

Pobre de quem teve medo de correr os riscos. Porque este talvez não se decepcione nunca, nem tenha desilusões, nem sofra como aqueles que tem um sonho a seguir. Mas quando olhar para trás – porque sempre olhamos para trás – vai escutar seu coração dizendo: “ O que fizeste com os milagres que Deus semeou por teus dias? O que fizeste com os talentos que teu Mestre te confiou? Enterraste fundo em uma cova, porque tinhas medo de perdê-los. Então, esta é a tua herança: a certeza de que desperdiçaste tua vida.”

(Paulo Coelho)

Dedico esta dissertação aos meus pais Inez Maria Spinelli e Adirce Natal Spinelli, que me criaram com muito amor, e sempre me apoiaram nos estudos.

As minhas irmãs Adaiane Spinelli
e Kátia Spinelli, pelo incentivo,
carinho e compreensão.

Ao Marcos R. Schein, pelo
companheirismo e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Maurício Luiz Sens, orientador, pelo incentivo e apoio durante todo o período deste trabalho.

Aos Professores Valfredo T. de Fávère (Co-orientador), e ao Professor Mauro C. M. Laranjeria, que nunca deixaram de me ajudar.

Á amiga e colega de mestrado, Cleide M. de Carvalho pela compreensão durante esses dois anos.

Aos colegas de mestrado Melissa P. Mezzari, Décio L. Dandolini e Gilberto Nicolai, por todas as risadas e brincadeiras.

Á amiga e colega de laboratório Irene Y. Kimura por toda ajuda fornecida.

Aos colegas do QUITTECH, Atche, Amauri, Amarildo, José Manuel, Reginaldo e Mellatie.

Ao colega Ramon Lucas Dalsasso, pelas explicações e ajuda no computador.

Á CASAN , e ao Laboratório Integrado do Meio Ambiente (LIMA), por terem cedido o espaço físico para a realização da parte experimental.

Á DEUS, por tudo o que tenho e conquistei.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO PRINCIPAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	5
3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS ÁGUAS	6
3.2.1. <i>Turbidez</i>	6
3.2.2. <i>Cor Aparente e Cor Verdadeira</i>	8
3.2.2.1. Substâncias Húmicas	8
3.2.3. <i>Sabor e odor</i>	9
3.2.4. <i>Temperatura</i>	9
3.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS	9
3.3.1. <i>Características Orgânicas</i>	9
3.3.2. <i>Características Inorgânicas</i>	10
3.3.2.1. Alcalinidade, Acidez e pH	10
3.4. NORMAS E PADRÃO DE POTABILIDADE DA ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO HUMANO	11
3.5. TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO	12
3.6. COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO	13
3.6.1. <i>Colóides</i>	14
3.6.1.1. Classificação dos Colóides	14
3.6.1.2. Características Principais dos Colóides	14
3.6.2. <i>Potencial Zeta</i>	15
3.6.2.1. Teoria da Dupla Camada	15
3.6.3. <i>Mecanismo de Coagulação</i>	17
3.6.4. <i>Características dos Coagulantes Comuns</i>	21
3.6.5. <i>Ensaio de Floculação</i>	23
3.6.6. <i>Agentes Poliméricos Floclulantes</i>	24
3.6.7. <i>Polieletrólitos</i>	26
3.6.8. <i>O Conceito de Gradiente de Velocidade (G), e sua relação com a coagulação e floculação</i>	28
3.7. DECANTAÇÃO	30
3.7.1. <i>Velocidade de Sedimentação</i>	30
3.8. FILTRAÇÃO	30
3.9. ALGAS E SUAS INFLUÊNCIAS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS E NAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO	31
3.10. O COAGULANTE SULFATO DE ALUMÍNIO	33
3.10.1. <i>Efeitos Adversos ao Homem</i>	33
3.10.1.1. Relação do Sulfato de Alumínio com o mal de Alzheimer	34
3.10.2. <i>Comportamento químico do Sulfato de Alumínio em meio aquoso</i>	35
3.11. O BIOPOLÍMERO QUITINA (QTI)	38

3.12. O BIOPOLÍMERO QUITOSANA (QTS)-----	39
3.12.1. Usos Diversos da Quitosana -----	40
3.12.2. Tratamento de Água com Quitosana (Coagulação de Partículas Coloidais) -----	41
4. MATERIAIS E MÉTODOS 43	
4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS -----	43
4.2. PROPOSTA DE TRATAMENTO -----	44
4.3. PREPARAÇÃO DA QUITOSANA -----	44
4.3.1. Caracterização da Quitosana no Infravermelho-----	44
4.3.2. Determinação do Grau de Desacetilação da Quitosana (% NH ₂)-----	45
4.4. PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO DE QUITOSANA 1% (M/V) -----	45
4.5. PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO DE QUITOSANA 0,1% (M/V)-----	45
4.6. PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO DE CAL 0,3% (M/V) -----	45
4.7. PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO DE SULFATO DE ALUMÍNIO 1% (M/V) -----	45
4.8. ÁGUA BRUTA -----	45
4.9. ENSAIOS DE JAR TEST-----	48
4.9.1. Ensaios de Coagulação-Floculação-Decantação -----	48
4.9.2. Ensaios de Coagulação-Floculação-Filtração (Filtração Direta) para a água da Lagoa do Peri-----	52
4.10. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS -----	53
4.10.1. pH e Temperatura-----	53
4.10.2. Turbidez -----	53
4.10.3. Cor -----	54
4.10.4. Alcalinidade -----	54
4.11. ANÁLISE DO FITOPLÂNCTON DA LAGOA DO PERI -----	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 55	
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA QUITOSANA -----	55
5.1.1. Determinação do Grau de Desacetilação (GD) da Quitosana -----	55
5.1.2. Análise no Infravermelho (IV)-----	58
5.2. APLICAÇÃO DA QUITOSANA COMO COAGULANTE PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA DE RIO DE BAIXA TURBIDEZ -----	60
5.2.1. Caracterização da Água Bruta: -----	60
5.2.2. Determinação da Melhor Dosagem de Quitosana e Melhor pH de Coagulação -----	60
5.2.3. Otimização do Tempo de Mistura Rápida (TMR) e do Gradiente de Velocidade (G) -----	63
5.2.4. Otimização do Tempo de Floculação (TF) e dos Melhores Gradientes de Velocidade (G) para a Floculação -----	67
5.2.5. Determinação do Tempo de Decantação (Td) e Qualidade da Água Filtrada -----	69
5.2.6. Sistema de Tratamento Otimizado -----	71
5.3. APLICAÇÃO DA QUITOSANA COMO COAGULANTE PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA DE LAGO (LAGOA DO PERI)-----	72
5.3.1. Caracterização da água bruta-----	72

5.3.2. <i>Ensaio de Coagulação/Floculação com Decantação (Coagulação na Varredura)</i> -----	73
5.3.3. <i>Ensaio de Coagulação para Filtração Direta</i> -----	74
5.3.3.1. <i>Determinação do Tempo de Mistura Rápida (TMR) e do Gradiente de Velocidade (G)</i> -----	75
5.3.4. <i>Determinação da Eficiência da QTS no Tratamento de Água de Lagoa (Lagoa do Peri)</i> -----	78
5.4. USO DO S.A. COMO COAGULANTE PARA O TRATAMENTO DA ÁGUA DA LAGOA DO PERI -----	78
5.4.1. <i>Caracterização da Água Bruta</i> -----	79
5.4.2. <i>Ensaio de Coagulação/Floculação com Decantação (Coagulação na Varredura)</i> -----	79
5.4.3. <i>Ensaio de Coagulação para Filtração Direta (coagulação na neutralização de carga)</i> -----	79
5.5. USO DA QTS COMO POLIELETRÓLITO AUXILIAR AO SULFATO DE ALUMÍNIO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE RIO DE BAIXA TURBIDEZ -----	82
5.5.1. <i>Caracterização da água bruta</i> -----	82
5.5.2. <i>Ensaio de coagulação/floculação/decantação</i> -----	82
5.6. DETERMINAÇÃO DA MELHOR DOSAGEM DE SULFATO DE ALUMÍNIO PARA A ÁGUA DE RIO -----	84
5.7. VANTAGENS DO USO DA QUITOSANA COMO COAGULANTE PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA POTÁVEL, EM RELAÇÃO AO SULFATO DE ALUMÍNIO -----	86
5.7.1. <i>Produção da QTS no Brasil e suas Vantagens e Desvantagens</i> -----	87
6. CONCLUSÕES	87
7. RECOMENDAÇÕES	90
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
9. ANEXOS	97

