecanismos físicos;
- **Tratamento secundário:** onde predominam mecanismos biológicos, com objetivo principal de remoção de matéria orgânica e de nutrientes (nitrogênio e fósforo);
- **Tratamento terciário:** objetiva a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário. O tratamento terciário é bastante raro no Brasil.

Como visto anteriormente existe uma variedade de processos utilizados no tratamento de esgoto, por isso, serão abordados somente os relacionados neste trabalho, a saber os processos químicos, coagulação e floculação.

### 3.4. Coagulação/Floculação

A coagulação e a floculação são processos físico-químicos usados para agregarem colóides e partículas dissolvidas em flocos maiores, que podem ser facilmente sedimentados por gravidade e em seguida removidos (LICKSKÓ, 1997; KAWAMURA, 1996 *apud* SANTOS 2011).

As substâncias húmicas, colóides e outras impurezas presentes nos corpos d'água, possuem carga superficial negativa. Isto dificulta a sedimentação natural das mesmas, pois impede a aproximação umas das outras, fazendo com que estas substâncias tendam a ficar suspensas na água, promovendo os efeitos indesejáveis conhecidos como turbidez, cor, etc. Para que impurezas possam ser removidas é necessário alterar algumas características da água e, conseqüentemente das impurezas nela contidas. A desestabilização das partículas é realizada por coagulação mediante a adição de eletrólitos tais como sais metálicos e/ou polímeros orgânicos sintéticos ou naturais. (DI BERNARDO E DANTAS, 2005.). As partículas coloidais são neutralizadas e aglutinadas em partículas de maiores dimensões (maior volume

e maior peso) através do uso de coagulantes (reagentes químicos), que eliminam a carga eletrostática negativa da superfície das partículas, o que diminui a repulsão entre elas. Através da agitação rápida promove o choque entre as partículas, o que permite a formação de flocos através da precipitação conjunta do hidróxido metálico com as impurezas por ele neutralizadas.

Floculação, etapa subsequente à coagulação consiste então na agregação de partículas neutralizadas na fase da coagulação, formando-se flocos com a ajuda de um floculante que se liga às mesmas através de “pontes”. Os flocos vão aumentando de peso e tamanho permitindo a sua sedimentação por ação da gravidade, de forma a mais tarde poder separá-los da água por processos como a decantação e a filtração. Nesta fase há uma agitação mecânica da massa de água mas em uma velocidade mais lenta, de modo a promover o contato entre as partículas e os flocos, sem que haja a destruição daqueles já formados. (DI BERNARDO E DANTAS, 2005.).

#### 3.4.1. Mecanismos de Coagulação

Di Bernardo e Dantas 2005, consideram a coagulação como o resultado individual ou combinado da ação de quatro mecanismos distintos. a) compressão da camada difusa, b) adsorção e neutralização de cargas, c) varredura d) adsorção e formação de pontes.

A definição do mecanismo predominante a ser utilizado depende de fatores como pH de coagulação, da dosagem do coagulante, e de características químicas da água bruta.

Assim segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a compressão da camada elétrica ocorre devido ao aumento da concentração de íons indiferentes de cargas opostas presentes ao redor da camada difusa que circunda a partícula coloidal. Como resultado, a camada difusa reduz sua espessura, e, portanto, o potencial elétrico associado à partícula coloidal, diminuindo as forças de repulsão existentes entre as partículas.

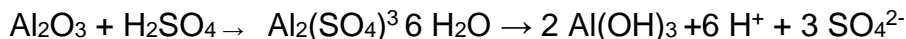
Já a atuação do mecanismo de varredura se verifica quando são usadas doses de coagulante, suficientes para a formação de precipitado de hidróxido metálico. Este mecanismo é recomendado para a tecnologia de ciclo completo, já que favorece a formação de flocos maiores, promovendo sua sedimentação ou flotação.

O mecanismo de adsorção-neutralização de cargas ocorre quando espécies hidrolisadas com elevadas cargas positivas, produzidas a partir da hidrólise, são adsorvidas na superfície dos coloides carregados negativamente, neutralizando as cargas e reduzindo as forças repulsivas entre as partículas, e, conseqüentemente, promovendo a desestabilização da dispersão coloidal.

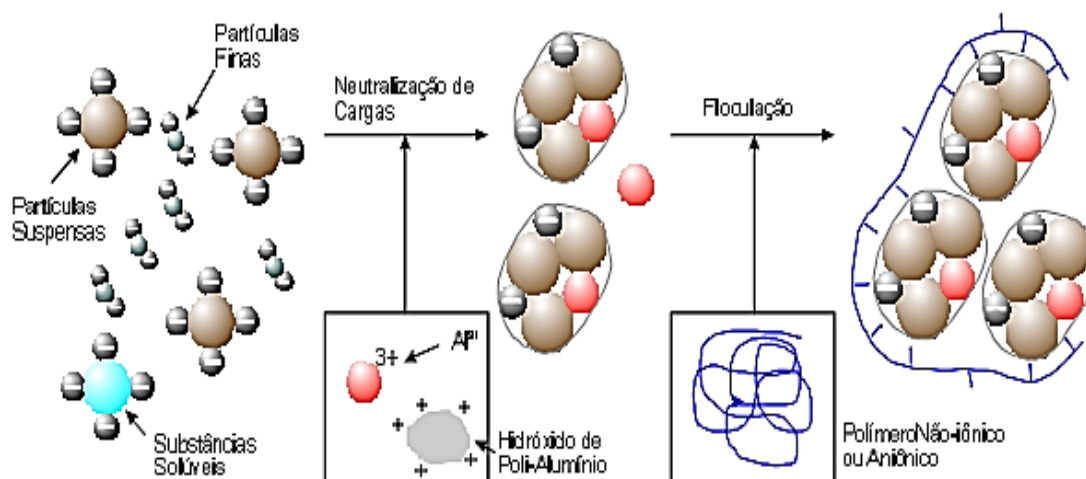
Mecanismo de adsorção-formação de pontes é observado principalmente quando utilizados polímeros como auxiliares de coagulação ou como coagulantes. Quando o polímero entra em contato com uma partícula coloidal, alguns dos seus grupos reativos se adsorvem na superfície da partícula reduzindo a sua carga superficial. Os segmentos livres dos polímeros adsorvidos nas partículas previamente desestabilizadas podem se adsorver na superfície de outras partículas formando pontes e conseqüentemente promovendo a agregação das mesmas.

#### 3.4.1.1. Adsorção via sulfato de alumínio e Neutralização de Cargas

A reação química entre o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Gera os seguintes íons:



Os íons  $\text{Al}^{3+}$  passam a atuar de duas formas: (1) a minoria desses cátions neutraliza as cargas negativas das impurezas presentes na água, e (2) a maioria desses cátions interage com os íons hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) da água, formando o hidróxido de alumínio. O resultado é que as partículas de impurezas sofrem uma aglutinação e quelam no hidróxido de alumínio, formando flocos, sólidos de tamanho maior. A figura abaixo ilustra esse processo.

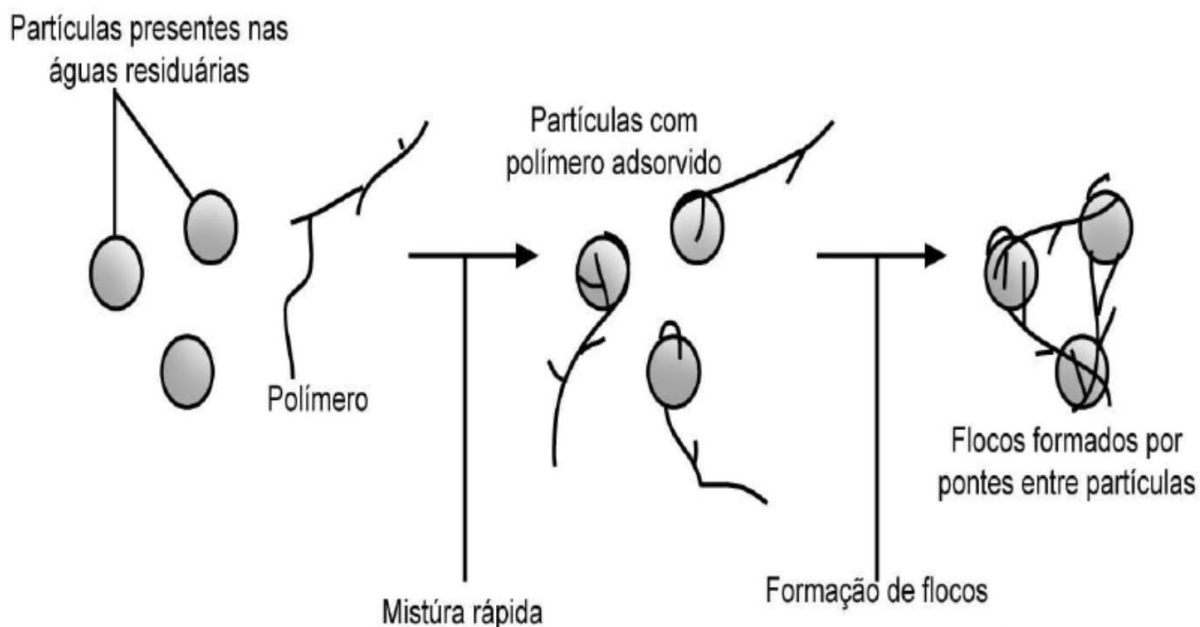


**Figura 1:** Definição esquemática do mecanismo de adsorção e neutralização de cargas com aplicação de sulfato de alumínio. Fonte: Kemira (2003) apud Lima (2007).