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Distribuição de tamanhos de partículas na água</i> -----	7
<i>Figura 2- Aparelhos usados para fazer a medida da turbidez</i> -----	8
<i>Figura 3- Classificação das tecnologias de tratamento de água destinadas ao consumo humano</i> -----	13
<i>Figura 4- Potencial Zeta Segundo Johnson e Alexander</i> -----	17
<i>Figura 5- Interação entre duas partículas coloidais semelhantes.</i> -----	19
<i>Figura 6 - Coagulação de argila coloidal por polieletrólito catiônico. A letra A representa as micelas de argila de carga negativa, e o restante (em vermelho), representa a cadeia de um polímero qualquer (catiônico) protonado.</i> -----	20
<i>Figura 7 – Representação de um elemento de fluido $\Delta X \Delta Y \Delta Z$</i> -----	29
<i>Figura 8- Diagrama de solubilidade das espécies de alumínio em função do pH</i> ----	37
<i>Figura 9 – Estrutura da Quitina</i> -----	39
<i>Figura 10– Estrutura da quitosana</i> -----	40
<i>Figura 11- Diagrama unifiliar da bacia do rio Cubatão Sul</i> -----	46
<i>Figura 12- Foto da Lagoa do Peri</i> -----	47
<i>Figura 13- Aparelho de Jar Test usado nos ensaios de coagulação-floculação-decantação</i> -----	48
<i>Figura 14- Estrutura do polímero QTS mostrando o grupo NH_2 mais o grupo acetil da QTI que não sofreu desacetilação.</i> -----	56
<i>Figura 15- Condutância em função do volume de NaOH.</i> -----	58
<i>Figura 16- Espectro de IV da quitosana em pastilha de KBr.</i> -----	59
<i>Figura 17- Turbidez Remanescente para um Td de 4',40" em função da dose de QTS</i> 61	
<i>Figura 18- Cor aparente para um Td de 4',40" em função da dose de QTS</i> -----	62
<i>Figura 19- Turbidez Remanescente para um Td de 4',40" em função do pH de coagulação</i> -----	62
<i>Figura 20- Cor aparente para um Td de 4',40" em função do pH de coagulação</i> ----	62
<i>Figura 21- Turbidez Remanescente para um Td de 4',40" em função do TMR e do G</i> 64	
<i>Figura 22- Cor aparente para um Td de 4',40" em função do TMR e do G</i> -----	65
<i>Figura 23- Turbidez Remanescente num Td de 4',40" em função do TMR e do G</i> ----	66

<i>Figura 24- Turbidez remanescente para um Td de 4',40" em função do TML e do G.</i>	67
<i>Figura 25- Cor aparente para um Td de 4',40" em função do TML e do G. -----</i>	68
<i>Figura 26 - Turbidez remanescente e cor aparente para um Td de 4',40" em função da variação do G. -----</i>	69
<i>Figura 27- Turbidez remanescente em função do tempo de decantação -----</i>	70
<i>Figura 28- Cor aparente em função do tempo de decantação -----</i>	70
<i>Figura 29- Turbidez Remanescente em função da dosagem de quitosana e cal. -----</i>	74
<i>Figura 30- Cor aparente em função da dosagem de quitosana e cal.-----</i>	75
<i>Figura 31- Turbidez após filtração em função do TMR e do G. -----</i>	76
<i>Figura 32- Turbidez após filtração em função do TMR e do G-----</i>	77
<i>Figura 33- Turbidez após filtração em função da dose de cal e sulfato de alumínio. -</i>	80
<i>Figura 34- Turbidez após filtração em função do TMR e do G. -----</i>	81
<i>Figura 35- Turbidez para um Td de 4'40" em função da dose de S. A. e QTS. Caso (a)</i>	83
<i>Figura 36- Turbidez para um Td de 4'40" em função da dose de S. A. e QTS. Caso (b)</i>	83

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Valores máximos permissíveis das características físicas da água potável</i>	<i>11</i>
<i>Tabela 2 - Coagulantes primários e faixas de pH em que são utilizados-----</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 3 - Algas que interferem na coagulação-----</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 4 - Características das águas brutas-----</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 5 - Valores médios de cor e turbidez obtidos para o sistema de tratamento otimizado, utilizando quitosana como coagulante. -----</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 6 - Fitoplâncton da lagoa do Peri – Densidade-----</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 7 - Valores de cor e turbidez da água bruta e da água tratada com QTS. Os valores médios de cor e turbidez da água tratada correspondem aos G de 900, 1200 e 1500 s⁻¹, e ao tempo de mistura rápida de 30 s. -----</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 8 - Melhores resultados de cor e turbidez obtidos, empregando S. A. como coagulante-----</i>	<i>85</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

QTI – quitina

QTS – quitosana

S. A. – sulfato de alumínio

LIMA – Laboratório Integrado do Meio Ambiente

QUITECH – Grupo de Pesquisas em Quitina e Aplicações Tecnológicas

IV – infravermelho

GD – grau de desacetilação

G – gradiente de velocidade

TMR – tempo de mistura rápida

TML – tempo de mistura lenta

Td – tempo de decantação

TF – tempo de floculação

J_{ij} - número de colisões por unidade de tempo entre as partículas (i) e as partículas (j)

n_i n_j - concentração de partículas (i) e (j)

Y_{ij} - distância de colisão igual à soma dos raios das partículas

dv/dy - gradiente de velocidade

P/V - a potência dissipada por unidade de volume

μ - coeficiente de viscosidade dinâmica

CHN – análise elementar de Carbono, Hidrogênio e Nitrogênio

RMN – ressonância magnética nuclear

RPE - ressonância paramagnética eletrônica

VMP – valor máximo permissível

RESUMO

No processo de tratamento de água potável, é muito usado como coagulante o sulfato de alumínio, pois apresenta um baixo custo e uma boa eficiência na coagulação das partículas coloidais. Mas contudo, ele não é biodegradável e pode trazer sérios riscos a saúde humana se estiver presente na água com uma concentração maior que 0,2 mg/L. Recentemente muitos países como Japão, China, Índia e Estados Unidos, tem adotado o uso de polímeros naturais para o tratamento de água potável. O presente trabalho tem como principal objetivo estudar o uso do polímero natural quitosana como coagulante para o tratamento de água potável. A quitosana é biodegradável e não tóxica; pode ser obtida a partir da quitina e esta, é obtida a partir de cascas de camarão. O polímero pode atuar como polieletrólito catiônico na coagulação da matéria coloidal de água potável, pois apresenta em sua cadeia grupos amino que podem ser protonados em meio ácido e interagir com partículas de cargas opostas. A quitosana foi empregada como coagulante para água de rio de baixa turbidez e água de lago (Lagoa do Peri), e a cal comercial foi usada para corrigir o pH de coagulação. Os experimentos foram realizados num equipamento de Jar test e o processo de tratamento passou por etapas de mistura rápida (coagulação), mistura lenta (floculação), decantação e filtração. A eficiência da quitosana no tratamento foi avaliada por análises de pH, cor aparente e turbidez remanescente. O tempo de mistura, gradientes de velocidade e tempo de decantação, foram otimizados. As melhores dosagens de cal e quitosana encontradas para a água de rio foram de 3,0 mg/L e 1,5 mg/L, respectivamente; sendo que resultados equivalentes com sulfato de alumínio requerem doses da ordem de 7,5 mg/L e 14 mg/L. As condições ótimas de tratamento obtidas foram de 55 s para a mistura rápida com gradiente de velocidade (G) de 1200 s^{-1} , tempo de mistura lenta de 30 minutos, sequência de G na floculação de 50, 40, 30 e 20 s^{-1} e tempo de decantação de 2 minutos. A eficiência obtida foi de 88,8 % para remoção da turbidez da água decantada e 94,1 % da água filtrada. Para a remoção da cor a eficiência foi de 75%. Para a água de lago o sistema de decantação não funcionou, devido a grande presença de algas, foi usado então o sistema de coagulação/floculação/filtração. As melhores dosagens de cal e quitosana encontradas foram de 0 mg/L e 2,0 mg/L, respectivamente; sendo que resultados equivalentes com sulfato de alumínio requerem doses da ordem de 0 mg/L e 15 mg/L. As etapas do tratamento foram otimizadas, obtendo um tempo de mistura rápida de 30 s, e gradiente de velocidade (G) de 1200 s^{-1} . A eficiência obtida foi de 91,7% para remoção da cor e 94,6 % para a turbidez. A quitosana mostrou ser um eficiente coagulante para o tratamento das águas estudadas e a dose empregada foi bem menor que a dose de sulfato de alumínio. Normalmente uma água bem coagulada/floculada e decantada usando sulfato de alumínio apresenta uma turbidez remanescente entre 2 a 1,5 NTU, entretanto com a quitosana foi de 0,50 NTU. O pH de coagulação ficou na faixa de 6,35 a 6,70. Com o uso da quitosana a carreira de filtração será bem maior, pois não haverá tanto acúmulo de sólidos impregnados nos filtros, além disso, o lodo produzido poderá ir para um aterro sanitário comum, enquanto que o lodo produzido pelo sulfato de alumínio terá que ser levado a um aterro sanitário industrial. A maior desvantagem oferecida pela quitosana é o seu custo, mas a partir do momento em que começar a ser produzida em grande quantidade no Brasil, esse custo baixará.

ABSTRACT

In the process of treatment of drinking water, the aluminum sulfate widely used as coagulant, since this product presents a low cost and a good efficiency in the coagulation of the colloidal particles. However, is the aluminum sulfate not biodegradable and it can bring serious risks the human health if it is present in the water with a larger concentration than 0.2 mg/L. Recently many countries as Japan, China, India and United States, have been adopting the use of natural polymer for the treatment of drinking water. The purpose of this work was to study the use of the natural polymer chitosan as coagulant for the treatment of drinking water. The chitosan is biodegradable and not toxic; this biopolymer can be obtained from chitin, which is extracted from shrimp shell. The chitosan can act as cationic polyelectrolyte in the coagulation of the colloidal matter of drinking water, due to the presence amino groups in the polymeric chain, which is able to protonate in acidic medium and to interact with particles of opposite charges. The chitosan was used as coagulant for river water of low turbidity and lake water (Pond of Peri), and the commercial lime was used to correct the coagulation pH. The experiments were accomplished in an equipment of Jar testing and the treatment process was done by stages of fast mixture (coagulation), it slow mixture (flocculation), decantation and filtration. The efficiency of the chitosan in the treatment was evaluated by pH analyses, apparent color and remaining turbidity. The time of mixture, gradients of speed and time of decantation were optimized. The optimal dosage of lime and chitosan found for the river water were of 3.00 mg/L and 1.5 mg/L, respectively and the equivalent results with aluminum sulfate requested doses of the order of 7.5 mg/L and 14 mg/L. The optimal conditions of treatment obtained were of 55 seconds to the fast mixture, gradient of speed (G) of 1200 seconds⁻¹, time of slow mixture of 30 minutes, sequence of G in the flocculation of 50, 40, 30 and 20 seconds⁻¹ and time of decantation of 2 minutes. The obtained efficiency was from 88.8% for removal of the turbidity of the decanted water and 94.1% of the filtered water. The efficiency for the removal of the color was of 75%. However, for the lake water the decantation system did not work, due to great presence of algae. Thus the coagulation/flocculation/decantation system then was used. The optimal dosage found for lime and chitosan were of 0 mg/L and 2.0 mg/L, respectively and equivalent results with aluminum sulfate requested doses of the order of 0 mg/L and 15 mg/L. The stages of the treatment were optimized, obtaining a time of fast mixture of 30 seconds, and gradients of speed (G) of 1200 seconds⁻¹. The obtained efficiency was from 91.7% for removal of the color and 94.6% for the turbidity. The chitosan showed to be an efficient coagulant for the treatment of the studied waters and the employed dose was much smaller than the dose of aluminum sulfate. Usually a water well coagulated/flocculated and decanted using aluminum sulfate presents a remaining turbidity among 1.5 to 2 NTU, meantime with the chitosan was of 0.50 NTU. The coagulation pH was in the range from 6.35 to 6.70. With the use of the chitosan the filtration row will be very larger, since there will not so much accumulation of solids impregnated in the filters, besides, the produced sludge to should go a common sanitary landfill, while the sludge produced by the aluminum sulfate will have to be carried to an industrial sanitary landfill. The largest disadvantage offered by the chitosan in the moment is your cost, but once produced in large scale in Brazil its cost will be decrease.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Relevância e Justificativa

A água é diretamente responsável pela manutenção da vida e do bem-estar da espécie humana, além de ser o recurso natural mais importante para a utilização dos demais recursos, quer sejam vegetais, animais ou minerais. Sem água não haveria condições para o desenvolvimento da vida na Terra. Ela é o líquido básico para o atendimento das necessidades primordiais do homem e está presente em todos os seres vivos.

Embora a Terra possua três quartos de sua superfície coberta por água, 97 % é água salgada dos oceanos e mares, imprópria para utilização por conter substâncias químicas em grande concentração. Restam, portanto, 3 % de água doce em todo o planeta. Dois por cento encontram-se em locais de difícil acesso, nas calotas polares e nas geleiras. Apenas 1 % (10,5 milhões Km^3), é de água doce dos quais 10,4 milhões de Km^3 , constituem as reservas subterrâneas ou estão na atmosfera, e 100 mil Km^3 estão nos rios, lagos e principais fontes de abastecimento.

Se considerarmos o crescimento populacional, o uso indiscriminado dos recursos hídricos e a crescente poluição das águas e mais ainda, que as reservas não são eternas, apesar do ciclo hidrológico nunca diminuir o volume global da água, pode-se concluir que os estoques de água não são ilimitados, como muitos ainda crêem.

Segundo ARY HARO DOS ANJOS JÚNIOR “as primeiras cidades se formaram, como aliás ainda hoje ocorre em locais onde se pudesse dispor de água para sobrevivência. Ruínas de obras hidráulicas remotas são testemunhas do desenvolvimento social e tecnológico que atingiram alguns povos na antiguidade. Sempre a busca da água potável, e a sua distribuição, serviram como símbolos da qualidade de vida e do esplendor que alcançaram estas sociedades.

Em 1828, é que surge uma cidade dotada de um sistema de abastecimento de água completo, com tratamento e distribuição (a cidade de Londres), então a mais rica e importante do mundo.

Paris teve seu primeiro sistema de abastecimento de água completo em 1840.

O Brasil é considerado um país privilegiado quanto aos recursos hídricos. Entretanto, a ausência de uma política de preservação dos mananciais de abastecimento ao longo dos anos, vem comprometendo a qualidade e quantidade de água disponível, fazendo com que sejam necessários equipamentos cada vez mais sofisticados e obras caríssimas, precisando procurá-la em locais cada vez mais distantes.

Ainda assim há que considerar que as maiores bacias hidrográficas estão em locais bem distantes dos centros urbanos, consumidores potenciais, e que seu transporte/bombeamento fica inviabilizado técnica/economicamente e além do consumo humano existe uma crescente demanda para a produção de alimentos, irrigação e atividade industrial (ZARPELON, 1996).