### 3.4.1.2. Adsorção via poliestireno e Formação de pontes de hidrogênio

Este mecanismo caracteriza-se por envolver o uso de polímeros de grandes cadeias moleculares (sintéticos ou naturais), que apresentam sítios ao longo de sua cadeia, servindo de ponte entre a superfície à qual estão aderidos e outras partículas. O comportamento de polieletrólitos como coagulantes é explicado baseado na adsorção à superfície de partículas coloidais, seguida da redução da carga ou pelo entrelaçamento das partículas nas cadeias orgânicas (Mendes, 1989).

O mecanismo principal proposto para a ação no tratamento de água e esgoto é atribuído à ação de forças eletrostáticas entre as partículas e os sítios iônicos na cadeia polimérica. Outro aspecto que pode estar envolvido é a massa molecular dos polímeros, que leva a uma ação conjunta entre o efeito eletrostático e o tamanho da cadeia polimérica que reúne as partículas formando flocos maiores que decantam mais rapidamente. Os coloides presentes em sistemas aquáticos apresentam predominantemente carga elétrica negativa. Reduzindo ou neutralizando sua carga, as partículas coloidais irão progressivamente aglomerar, possibilitando sua sedimentação. A Figura 2 ilustra esse mecanismo.



**Figura 2:** Definição esquemática da formação de pontes entre partículas com aplicação de polímeros  
Fonte: METCALF & EDDY apud Lopes, (2011)

### 3.5. Utilização de Polímeros no Tratamento de Esgoto

Di Bernardo e Dantas 2005, afirmam que a utilização de polímeros reduz consideravelmente a utilização de coagulante, principalmente quando esse é um sal de alumínio ou de ferro. São empregados com o objetivo de aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos e reduzir as forças de cisalhamento (forças de desagregação dos flocos formados devido agitação). Portanto a utilização do polímero aumenta significativamente o tratamento do esgoto. Os principais polímeros que são utilizados nos processos de coagulação e floculação para o tratamento do esgoto, são naturais ou sintéticos.

Há três tipos de polímeros que podem ser usados: catiônicos, aniônicos e não iônicos. (MERIGO, 2010)

**Catiônico:** é aquele que quando dissolvido em água se ioniza, adquire carga positiva e atua como um autêntico cátion.

**Aniônico:** de maneira semelhante, adquire carga negativa e atua como ânion.

**Não iônico:** é aquele que não se ioniza em água ou ioniza-se muito pouco.

A carga do polímero e o seu peso molecular são de grande importância. Teoricamente, quanto maior a cadeia polimérica, melhor seria a formação de flocos, no entanto, longas cadeias são quebradas com mais facilidade por cisalhamento.

Os polímeros de peso moleculares alto têm cadeias longas e por isso são capazes de estabelecer ligações entre as partículas diminutas dispersas no efluente, facilitando sua aglutinação e transformando-as em partículas relativamente grandes. Para que a aglutinação de partículas suspensas aconteça é necessário que a molécula do polímero seja adsorvida nas superfícies de duas ou mais dessas partículas. Para tanto, são fundamentais a carga, o peso molecular e o grupo funcional do polímero. Podemos explicar cada fase acima citada da seguinte maneira:

**Carga:** serve para neutralizar as cargas da matéria em suspensão.

**Grupo funcional:** quanto mais atuante, mais fácil será para a adsorção das partículas ao polímero.

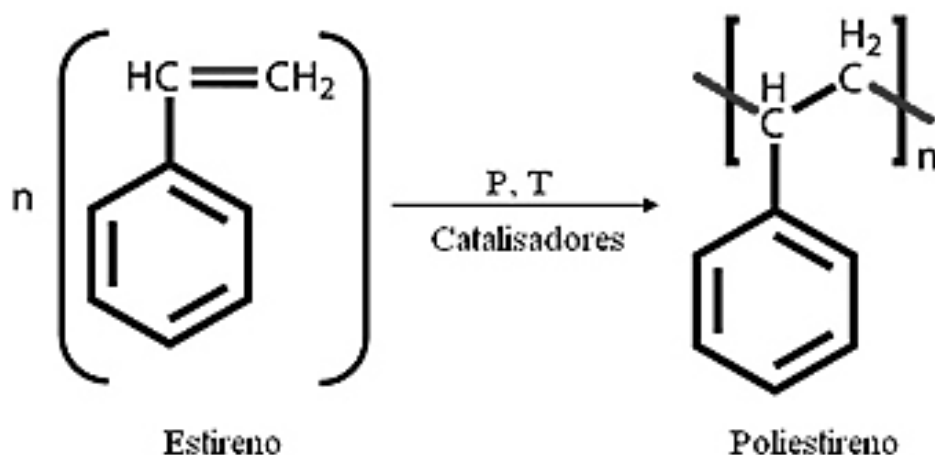
Tanto os polímeros naturais (amidos em geral) como os sintéticos têm sido usados como auxiliares no processo de coagulação/floculação nas Estações de Tratamento de Esgoto. Os polímeros sintéticos podem ser agrupados em catiônicos, aniônicos, não iônicos e anfóteros. Para (PEREIRA, 2009) os sintéticos são produzidos quimicamente, em geral, de produtos derivados de petróleo. Eles podem

oferecer uma infinidade de aplicações e são produzidos para atender cada aplicação requerida. O tamanho e a composição química podem ser manipulados a fim de criar propriedade para quase todas as funções dos fluidos.

Os polímeros também causam bastantes problemas ao ambiente, pois são bastante poluidores. Por isso, temos que pensar em reciclá-los, reutilizá-los, mas principalmente reduzir seu uso tentando poupar o ambiente ao máximo.

### 3.5.1. Polímero Sintético – Poliestireno (PS)

O poliestireno, obtido a partir do estireno (Vinil Benzeno) é um dos polímeros de maior participação na produção de materiais descartáveis tais como copos plásticos, bandejas de alimentos, sacolas plásticas, etc. Um caminho alternativo para reaproveitamento do poliestireno descartado consiste em sua transformação química para produção de um novo material.



**Figura 3:** Reação de polimerização do poliestireno a partir do estireno  
 Fonte: [alunosonline.uol](http://alunosonline.uol)

É o mais antigo dos plásticos e bastante transparente, bom isolante elétrico e resistente a ataques químicos, embora modifiquem-se pela ação de hidrocarbonetos. Segundo o BNDES 2013, o poliestireno é o polímero pioneiro entre os termoplásticos, tendo sido iniciada a sua produção comercial em 1930 sob várias formas:

- Resina cristal ou standard, de uso geral, cujas características principais são a transparência e a fácil coloração. Os maiores usos são em embalagens (principalmente copos e potes para indústria alimentícia), copos descartáveis e caixas de CDs/fitas cassetes.

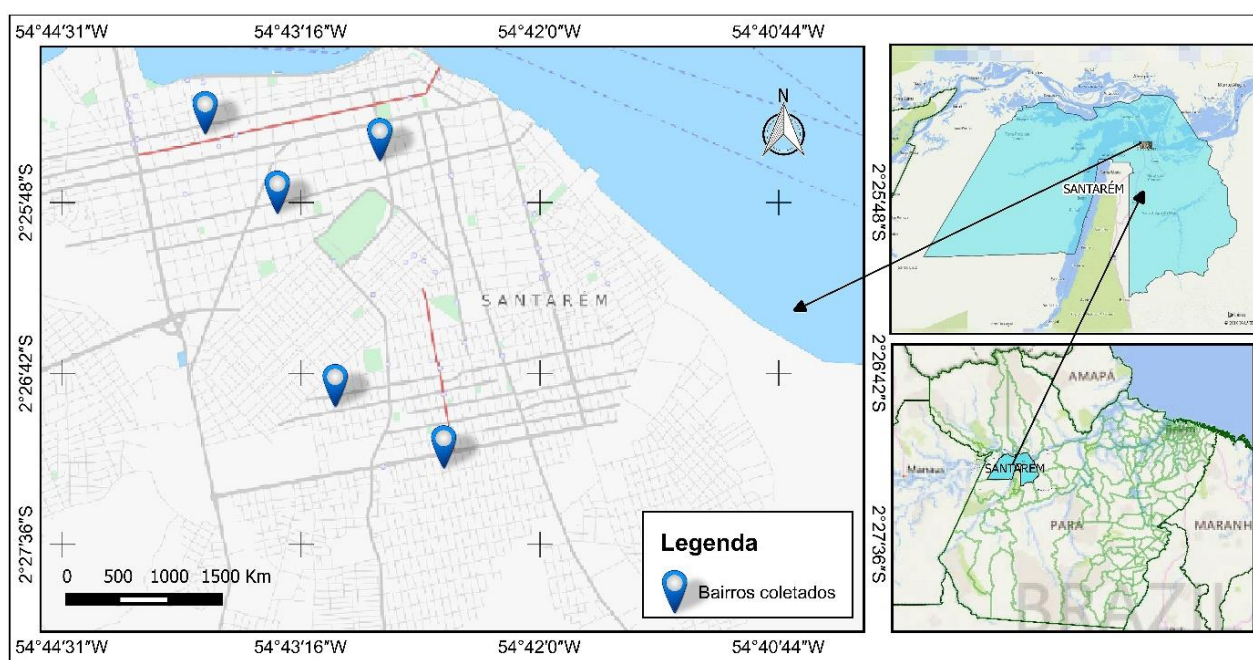
- Poliestireno expandido ou EPS (mais conhecido no Brasil pela marca comercial Isopor®, da Basf), que é uma espuma rígida obtida por meio da expansão da resina de poliestireno durante sua polimerização. É utilizado, basicamente, como embalagem protetora e isolante térmico.
- Poliestireno de alto impacto ou HIPS, que é um poliestireno modificado com elastômeros de polibutadieno. A resina desse material pode competir com alguns plásticos de engenharia, como o ABS (acrilonitrila, butadieno e estireno), por exemplo, no segmento de vídeo cassetes e componentes de refrigeradores e televisores.