A água destinada ao consumo humano deve preencher condições mínimas para que possa ser ingerida ou utilizada para fins higiênicos, tais como estar isenta de microrganismos patogênicos e, com relação à substâncias orgânicas, os teores das mesmas não deverão ser prejudiciais ao ser humano. Com o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas para o exame e análise das águas e o conhecimento do prejuízo potencial que novas substâncias poderiam causar à saúde pública foram propostos, principalmente nos países desenvolvidos, Padrões e Normas cada vez mais restritivos à qualidade da água a ser distribuída ao ser humano, principalmente no final da década de oitenta (DI BERNARDO, 1993).

No processo de tratamento de água potável, utiliza-se vários produtos químicos . A cal é usada no início do tratamento para auxiliar na coagulação e no final do tratamento para corrigir o pH da água e torná-la menos corrosiva. O cloro é usado como desinfectante e o flúor como auxiliar no combate a carie dentária. O sulfato de alumínio como coagulante é o mais usado devido a sua boa eficiência, seu baixo custo, fácil mão de obra e é produzido em várias regiões brasileiras. Contudo ele apresenta algumas desvantagens, e recentemente muita atenção tem sido dada ao seu uso extensivo (HUANG et al., 2000). Seu efeito como coagulante é fortemente dependente do pH, e no final do tratamento pode ficar presente uma alta concentração de alumínio residual na água, em consequência do pH de floculação usado (KAWAMURA, 1991). Se o mesmo estiver presente na água com uma concentração acima de 0,2 mg/L, pode trazer sérios

riscos a saúde humana como, distúrbios gastrointestinais, erupções na pele e úlceras (CLAYTON, et al., 1989). McLACHLAN (1995), em seu estudo sobre o mal de Alzheimer, descobriu que a presença de uma grande quantidade de sal de alumínio no organismo humano, pode causar este mal. Além disso, o alumínio não é biodegradável e por isso pode causar um sério problema de disposição e tratamento do lodo gerado. Por todos esses motivos alguns países como Estados Unidos, Japão e China tem adotado regularmente o uso de polímeros naturais para o tratamento de água potável (KAWAMURA, 1991).

O presente trabalho tem como principal objetivo estudar o uso do polímero natural quitosana como coagulante para o tratamento de água potável. A quitosana apresenta algumas vantagens sobre o sulfato de alumínio, e uma delas é que ela é biodegradável. O lodo gerado nos tanques de decantação com o uso da quitosana, não conterá produtos químicos tóxicos nocivos a saúde humana. Ela é considerada biodegradável e não tóxica, e sua dose oral letal (LD_{50}) é de > 16 g/Kg. Recentemente foi constatado que a mesma é também degradada pela microflora e é ricamente distribuída no cólon (TOZAKI et al., 1997). Sendo assim o seu uso no tratamento de água não trará problemas a saúde como o sulfato de alumínio, e diminuirá os problemas ambientais de lodo gerado por ser biodegradável.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Principal

O presente trabalho teve como principal objetivo avaliar a eficiência do polímero natural quitosana para o tratamento de água potável.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a eficiência da quitosana como coagulante para o tratamento de água de rio e de lago com baixas turbidez.
- Avaliar a eficiência da quitosana como polieletrólito auxiliar ao sulfato de alumínio, no tratamento de água de rio de baixa turbidez.
- Determinar o melhor pH de coagulação e a melhor dosagem de quitosana.
- Otimizar o tempo de mistura e o gradiente de velocidade nas etapas de coagulação e floculação, para as águas em questão.
- Otimizar o tempo de decantação para as águas de rio e de lago.
- Avaliar a qualidade da água filtrada em termos de cor e turbidez.
- Avaliar as vantagens do uso da quitosana sobre o sulfato de alumínio, na coagulação de partículas coloidais.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Considerações Iniciais

O organismo humano necessita de uma quantidade variada de substâncias e elementos químicos indispensáveis à manutenção da vida, tais como carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, cálcio, fósforo, potássio, enxofre, sódio, cloro, magnésio, e outros que compõem a base química do protoplasma e participam dos processos metabólicos vitais. Outros elementos que o organismo necessita em quantidades muito pequenas, como cromo, cobalto, cobre, estanho, ferro, iodo, mangânes, molibidênio, selênio, zinco e flúor, são denominados elementos traços. Outros, que provavelmente são necessários ao ser humano, sem necessidade ainda não confirmada, são o arsênio, bário, bromo, estrôncio, níquel, silício e vanádio. As águas naturais contêm grande parte das substâncias e elementos facilmente absorvidos pelo organismo, constituindo portanto, fonte essencial ao desenvolvimento do ser humano, já que cerca de 60 % da água utilizada é ingerida na forma líquida. Por outro lado as águas naturais podem conter organismos, substâncias, compostos e elementos prejudiciais à saúde, devendo ter seu número ou concentração reduzidos ou eliminados, para o abastecimento público (DI BERNARDO, 1993).

As águas naturais nunca são quimicamente puras, contendo quantidades maiores ou menores de materiais dissolvidos ou em suspensão, conforme a origem. Ao precipitar como chuva, a água dissolve O_2 , N_2 , CO_2 , NH_3 e NH_4NO_3 e arrasta poeiras inorgânicas e orgânicas existentes na atmosfera. Depois, já em contato com o solo, a água da chuva exerce uma importante ação dissolvente sobre as rochas e os materiais orgânicos em decomposição. Uma parte da água é absorvida pelo solo. As águas subterrâneas perdem quase toda a matéria orgânica e, por sua vez dissolvem certas substâncias minerais, como compostos de cálcio, magnésio, sódio, etc. Quando a água volta à superfície, jorrando nas fontes, ela poderá conter dissolvida, uma quantidade apreciável de compostos minerais (águas minerais). As águas dos rios contêm não somente compostos inorgânicos dissolvidos, mas também matéria orgânica oriunda de plantas aquáticas e vegetais marginais ou de águas cloacais lançadas aos rios. As correntes fluviais arrastam, ainda, quantidades consideráveis de matéria sólida em suspensão. Finalmente

a água do mar contém uma porção considerável de sais solúveis, especialmente, cloreto de sódio (COTTON e GEOFFREY, 1978).

3.2. Características Físicas das Águas

Embora as características físicas da água tenham importância relativamente pequena do ponto de vista sanitário, elas podem ser determinadas na escolha da tecnologia de tratamento, por isso, são apresentadas as principais características físicas da água e suas implicações nas tecnologias de tratamento (DI BERNARDO, 1993).

3.2.1. Turbidez

A turbidez é uma característica da água devida à presença de partículas suspensas na água com tamanho variando desde suspensões grosseiras aos colóides. A presença dessas partículas provoca a dispersão e a absorção da luz, dando à água uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa. A turbidez pode ser causada por uma variedade de materiais: partículas de argila ou lodo, descarga de esgoto doméstico ou industrial ou a presença de um grande número de microorganismos. Pode ser também causada por bolhas de ar finamente divididas, fenômeno que ocorre com certa frequência em alguns pontos da rede de distribuição ou em instalações domiciliares, provocando a queixa de consumidores menos avisados (AZEVEDO NETO e RICHTER, 1998).

A distinção entre dispersão coloidal e suspensão é arbitrária, porém, tem sido adotado o tamanho de uma esfera com diâmetro de $1\mu\text{m}$. Na figura 1 é mostrado a distribuição de tamanhos das partículas, moléculas e átomos presentes nas águas (DI BERNARDO, 1993).

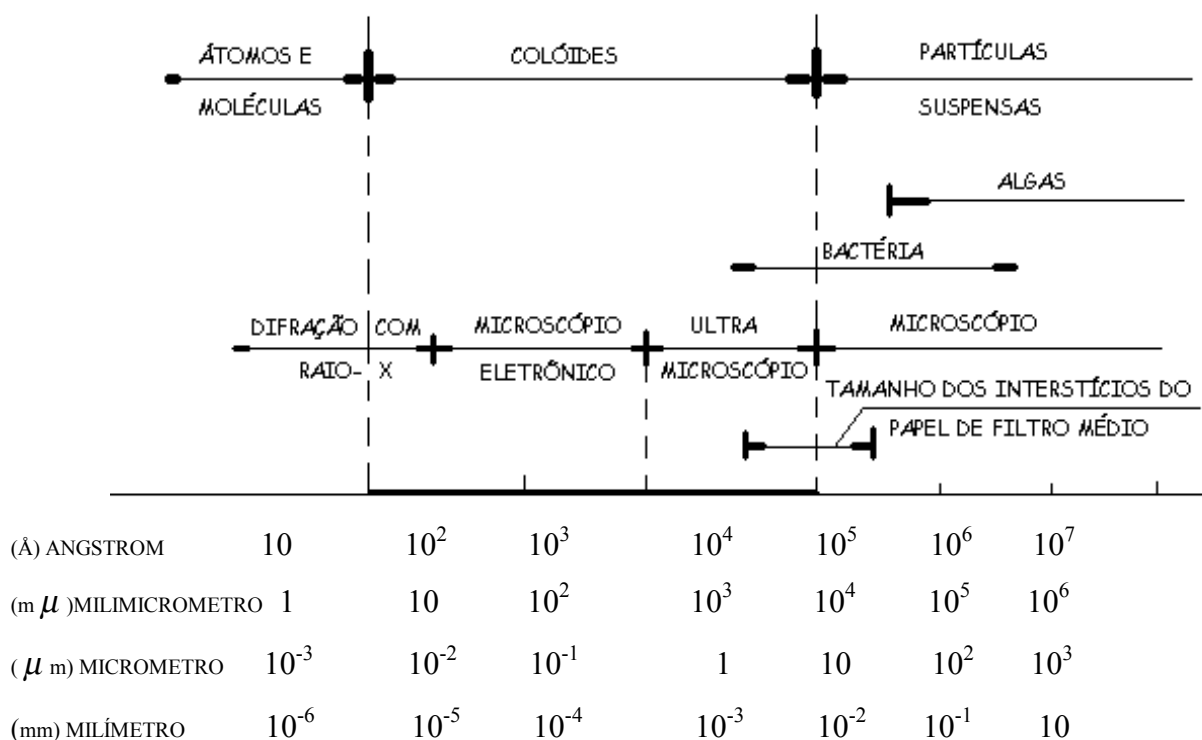


Figura 1 - Distribuição de tamanhos de partículas na água

Na determinação da turbidez há uma variedade de equipamentos para medida, mas os mais utilizados e provavelmente os melhores, são os nefelômetros. Nesses aparelhos, mede-se em uma célula fotoelétrica, a quantidade de luz dispersa através da amostra de água, a 90° da luz incidente (figura 2). A escala padrão é calibrada com padrões conhecidos, usualmente preparados com uma solução de formazina, e permite medir valores tão baixos como 0,1 NTU com uma precisão de $\pm 10\%$. Não há entretanto, uma relação direta entre a quantidade de luz dispersa a 90° e a que atravessa diretamente a amostra. Neste caso a denominação da unidade de turbidez se dá em Unidades Nefelométricas de Turbidez, U. N. T ou N. T. U (inglês), (AZEVEDO NETO e RICHTER, 1998).

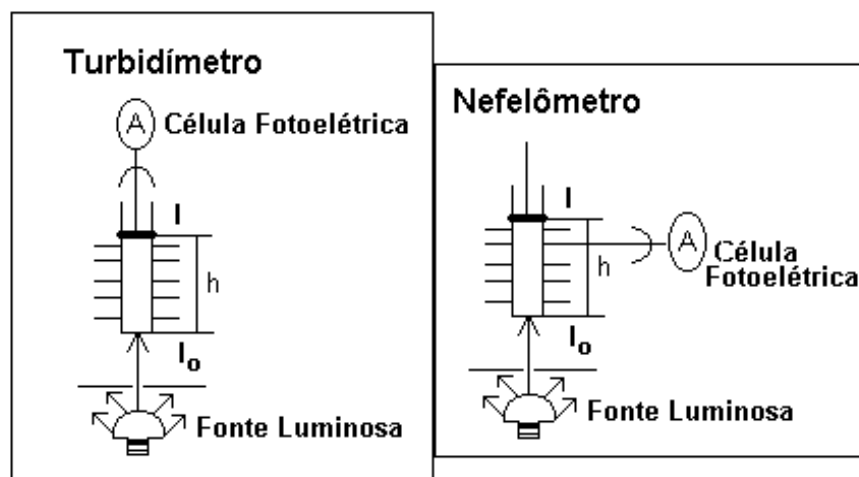


Figura 2- Aparelhos usados para fazer a medida da turbidez

3.2.2. Cor Aparente e Cor Verdadeira

A presença de matéria orgânica nas águas pode ser decorrente de várias fontes. Os compostos orgânicos naturais nas águas são oriundos da degradação de plantas e animais e são denominados substâncias húmicas. Antigamente, a medida da cor era feita apenas por motivo estético, porém, com a descoberta de que tais substâncias são precursores de formação de trihalometanos, THM, se a desinfecção for feita com cloro livre, a quantificação da cor passa a ser muito importante. Geralmente, é usado o método da comparação visual, em aparelhos que dispõem de discos padronizados. Quando a medida da cor é feita com o sobrenadante de amostra de água, após centrifugação a 3500 rpm durante 30 minutos, obtém-se a cor verdadeira, mas com a amostra natural, tem-se a cor aparente, devido à interferência de partículas coloidais e suspensas, além de microorganismos (DI BERNARDO, 1993).

3.2.2.1. Substâncias Húmicas

As substâncias húmicas são constituídas de uma mistura de compostos de natureza química diversa, como ácidos amorfos, predominantemente aromáticos e hidrofílicos, com cadeias de massa molar entre 10^4 e 10^5 g. As dimensões das moléculas de substâncias húmicas variam com o pH e com o grau de polimerização (entre 3,5 a 10

nm), de modo que a cor medida depende do pH da amostra. As substâncias húmicas, geralmente são compostas de:

- ácidos húmicos : solúveis em meio alcalino (insolúveis em ácido)
- ácidos fúlvicos : solúveis em meios alcalinos e ácidos
- ácidos himatomelânicos : solúveis em meio alcalino e em álcool (insolúveis em ácido)
- humina : resíduo resultante após a separação dos ácidos

A análise das substâncias húmicas por espectroscopia revelou que tais compostos podem apresentar grupos funcionais (carboxílicos, fenólicos, alcoólicos, quenônios, metoxílicos, carbonílicos, etc) e grupos aromáticos (DI BERNARDO, 1993).

3.2.3. Sabor e odor

Sabor e odor são características de difícil avaliação e decorrem de matéria excretada por algumas espécies de algas e de substâncias dissolvidas, como gases, fênois, clorofenois, e em alguns casos, do lançamento de despejos industriais nos cursos de água. A remoção de tais substâncias requer, geralmente, aeração, além da aplicação de um oxidante e de carvão ativado (DI BERNARDO, 1993).

3.2.4. Temperatura

A temperatura influi nas reações de hidrólise do coagulante, na eficiência da desinfecção, na solubilidade de gases e, em especial, no desempenho das unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração. Por isso, é importante conhecer-se a variação de temperatura prevista na água a ser tratada (DI BERNARDO, 1993).