### 3.5.2. Principais Propriedades do Poliestireno (PS)

- Fácil processamento;
- Fácil coloração;
- Baixo custo;
- Elevada resistência a ácidos e álcalis;
- Baixa densidade e absorção de umidade;
- Baixa resistência a solventes orgânicos, calor e intempéries.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em escala de bancada, no Laboratório de Química Aplicada ao Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará-UFOPA, campus Tapajós. Onde foi avaliada o desempenho dos parâmetros físico-químicos do coagulante com base inorgânica sulfato de alumínio, versus o coagulante com base orgânica poliestireno. Para a realização dos testes, o efluente líquido estudado foi coletado em 5 bairros da Cidade de Santarém, Pará. Como mostra a Figura 4.



**Figura 4:** mapa de localização dos pontos de coleta.  
Fonte: MOTA. E.

#### 4.1. Preparo do material polimérico utilizado nos ensaios de coagulação/floculação.

O material polimérico utilizado neste trabalho é o poliestireno (PS) obtido a partir da trituração de copo descartáveis pós consumo coletados na lanchonete do campus Amazônia da Universidade Federal do Oeste do Pará, foram recolhidos, em torno de 280 a 300 unidades quantidade suficiente para fazer as análises. Em seguida esse material foi lavado para retirar os excessos de resíduos e secado em uma estufa com temperatura a 50 °C por 24 horas essa temperatura é ideal para que não ocorra a modificação da estrutura do material, esse processo é importante para facilitar o processo de trituração, sendo posteriormente cortado e triturado, nessa etapa foi utilizado um multiprocessador em velocidade máxima até obter um material com granulometria homogênea. (Figura 5), em seguida foi realizada a análise granulométrica do material já triturado utilizando uma peneira de 15 mash (Figura 6).



**Figura 5:** Material triturado. Fonte: o autor



**Figura 6:** Análise granulométrica do material. Fonte: o autor

#### 4.2. Métodos de Análise e Caracterização dos Efluentes

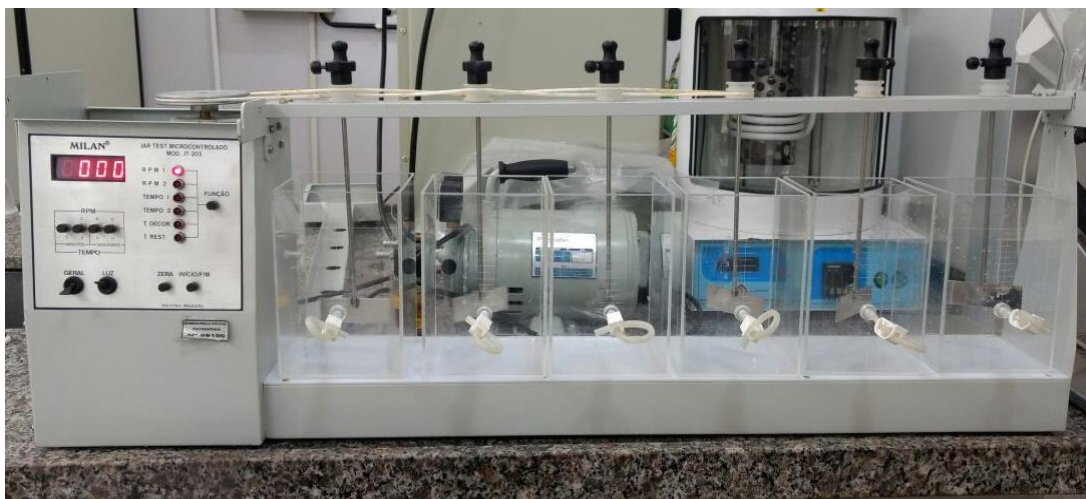
Para caracterizar o esgoto bruto, foram analisados os parâmetros físico-químicos, turbidez, pH, oxigênio dissolvido (O.D) e condutividade elétrica (CE). Os quais foram realizados seguindo os protocolos e métodos descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA *et al.*, 2012). Os métodos e protocolos seguidos estão listados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Métodos e Protocolos Utilizados na Caracterização do Efluente:

Parâmetros	Unidades	Método	Protocolo APHA (2012)
Turbidez	UNT	Nefelométrico	2130-B
PH	-	Potenciométrico	4500-H+ - B
O.D	mg.L <sup>-1</sup>	Colorimétrico	5220-D
Condutividade (CE)	μs/cm <sup>-1</sup>	Potenciométrico	Sonda multiparâmetros

#### 4.3. Teste de Jarros (JAR-TEST)

O teste de jarros é um ensaio capaz de estimar as concentrações de produtos químicos que devem ser aplicadas em efluentes para a remoção de impurezas. Os ensaios foram realizados num equipamento de Jar-Test, composto de 6 jarros com capacidade de 2 litros, marca MILAN, modelo JT-203 permitindo obter rotações de até 200 rpm, como mostra a Figura 7.



**Figura 7:** Jar Test utilizado nos ensaios. Fonte: o autor

#### 4.4. Concentração Mínima de Coagulante

Esse teste determina a concentração mínima de produto coagulante em que inicia a formação de pequenos flocos, nesta etapa foram utilizados o coagulante sulfato de alumínio  $Al_2(SO_4)_3$  e o material polimérico Poliestireno  $(C_8H_8)_n$  em efluentes diferentes.

Para ambos os coagulantes, analisaram-se três valores de concentrações 5, 10, 15 mg/L. Cada coagulante foi adicionado em béqueres com 500 mL de efluente e submetido a agitação lenta (20 rpm) em Jar Test, até a visualização da formação de flocos. Para obter-se a concentração mínima de cada um dos coagulantes utilizados.

A determinação da dosagem mínima foi referente ao ensaio que apresentou o início da formação de flocos.

#### 4.5. Determinação de pH Ideal

A concentração mínima foi combinada a uma faixa de valores de pH entre 5,0 e 6,5. A partir da dosagem mínima de coagulante variando entre 5, 10 e 15, mg/L verificou-se que para as dosagens de 5 e 10 mg/L a formação de flocos não apresentou resultados satisfatórios, assim como a turbidez não apresentou resultados eficientes se comparados com a dosagem de 15 mg/L. Sendo assim, a utilização da dosagem fixa de coagulante, com concentrações de 15mg/L de  $Al_2(SO_4)_3/L$ , e poliestireno, mostrou ser a dosagem mínima encontrada para evidências de coagulação.

#### 4.6. Ensaio de Coagulação/Floculação

Os ensaios de coagulação, floculação foram realizados em escala de bancadas em jar-test, de acordo com os seguintes passos:

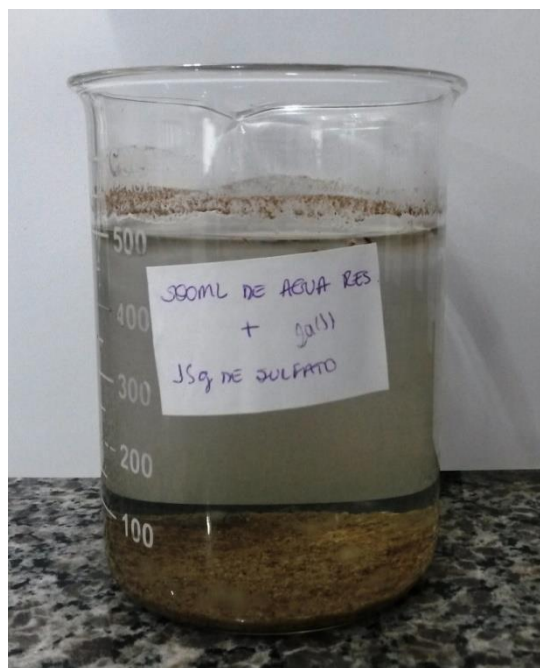
Inicialmente foram medidos os parâmetros físico-químicos descritos no item 4.2.