3.3. Características Químicas das Águas

3.3.1. Características Orgânicas

Os constituintes orgânicos surgem nas águas de três fontes principais : quebra de moléculas de substâncias húmicas, microorganismos e seus metabólicos e hidrocarbonetos aromáticos. Embora tais substâncias não sejam normalmente

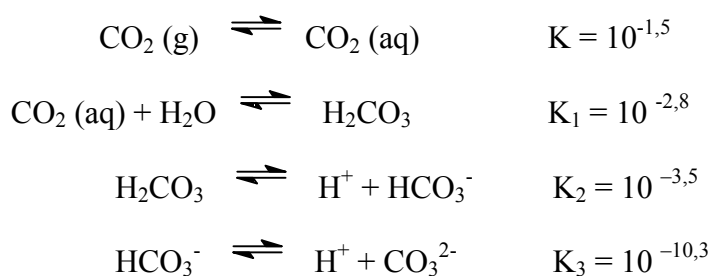
prejudiciais ao ser humano, algumas podem agir como precursores de formação de trialometanos – THM e outros compostos organo-halogenados durante a desinfecção, se o cloro livre for utilizado. Substâncias orgânicas decorrentes de atividades antrópicas, resultam do lançamento de águas residuárias sanitárias ou industriais, tratadas ou não, do escoamento superficial urbano ou rural e do escoamento subsuperficial em solos contaminados. Nas estações de tratamento de água pode haver formação de THM e halo-acetonitrilas (tricloro-acetonitrila), (DI BERNARDO, 1993).

3.3.2. Características Inorgânicas

Há características inorgânicas das águas que merecem atenção especial por interferirem no processo de tratamento e alguns elementos químicos inorgânicos podem causar problemas de saúde pública, mas há outros que são essenciais ao processo metabólico do ser humano (DI BERNARDO, 1993).

3.3.2.1. Alcalinidade, Acidez e pH

A alcalinidade pode ser entendida como a capacidade da água em neutralizar ácidos, e a acidez, como a de neutralizar bases. A alcalinidade e acidez de soluções aquosas baseiam-se, geralmente, no sistema do ácido carbônico (H_2CO_3), que é um ácido diprótico fraco e que possui dois pontos de equivalência. As principais reações, para $t = 25^\circ \text{C}$, são:



Em função do pH, a alcalinidade pode ser devida a:

pH = 12,3 – 9,4 : alcalinidade de hidróxidos e carbonatos

pH = 9,4 – 8,3 : alcalinidade de carbonatos e bicarbonatos

pH = 8,3 – 4,4 : alcalinidade de bicarbonatos somente

A medida da alcalinidade é feita através da titulação com ácido padronizado, utilizando indicadores, como fenolftaléina e alaranjado de metila. Durante a titulação a

variação do pH é analisada mediante o uso de pH-metro. Qualquer tipo de alcalinidade é expresso em termos de carbonato de cálcio (CaCO_3).

A alcalinidade é importante, pois influi consideravelmente na coagulação química, já que os principais coagulantes primários, comumente usados no Brasil (sulfato de alumínio e cloreto férrico), são doadores de prótons em solução. Assim, se a alcalinidade da água for baixa, a coagulação eficiente poderá acontecer com a condição de um alcalinizante para ajuste do pH mas, se a alcalinidade e pH forem relativamente altos, é provável que o sulfato de alumínio não seja indicado.

A acidez depende do pH, pois é devida ao CO_2 , que estará presente somente para valores de pH inferiores a 8,3 e superiores a 4,4, pois, abaixo deste, a acidez decorre da existência de ácidos fortes, que não costumam estar presentes nas águas. Há interesse em se conhecer a acidez pois o condicionamento final da água em uma estação de tratamento pode exigir a adição de alcalinizantes para manter a estabilidade do carbonato de cálcio e evitar problemas relacionados à corrosão dos constituintes de um sistema de abastecimento de água. A acidez é também expressa em CaCO_3 e pode ser determinada com adição de uma base para neutralizar o CO_2 presente, utilizando-se da fenolfetaléina como indicador, pois esta altera sua coloração no valor de pH = 8,3 (DI BERNARDO, 1993).

3.4. Normas e Padrões de Potabilidade da Água Destinada ao Consumo Humano

A quantidade de alumínio residual que permanece na água tratada e que chega até nossas casas, pode ser prejudicial a saúde humana se ultrapassar a concentração máxima permitida.

Segundo a portaria nº 36 do Ministério da Saúde, de 19 de janeiro de 1990, o alumínio faz parte dos componentes que afetam a qualidade organoléptica da água e sua concentração máxima permitida é de 0,2 mg/L.

Em relação aos valores máximos permissíveis da cor e turbidez a tabela 1 mostra os valores permitidos.

Tabela 1 - Valores máximos permissíveis das características físicas da água potável

<i>Características Físicas e Organolépticas</i>	<i>Unidade</i>	<i>VMP</i>
Cor aparente	uH (1)	5 (obs-1)
Turbidez	uT (2)	1 (obs-2)

Fonte: Portaria nº 36, de 19 janeiro de 1990

(1) uH é a unidade de escala de Hazen (de platina-cobalto)

(2) uT é a unidade de turbidez, seja em unidade de Jackson ou em nefelométrica.

Obs. 1 – Para a cor aparente, o VMP é 5 (cinco) uH para água entrando no sistema de distribuição. O VMP de 15 (quinze) uH é permitido em pontos da rede de distribuição.

Obs. 2 – Para a turbidez, o VMP é 1,0 uT, para a água entrando no sistema de distribuição. O VMP de 5,0 uT é permitido em pontos da rede de distribuição, se for demonstrado que a desinfecção não é comprometida pelo uso desse valor menos exigente (Portaria nº 36 do Ministério da Saúde).

3.5. Tecnologias de Tratamento

A produção de água que atenda o Padrão de Potabilidade requer, na maioria dos casos, a filtração, pois somente nessa etapa é que são removidos, quase que em sua totalidade, as partículas coloidais, suspensas e microorganismos em geral, de forma que a desinfecção final seja efetiva. Muitas vezes, a água bruta contém componentes químicos que exigem tratamentos específicos, conduzindo à formação de precipitados e posterior remoção por sedimentação ou filtração, ou à adsorção em hidróxidos e óxidos ou carvão ativado.

As tecnologias de tratamento podem ser divididas entre aquelas em que é utilizada a coagulação química e as que prescindem desse processo. De outra forma, a classificação das tecnologias de tratamento poderia ser feita em função da filtração, rápida ou lenta. A figura 3 mostra as tecnologias destinadas ao tratamento de água para consumo humano (DI BERNARDO, 1993).

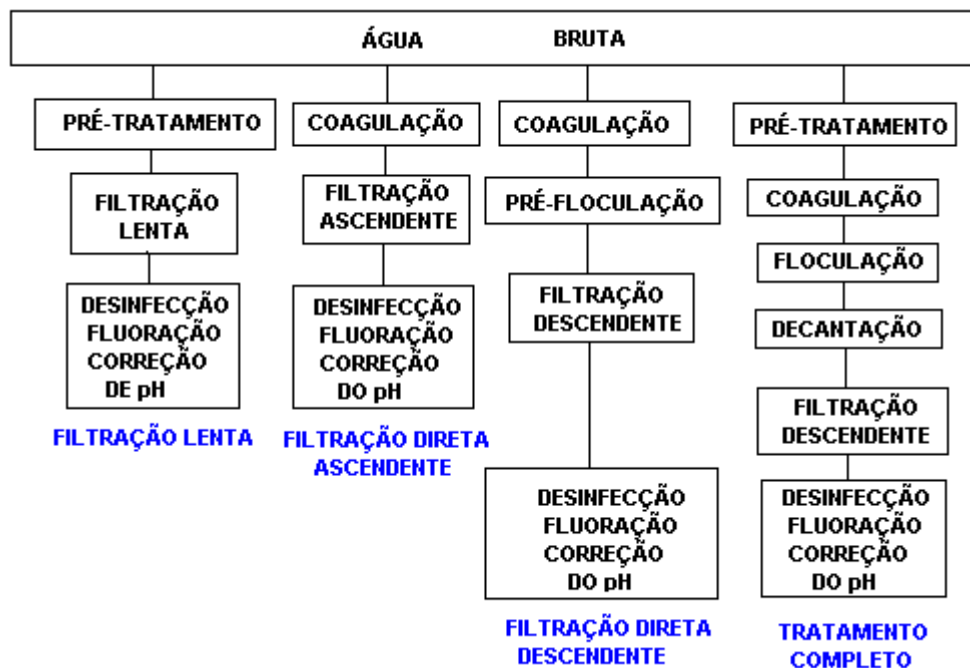


Figura 3- Classificação das tecnologias de tratamento de água destinada ao consumo humano

Fonte: DI BERNARDO, 1993

3.6. Coagulação e Floculação

Em tratamento de água, a finalidade da coagulação e floculação é transformar as impurezas que se encontram em suspensão fina, em estado coloidal ou em solução, bactérias, protozoários ou plâncton, em partículas maiores (flocos) para que possam ser removidas por sedimentação, e/ou filtração ou, em alguns casos, por flotação.