1. Enchimento dos béqueres com 500 mL de efluente coletado em diferentes pontos da cidade de Santarém. Mediu-se o pH, turbidez, condutividade e oxigênio dissolvido.
2. Nos béqueres foram mergulhadas as palhetas do agitador, as quais têm a função de manter a suspensão em condições de equilíbrio.
3. Adicionou-se 15mg/L de sulfato de alumínio  $Al_2(SO_4)_3$  (coagulante comumente utilizado). (Figura 8a)

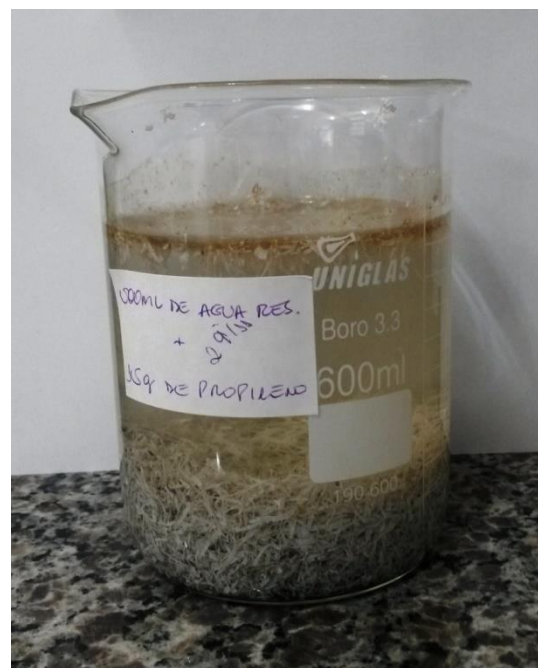
Os coagulantes ajudam a fazer com que os agregados menores deem forma a partículas maiores.

4. Nos outros recipientes foi adicionado 15 mg/L do poliestireno. (Figura 8b).
5. O jar-test foi colocado numa rotação inicial de 100 RPM por 2 minutos, para que as amostras fossem agitadas rapidamente. O estágio rápido da mistura ajuda a dispersar melhor o coagulante em todo o recipiente.
6. A velocidade de agitação foi reduzida para 20 RPM por 10 minutos. Uma mistura mais lenta promove a formação do floco, realçando as colisões da partícula que conduzem aos flocos maiores. Esta velocidade é lenta o bastante para impedir a quebra dos flocos devido à turbulência causada pela agitação rápida.
7. Os misturadores foram desligados a fim de permitir que a agitação seja interrompida para que o efluente entre em repouso por 1 hora.

Após esse tempo, a rotação do *jar-test* foi interrompida para que houvesse a sedimentação, o esgoto ficou em repouso por 1 hora. A variável resposta foi a remoção de turbidez (%), mas também se teve como resultados os parâmetros pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica.



(a)



(b)

**Figura 8:** Ensaios utilizando Sulfato de Alumínio e Poliestireno respectivamente. Fonte: o autor

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização do Efluente

A Tabela 2 apresenta os valores da caracterização do esgoto doméstico bruto assim como os dados de padrão de lançamento de efluente especificados nas Resoluções do CONAMA n° 357/2005 e 430/2011.

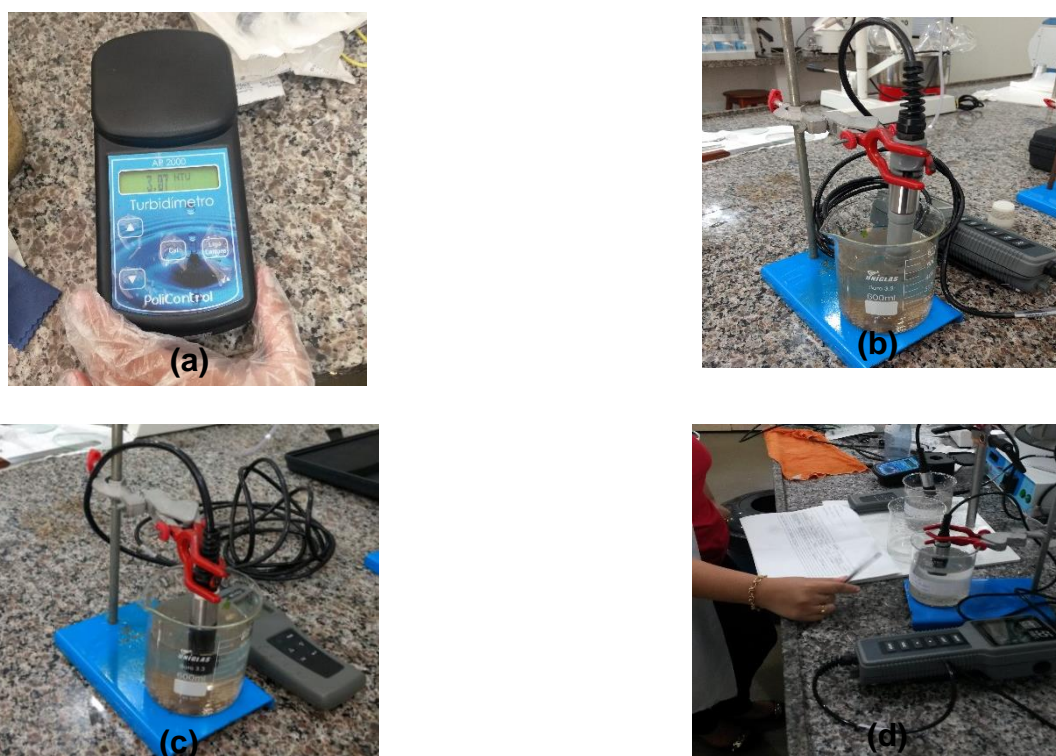
**Tabela 2** - Caracterização do Esgoto doméstico, Padrão de Lançamento de Efluentes Especificados nas Resoluções do CONAMA 357/2005 e 430/2011

Parâmetros	Unidade	Valor de cada ponto coletado*					CONAMA 357/2005 e 430/2011
		1	2	3	4	5	
Turbidez	NTU	144,3	87,9	155,3	122,3	104,3	100NTU
PH	-	6,12	6,37	5,39	5,63	5,35	5,0 – 9,0
Oxigênio Dissolvido	mg.L <sup>-1</sup>	4,15	5,80	4,32	3,25	1,8	<5mg.l
Condutividade (CE)	µs.cm <sup>-1</sup>	260,2	231,3	244,8	248,9	171,8	NE

NE- não especificado

\*Médias aritméticas obtidas a partir de 3 coletas/amostras

A Figura 9 ilustra o efluente sendo caracterizado nos parâmetros turbidez (Figura 9a), pH (Figura 9b), condutividade elétrica (Figura 9c) e oxigênio dissolvido (Figura 9d).



**Figura 9:** Caracterização do efluente. Fonte: o autor

### 5.1. Determinação da concentração mínima de coagulante

Os resultados obtidos nos ensaios em *jar-test* mostraram que a dosagem de 15 mg/L de Sulfato de alumínio e polímero de poliestireno foram os que proporcionaram menores valores de turbidez remanescente. As Figuras 10 e 11 resumem os resultados obtidos respectivamente.

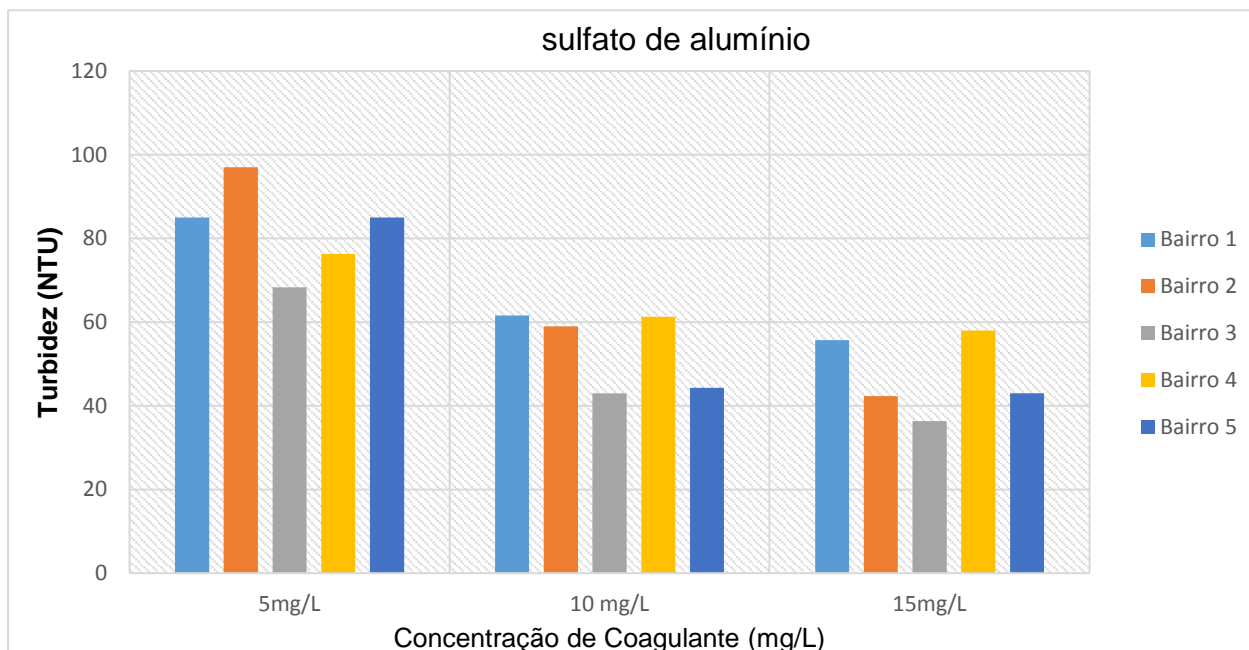


Figura 10: Turbidez remanescente versus dosagem de coagulante nos ensaios de Jar-test. Fonte: o autor

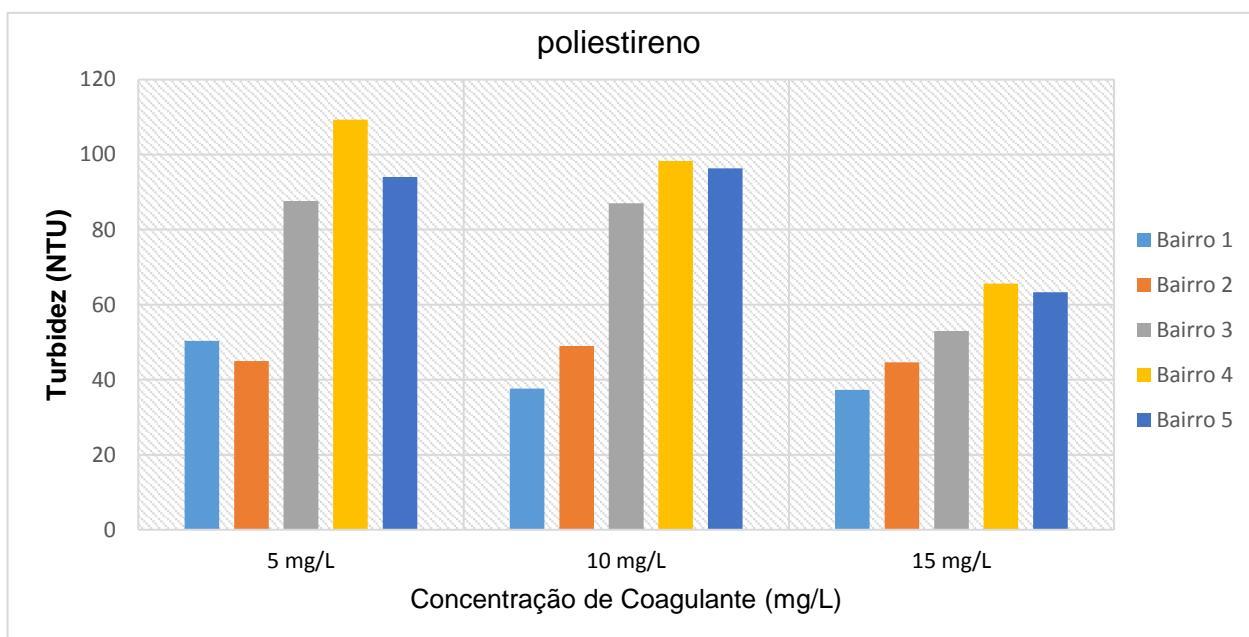


Figura 11: Turbidez remanescente versus dosagem de coagulante nos ensaios de Jar-test. Fonte: o autor

A Tabela 3 do Apêndice A mostra todos os dados obtidos nesta fase dos experimentos.

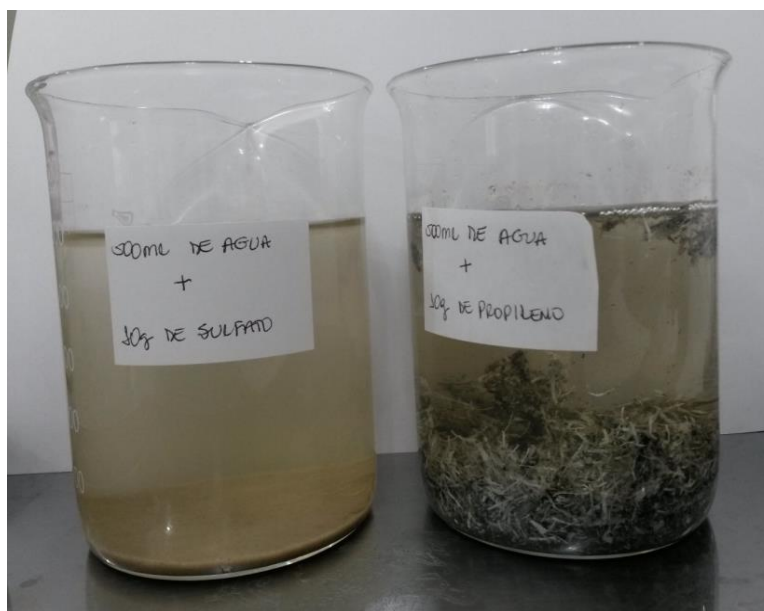


Figura 12: Amostras comparando sulfato de alumínio e poliestireno

## 5.2. Determinação de pH Ótimo

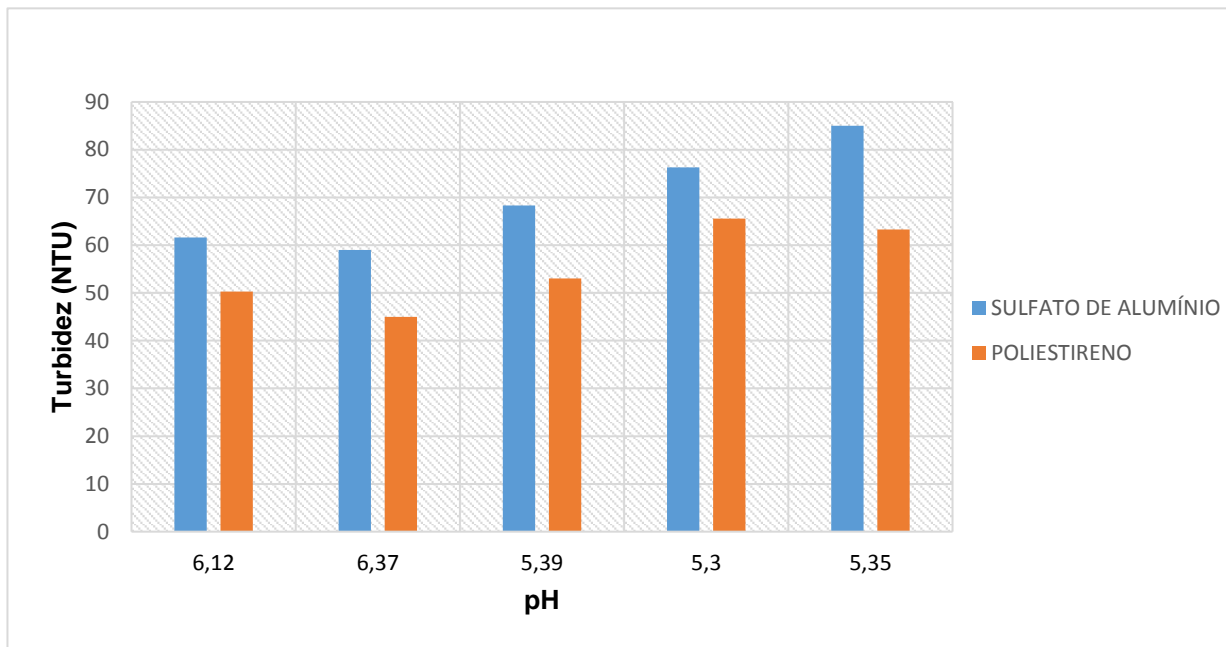
A concentração mínima encontrada para os coagulantes sulfato de alumínio e poliestireno (15 mg/L para ambos), foram utilizadas para avaliar o pH numa faixa entre 5,0 e 6,5, e estão listados na Tabela 4.

**Tabela 4-** Determinação de pH Ótimo (sulfato de alumínio e poliestireno)

		SULFATO DE ALUMÍNIO	POLIESTIRENO
Bairro	pH*	turbidez*	turbidez*
1	6,12	61,6 NTU	50,3 NTU
2	6,37	59 NTU	45 NTU
3	5,39	68,3 NTU	53 NTU
4	5,30	76,3 NTU	65,6 NTU
5	5,35	85,0 NTU	63,3 NTU

\*Médias aritméticas obtidas a partir de 3 coletas/amostras

Na Figura 13 apresenta-se o gráfico dos resultados da turbidez remanescente com a variação do pH e a dosagem mínima de coagulante, 15 mg/L, para Sulfato de alumínio e polímero de poliestireno.