Coagulação e floculação constituem a parte mais delicada do tratamento de água para abastecimento. Qualquer falha nesse setor, pode acarretar grandes prejuízos na qualidade e custo do produto distribuído à população.

Geralmente as partículas coloidais presentes na água apresentam os maiores problemas quando se visa a remoção da cor e da turbidez. Isso se deve às propriedades eletrocinéticas dos colóides e também às características consequentes da dimensão reduzida das partículas.

O conhecimento das propriedades fundamentais dessas partículas possibilita melhor compreensão do processo de coagulação e de floculação (AZEVEDO, et al., 1979).

3.6.1. Colóides

3.6.1.1. Classificação dos Colóides

Há vários tipos de dispersões coloidais, porém, a que apresenta maior interesse, quando se visa o tratamento de água, é aquela em que se tem uma fase sólida, dispersa em uma fase líquida (sol); mais particularmente ainda, quando se tem, como fase dispersante, a água.

Em estudos sobre técnicas de tratamento de água é interessante considerar-se os colóides hidrófilos e hidrófobos. Sendo assim, tem-se:

- (a) Colóides hidrófilos: são compostos de grupos polares, solúveis em água, que atraem para próximo de si moléculas do meio dispersante, formando uma película que exerce ação protetora, tornando o colóide bastante estável (difícil de coagular e flocular). Sabões e detergentes pertencem a este grupo, quando dispersos em água.
- (b) Colóides hidrófobos: neste caso, a fase dispersa é constituída de material insolúvel em água. Esses colóides geralmente ocorrem em maior quantidade que os hidrófilos nas águas destinadas a abastecimento. Como exemplo tem-se as graxas e óleos (AZEVEDO et al., 1979).

3.6.1.2. Características Principais dos Colóides

(a) Tamanho das partículas

As partículas coloidais que apresentam dimensões desde 10^{-3} μm até 1 μm , não podem ser observadas com o emprego do microscópio comum, exigindo o ultramicroscópio (campo: 1 μm a 10^{-1} μm) e o microscópio eletrônico (campo: 10^{-1} μm até próximo a 10^{-3} μm). É importante salientar que os limites impostos não são rígidos, podendo existir dispersões coloidais com partículas maiores ou menores que as admitidas.

(b) Movimento Browniano

BROW citado por AZEVEDO et al (1979), botânico inglês, estudando suspensões de grãos de pólen observou, pela primeira vez, este fenômeno. WEINER citado por AZEVEDO et al (1979), sugeriu que tal fato era devido ao bombardeio das partículas dispersas, pelas moléculas da fase dispersante. Este bombardeio é constante, pois a agitação da fase dispersante sempre existe, provocando um movimento desordenado das partículas, denominado Movimento Browniano. Sob a ação desse bombardeio, as partículas se mantêm em suspensão, não sedimentando.

(c) Propriedades Eletrocinéticas

Essas propriedades são consequência do potencial eletrostático que as partículas coloidais adquirem por adsorção de cargas elétricas da fase dispersante. Esse potencial dá aos colóides a capacidade de se moverem, quando sob a ação de um campo elétrico. O ponto de partida para o conhecimento de tal comportamento é o estudo do Potencial Zeta (AZEVEDO et al., 1979).

3.6.2. Potencial Zeta

Se a uma dispersão coloidal, aplicarmos uma diferença de potencial, através de eletrodos mergulhados nesta dispersão, observa-se que as partículas se movem em direção aos eletrodos. Este fenômeno denomina-se de eletroforese.

De maneira geral, todas as partículas coloidais, dispersas em águas, cujo pH se encontra entre 5 a 10, apresentam carga negativa devido à adsorção seletiva de íons eletronegativos. Como dificilmente uma água a ser tratada foge a essa gama de valores de pH, os estudos de coagulação e floculação desenvolveram-se baseados em modelos de partículas coloidais negativas (AZEVEDO et al., 1979).

3.6.2.1. Teoria da Dupla Camada

Para explicar os comportamentos eletrocinéticos dos colóides, GOUY E STERN citado por AZEVEDO et al (1979), propuseram a Teoria da Dupla Camada. Tomando-se uma superfície plana carregada negativamente, em contato com um líquido que

contenha íons positivos e negativos dissolvidos, haverá um acúmulo de cargas positivas, próximo às paredes (camada compacta) e, enquanto se afasta da mesma, o número de íons de cargas opostas tende a se igualar (camada difusa).

Potencial Zeta é a medida do potencial elétrico entre a superfície externa da camada compacta que se desenvolve ao redor da partícula e do meio líquido em que ela está inserida. Os íons de carga contrária são atraídos ao colóide, por forças eletrostáticas, enquanto a agitação térmica e o movimento Browniano tendem a distribuí-los por toda massa líquida. Esse sistema de cargas, superfície de colóide e camada de sinal contrário, recebe o nome de dupla camada.

Potencial Zeta é uma função da carga da camada difusa (por unidade de superfície do colóide) e da extensão da mesma.

Quando um líquido que contém partículas carregadas dispersas é submetido a um campo elétrico, o atrito entre as partículas e o líquido que contém a camada difusa reduz o movimento na direção dos eletrodos. Portanto, a velocidade de uma partícula dispersa sob a ação de um campo elétrico aumenta, com o aumento da densidade e extensão da camada difusa. Essa velocidade é proporcional ao potencial elétrico entre os eletrodos e ao Potencial Zeta.

JOHNSON e ALEXANDER citado por AZEVEDO et al (1979), definiram o Potencial Zeta como a energia requerida para se trazer uma carga unitária, desde o infinito até o plano de cisalhamento que separa a partícula do resto da dispersão. É a seção da camada que se move juntamente com a partícula e está situada entre a superfície interna e externa da dupla camada (AZEVEDO et al., 1979).