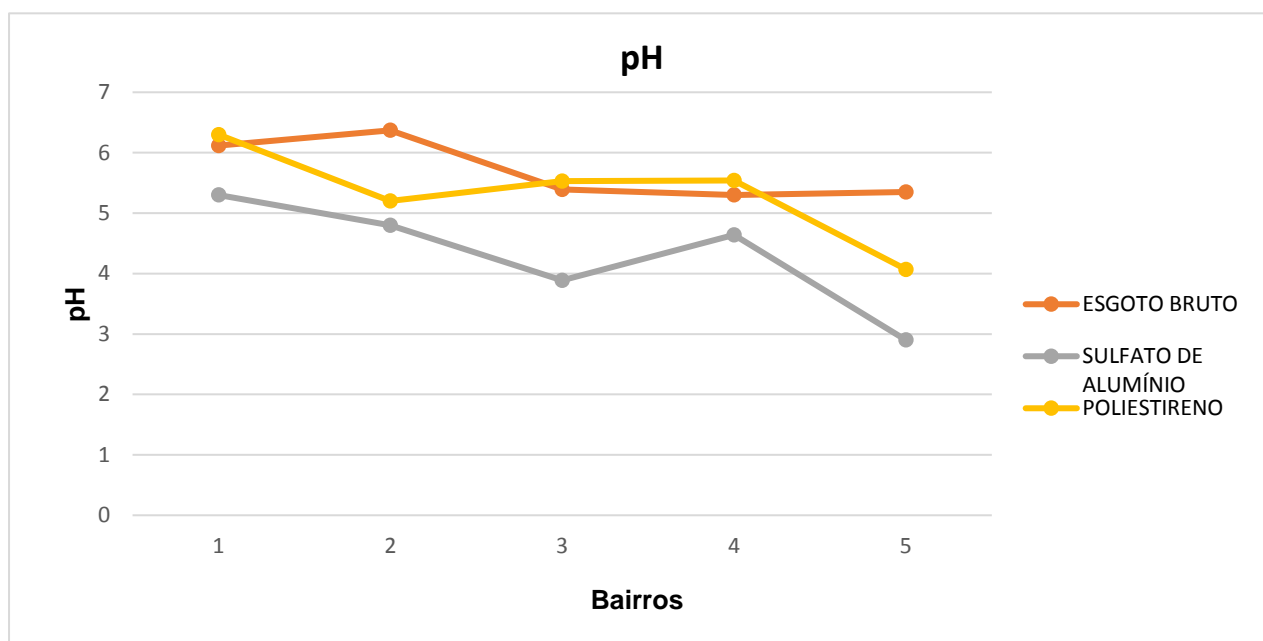
**Figura 13:** Resultados da influência do pH sobre a turbidez.

Os ensaios que apresentaram melhor remoção de turbidez com a dosagem de sulfato de alumínio foram os bairros 1 e 2, com pH de 6,12 e 6,37 respectivamente. E com a dosagem de poliestireno foram os ensaios do 1 a 3, com pH de 6,12; 6,37 e 5,39. Como essas faixas são muito próximas ao pH pelo padrão de lançamento das resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011 não houve a necessidade de ajustar o pH em nenhum dos ensaios.

### 5.3. Resultado dos Ensaio de Coagulação utilizando sulfato de alumínio e poliestireno na variação de pH.

Fator determinante no sucesso de alguns sistemas de tratamento de esgotos, a existência do pH deve ser considerada. Segundo Von Sperling (2005), o parâmetro pH é utilizado nas estações de tratamento de esgoto para o controle das operações da mesma, pois, em termos de tratamento de águas residuárias valores de pH afastados da neutralidade tendem a afetar as taxas de crescimento dos micro-organismos. A variação de pH influencia o equilíbrio de compostos químicos.

Na Figura 14 nota-se que no teste utilizando sulfato de alumínio, o valor de pH diminuiu em relação ao pH do esgoto bruto, deixando assim o efluente ácido. O teste com poliestireno, mostra-se mais eficaz que o sulfato de alumínio em relação ao pH do esgoto bruto, mantendo-se em alguns pontos próximo a neutralidade.



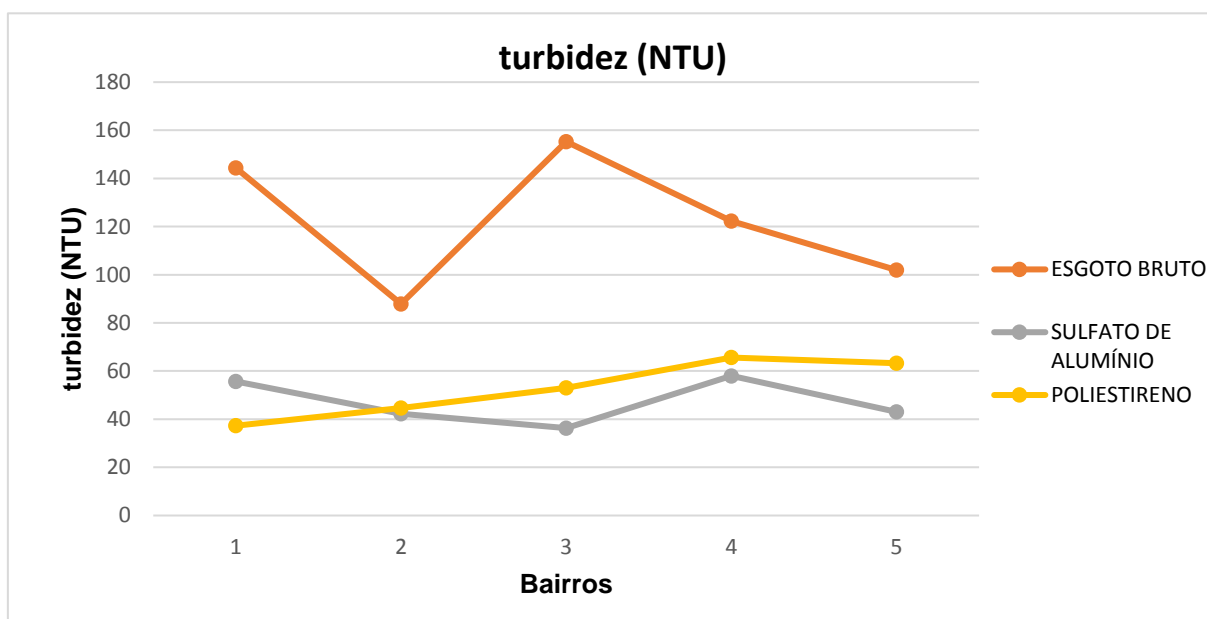
**Figura 14:** Resultado dos Ensaio de Coagulação utilizando sulfato de alumínio e poliestireno na variação de pH.

Contudo mesmo com essas alterações os parâmetros se mantêm dentro dos valores exigidos para lançamento do esgoto no corpo receptor. A legislação ambiental brasileira exige um valor de pH entre 5 e 9 (CONAMA 357/2005 e CONAMA 430/2011).

#### 5.4. Resultado dos Ensaio de Coagulação utilizando sulfato de alumínio e poliestireno na eficiência da remoção de turbidez

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem de luz através de água, conferindo uma aparência turva a mesma (VON SPERLING, 2005). Esta interferência ocorre devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, etc., A turbidez indica de imediato o estado de decomposição do esgoto.

Na Figura 15, observa-se que, em uma concentração de 15 mg/L, o poliestireno reduziu a turbidez se comparado ao esgoto bruto, porém o sulfato de alumínio nessa concentração se mostrou mais eficiente se comparado ao poliestireno. Isso pode ter acontecido devido ao aumento exagerado dos flocos com a adição de poliestireno. Esta pesquisa conduz a sugestão que exista um grande potencial do poliestireno (PS), mantendo-se ainda a eficiência de remoção, porém a diminuição da turbidez ocorre de maneira mais lenta e menos drástica.

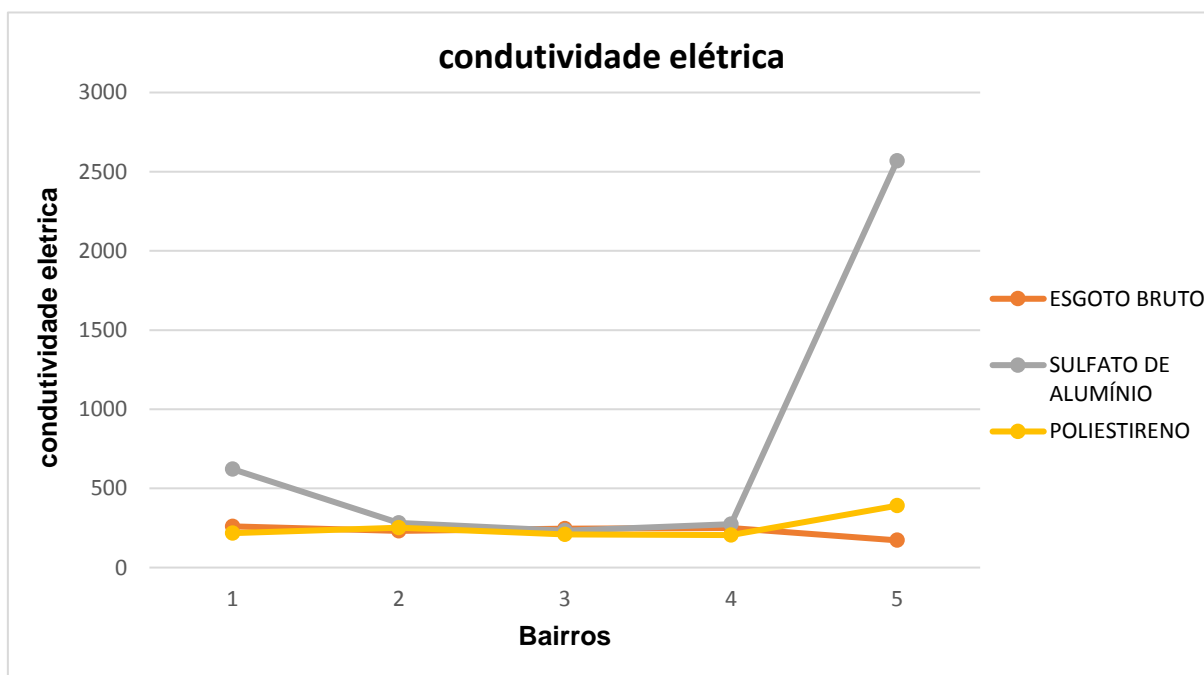


**Figura 15:** Resultado dos Ensaio de Coagulação utilizando sulfato de alumínio e poliestireno na eficiência da remoção de turbidez.

#### 5.5. Resultado dos Ensaio de Coagulação utilizando sulfato de alumínio e poliestireno na variação de condutividade elétrica

A condutividade expressa a condutância de eletricidade na água em função da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions, sendo diretamente proporcional à concentração iônica (LIBÂNIO, 2005).

Na Figura 16 os valores de condutividade elétrica no esgoto bruto são relativamente baixo. Nos ensaios utilizando poliestireno, observa-se que não houve um aumento significativo da condutividade em relação ao esgoto bruto, isso acontece porque ao se adicionar poliestireno na água o mesmo não libera sais dissolvidos. Nos ensaios utilizando sulfato de alumínio, observa-se oscilações ao longo dos ensaios aumentando de forma significativa a condutividade nos efluentes em relação ao esgoto bruto. Isso acontece porque ao se adicionar sulfato de alumínio os sais dissolvidos e ionizados presentes transformam-se em eletrólito capaz de conduzir corrente elétrica. O ponto alto representa concentração total de substâncias, ionizadas, isto porque, existe uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica. Assim, quanto maior for elevado o valor da condutividade elétrica, maior será a quantidade de íons presente no efluente.



**Figura 16:** Resultado dos ensaios de coagulação utilizando Sulfato de alumínio e poliestireno na variação de condutividade elétrica

A resolução CONAMA 357/2005 não estabelece valor para condutividade. É importante ressaltar que condutividade não determina quais íons estão presentes nos efluentes, mas pode colaborar para possíveis averiguações de impactos ambientais que ocorram no corpo receptor acarretado por lançamentos de esgotos domésticos não tratados.

## 5.6. Resultado dos Ensaio de Coagulação utilizando sulfato de alumínio e poliestireno na variação oxigênio dissolvido

O Oxigênio Dissolvido é importante em todos os processos onde a concentração de oxigênio influencia a velocidade das reações, a eficiência do processo ou as condições ambientais.

As baixas taxas de oxigênio dissolvido em efluentes provenientes de esgoto domésticos, devem-se a sua composição principalmente a presença, fosfatos, amoníacos e resíduos orgânicos, o que favorece a atividade biológica e conseqüentemente, o consumo de oxigênio (Quege e Siqueira 2005).

Na Figura 17, os resultados para a maioria dos ensaios apresentam valores baixos para poliestireno e Sulfato de Sulfato, a variação na Figura 17 é provavelmente proveniente da respiração dos microrganismos heterotróficos, influenciado diretamente pelas atividades domésticas onde pode-se verificar a presença de resíduos orgânicos.

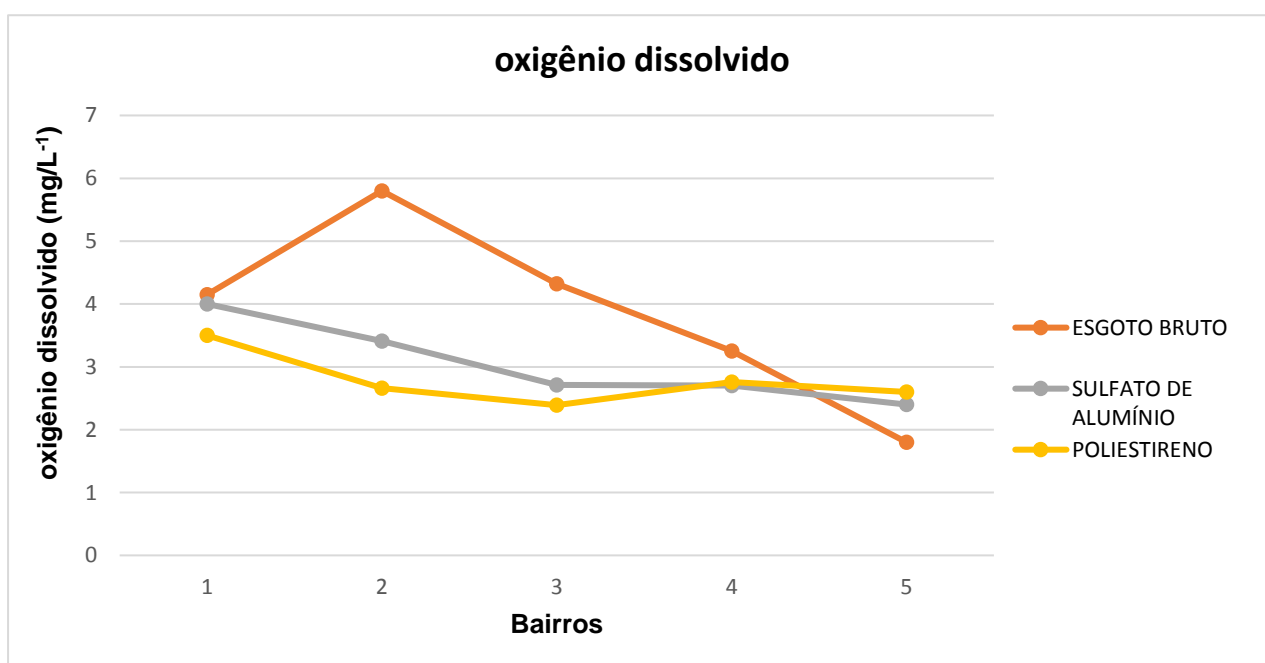


Figura 17: Resultado dos Ensaio de Coagulação utilizando sulfato de alumínio e poliestireno na variação de oxigênio dissolvido.

## 6. CONCLUSÃO

Analisando os resultados do teste utilizando poliestireno e sulfato de alumínio em relação aos valores de pH, o poliestireno se mostrou mais eficiente mantendo o pH das amostras próximo a neutralidade. Já o sulfato de alumínio fez com que os valores de pH, tendo a necessidade de verificar meios de neutralizar os valores antes de serem lançados nos corpos receptores.

Em relação a turbidez, ambos os resultados apresentaram significativa melhora. Os testes utilizando sulfato de alumínio mostraram-se mais eficiente promovendo a remoção de turbidez de maneira mais rápida. Contudo, o poliestireno foi eficiência no seu processo, porém a remoção de turbidez ocorre de maneira mais lenta e menos drástica necessitando assim de mais tempo para ser completamente realizada.

Analisando Condutividade Elétrica, os ensaios utilizando poliestireno mostraram-se mais eficientes do que os utilizando sulfato, isso se deve a concentração de substâncias presentes no esgoto bruto que ao adicionar sulfato de alumínio ionizam-se aumentando a quantidade de íons presentes no efluente.

A importância do oxigênio dissolvido em águas residuárias, é desejável por prever a formação de substância com odores desagradáveis que comprometam os diversos usos da água. Em suma, nos ensaios utilizando sulfato de alumínio e poliestireno neste trabalho não observou-se qualquer influência na produção ou consumo de oxigênio.

É importante ressaltar que as oscilações observadas ao longo de todas as análises devem-se ao fato que os efluentes utilizados neste estudo recebem contribuições diferentes, de pontos distintos.

Nos ensaios utilizando poliestireno como coagulante/floculante o mesmo apresenta bons resultados, porém seu uso ainda necessita de mais estudos para que possa de fato se tornar uma alternativa ecológica e econômica viável para utilização no tratamento de efluentes domésticos.

## 7. REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22th. Washington: Public Health Association, 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9648: *Estudo de Concepção de sistemas de esgoto sanitário: Procedimento*. Rio de Janeiro, ABNT, 1986.

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento, Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivo\\_s/conhecimento/relato/poliesti.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivo_s/conhecimento/relato/poliesti.pdf)>. Acesso em: 22/02/ 2017.

BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO, João G. L.; et al. *Introdução à Engenharia Ambiental*, Pearson – Prentice Hall, São Paulo, 2004

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Alterado pela Resolução CONAMA 397/2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em: 19 set. 2016.

\_\_\_\_\_. *Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011*. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 9 p. Disponível em: [http://www.legislacao.mutua.com.br/pdf/diversos\\_normativos/conama/2011\\_CONAMA\\_RES\\_430.pdf](http://www.legislacao.mutua.com.br/pdf/diversos_normativos/conama/2011_CONAMA_RES_430.pdf). Acesso em: 18 nov. 2016.

DI BERNARDO, LUIZ; DANTAS, Ângela D. *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS Ângela; CENTURIONE FILHO, Paulo L. *Ensaio de Tratabilidade de Água e Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água*. São Carlos: RiMa, 2002. Engenharia Ambiental, Pearson – Prentice Hall, São Paulo, 2004.

FERNANDES, Carlos. - *Esgotos Sanitários*, Ed. Univ./UFPB, João Pessoa, 1997, 435p. Reimpressão Jan/2000.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. *Manual de Saneamento: normas e diretrizes*. 3ª edição. rev. 2ª Reimpressão – Brasília. 2007.

GUIMARÃES, J.R. & NOUR, E.A.A. *Tratando Nossos Esgotos: Processos que imitam a natureza*. Edição Especial. Maio, 2001.

JORDÃO, E. P. PESSÔA, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 4ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 932p. 2005.

KURITZA, J. C. *Aplicação da coagulação, floculação e sedimentação como pós-tratamento de efluente de uma indústria de papel e celulose*. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO. IRATI-PR, 2012.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. Campinas, SP: Átomo, 2005.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3ª edição. rev. e ampl. Campinas: Átomo, 2010.

LIMA, G. A. *Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto*. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2007.

MENDES, G.G.N. *Estudo de coagulação e floculação de água sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis*. Tese de doutorado. Escola de Engenharia São Carlos. Universidade do Estado de São Paulo. São Carlos, 1989.

MELLO, E. J. R. *Tratamento de esgoto sanitário - Avaliação da estação de tratamento de esgoto do Bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari – MG*. 2007. 99 f. Monografia (Pós-Graduação lato sensu em Engenharia Sanitária) – União Educacional Minas Gerais, Uberlândia, 2007.

MERIGO, C. LUIZ. *Tratamento físico-químico com polímeros jar-test*, 2010 disponível em: [http://www.qgsquimica.com.br/det\\_comunicacao.php?id=57&det\\_comunic=3](http://www.qgsquimica.com.br/det_comunicacao.php?id=57&det_comunic=3). Acessado em Janeiro de 2017.

NUNES, J. A. *Tratamento Biológico de Aguas Residuárias*, 3ª Edição, Editora J. Andrade. Aracaju, 2012.

PAVANELLI G. *Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada*. 2001, 216 f, Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001

PEREIRA, FRANCISCO SAVIO GOMES. *POLÍMEROS: Fundamentos Científicos e Tecnológicos*. Recife, 2009. Disponível em <<http://www.academia.edu/>>. Acesso em 21/02/2017.

PNAD -Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: *Síntese de Indicadores 2014* / IBGE, Coordenação de Trabalho e Rendimento. - Rio de Janeiro: IBGE, 2015. <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94935.pdf>>. Acesso em 20/01/2017.

QUEGE, K. E., SIQUEIRA, E. Q. *Avaliação da Qualidade de água no Córrego Botafogo na cidade de Goiânia – GO*. XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, Setembro de 2005.

SANTOS, G. R. *Estudo de Clarificação de Água de Abastecimento Público e Otimização da Estação de Tratamento de Água*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, 2011. P. 27.

TELLES, D. D' Alkin. COSTA, R. H. P.G. *Reúso da água: conceitos, teorias e práticas*. 2º edição – São Paulo: Blucher, 2010.

VESILIND, P. A; MORGAN, Susan M. *Introdução à engenharia ambiental*. 2º edição. São Paulo: 2011.

VON SPERLING, M, *Princípios básicos do tratamento de esgotos*. Vol. 2, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Geral, Belo Horizonte, 211 p. 1996.

VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental -UFMG. 3ª edição, 2005.

## APÊNDICE A

Este Apêndice contém os dados obtidos nos ensaios para dosagem mínima de coagulante e determinação de ph ideal respectivamente. .

**Tabela 3 – Dados dos ensaios preliminares realizados em *Jar-Test* para obtenção da dosagem mínima de coagulante Sulfato de Alumínio**

		Dosagem de Sulfato de Alumínio livre desejada (mg/L)								
		5mg/L			10 mg/L			15 mg/L		
Bairro 1	Turbidez (NTU)	152	40	63	90	60	35	45	92	30,3
	Turbidez Média (NTU)	85			61,6			55,7		
Bairro 2	Turbidez (NTU)	140	61	90,0	90	39	87	32	48	47
	Turbidez Média (NTU)	97			59			42,3		
Bairro 3	Turbidez (NTU)	100	50	55	60	29	40	54	25	30
	Turbidez Média (NTU)	68,3			43			36,3		
Bairro 4	Turbidez (NTU)	107	50	72	71	50	63	77	47	50
	Turbidez Média (NTU)	76,3			61,3			58		
Bairro 5	Turbidez (NTU)	89	90	76	49	39	45	38	42	49
	Turbidez Média (NTU)	85			44,3			43		

**Tabela 4 – Dados dos ensaios preliminares realizados em *Jar-Test* para obtenção da dosagem mínima de coagulante teste (Poliestireno)**

		Dosagem de Polímero de Poliestireno livre desejada (mg/L)								
		5mg/L			10 mg/L			15 mg/L		
Bairro 1	Turbidez (NTU)	64	61	26	43	29	41	48	75	39
	Turbidez Média (NTU)	50,3			37,6			37,3		
Bairro 2	Turbidez (NTU)	60	30	45	47	70	30	32	62	40
	Turbidez Média (NTU)	45			49			44,6		
Bairro 3	Turbidez (NTU)	51	127	85	55	121	90	90	40	29
	Turbidez Média (NTU)	87,6			87			53		
Bairro 4	Turbidez (NTU)	105	143	80	100	101	94	90	68	39
	Turbidez Média (NTU)	109,3			98,3			65,6		
Bairro 5	Turbidez (NTU)	85	107	90	89	102	98	104	29	57
	Turbidez Média (NTU)	94			96,3			63,3		

## APÊNDICE B

Este Apêndice contém os dados obtidos nos ensaios para elaboração dos gráficos das figuras 10, 11, 12 e 13 respectivamente.

**Tabela 5 - Resultado dos Ensaios de Coagulação utilizando Sulfato de Alumínio e Polímero de Poliestireno na Variação de Ph.**

Bairros	ESGOTO BRUTO*	SULFATO*	POLIESTIRENO*
1	6,12	5,3	6,3
2	6,37	4,8	5,2
3	5,39	3,89	5,53
4	5,3	4,64	5,54
5	5,35	2,9	4,07

\*Médias aritméticas obtidas a partir de 3 coletas/amostras

**Tabela 6 - Resultado dos Ensaios de Coagulação utilizando Sulfato de Alumínio e Polímero de Poliestireno na eficiência da remoção de turbidez**

Bairros	ESGOTO BRUTO*	SULFATO*	POLIESTIRENO*
1	144,3	55,7	37,3
2	87,9	42,3	44,6
3	155,3	36,3	53
4	122,3	58	65,6
5	102	43	63,3

\*Médias aritméticas obtidas a partir de 3 coletas/amostras

**Tabela 7 - Resultado dos Ensaios de Coagulação utilizando Sulfato de Alumínio e Polímero de Poliestireno na Condutividade Elétrica**

Bairros	ESGOTO BRUTO*	SULFATO*	POLIESTIRENO*
1	260,1	620,7	216,6
2	231,3	282,1	250,95
3	244,8	232,7	209,4
4	248,9	273,4	205,1
5	171,8	2569	309,8

\*Médias aritméticas obtidas a partir de 3 coletas/amostras

**Tabela 8 - Resultado dos Ensaios de Coagulação utilizando Sulfato de Alumínio e Polímero de Poliestireno em Relação ao Oxigênio Dissolvido**

Bairros	ESGOTO BRUTO*	SULFATO*	POLIESTIRENO*
1	4,15	4	3,5
2	5,8	3,41	2,66
3	4,32	2,71	2,39
4	3,25	2,7	2,76
5	1,8	2,4	2,6

\*Médias aritméticas obtidas a partir de 3 coletas/amostras