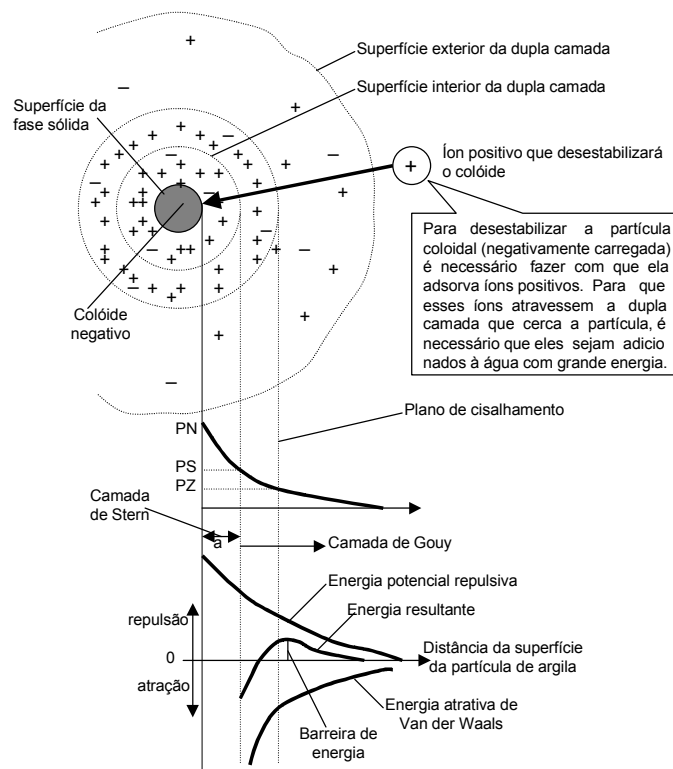


Figura 4- Potencial Zeta Segundo Johnson e Alexander

Fonte: DALSSASSO, L. R ,1999

3.6.3. Mecanismo de Coagulação

A coagulação, geralmente realizada com sais de alumínio e ferro, resulta de dois fenômenos: o primeiro, essencialmente químico, consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva e depende da concentração do metal e pH final da mistura; o segundo fundamentalmente físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas presentes na água. O processo é muito rápido, variando desde décimos de segundo à cerca de 100 segundos, dependendo das demais características (pH, temperatura, quantidade de impurezas, e outras). Ele é realizado em uma Estação de Tratamento de Água, na unidade de mistura rápida (DI BERNARDO, 1993)

Atualmente considera-se a coagulação como resultado da ação de quatro mecanismos diferentes: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura e adsorção e formação de ponte.

(a) Compressão da Camada Difusa

Sabe-se desde o final do século XIX, que em um sistema coloidal pode ser desestabilizado pela adição de íons de cargas contrárias à das partículas coloidais. Schulze e Hardy, por volta de 1900, utilizando a teoria desenvolvida por Derjaguin, Landau, Verwey e Overbeek – DLVO, mostraram que a desestabilização de um colóide por um eletrólito indiferente ocorre devido a interações eletrostáticas: íons de mesma carga são repelidos e de carga contrária, atraídos pelos colóides; quanto maior a carga do íon positivo, menor a quantidade requerida para a coagulação. Segundo WEBER citado por DI BERNARDO (1993), no caso do sódio, cálcio e alumínio, as concentrações molares desses metais para causar a desestabilização de um colóide variam, aproximadamente, na proporção de $1:10^{-2}:10^{-3}$.

A introdução de um eletrólito indiferente num sistema coloidal irá causar um aumento na densidade de cargas na camada difusa e diminuir a esfera de influência das partículas, ocorrendo a coagulação por Compressão da Camada Difusa. Concentrações elevadas de íons positivos e negativos (força iônica grande) na água acarretam um acréscimo do número de íons na camada difusa que, para manter-se eletricamente neutra, necessariamente, tem seu volume reduzido (diminuição da espessura), de modo que as forças de Van der Waals sejam dominantes, eliminando a estabilização eletrostática (ver figura 5). Um exemplo típico desse mecanismo ocorre quando águas doces com força iônica pequena misturam-se às águas do mar, promovendo a formação de depósitos nas desembocaduras.

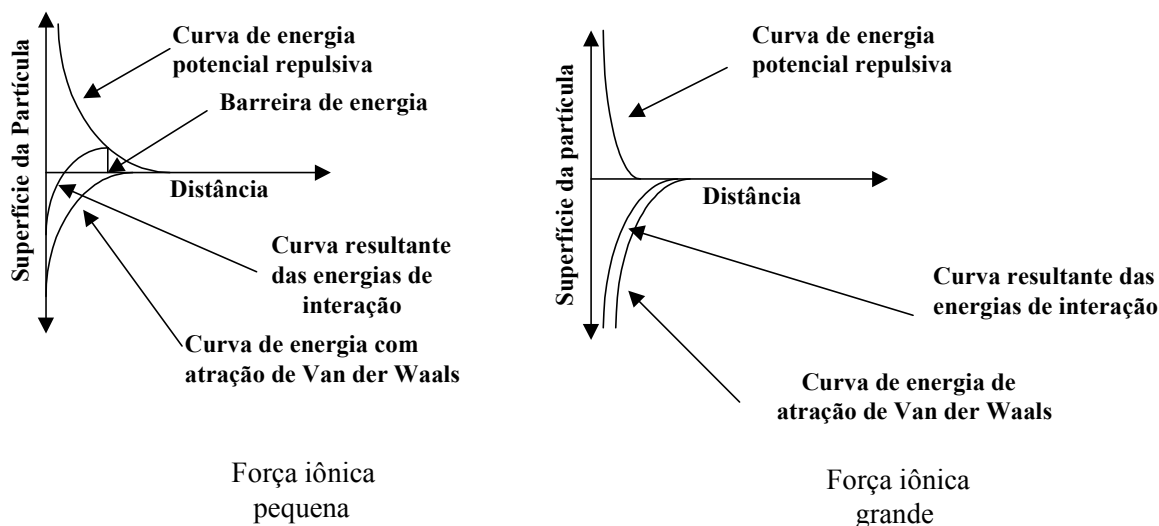


Figura 5- Interação entre duas partículas coloidais semelhantes.

Fonte: DI BERNARDO, 1993

Há dois aspectos interessantes sobre esse mecanismo de coagulação: (a) a quantidade de eletrólitos para conseguir-se a coagulação é, praticamente, independente da concentração de colóides na água; (b) para qualquer quantidade adicionada de eletrólitos é impossível causar a reestabilização das partículas coloidais, ou seja, a reversão da carga das mesmas, que passa a ser positiva.

(b) Adsorção e Neutralização de Carga

A desestabilização de uma dispersão coloidal consiste nas interações entre coagulante-colóide, coagulante-solvente e colóide-solvente. O mecanismo de adsorção-neutralização de carga é muito importante quando o tratamento é realizado através da filtração direta, pois não há necessidade da produção de flocos para posterior sedimentação mas de partículas desestabilizadas que serão retidas no meio filtrante (DI BERNARDO, 1993). A Figura 6 mostra um desenho ilustrativo do mecanismo acima citado.

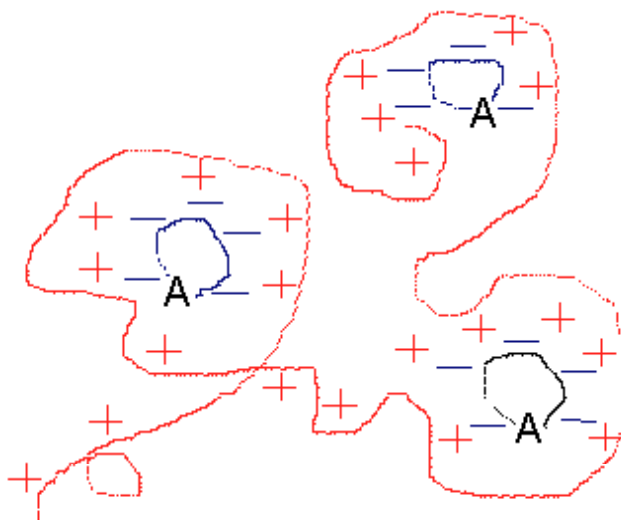


Figura 6 - Coagulação de argila coloidal por polieletrólito catiônico. A letra A representa as micelas de argila de carga negativa, e o restante (em vermelho), representa a cadeia de um polímero qualquer (catiônico) protonado.

Fonte: SILVA CARVALHO, 1999

(c) Varredura

Dependendo da quantidade adicionada de sal (coagulante), do pH da mistura e da concentração de alguns tipos de íons na água, poderá ocorrer a formação de precipitados do tipo $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$. As partículas coloidais são envolvidas pelos precipitados e, como este mecanismo não depende da neutralização da carga dos colóides, a condição ótima da coagulação pode não corresponder àquela em que é mínimo o potencial zeta.

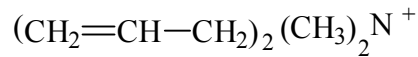
O mecanismo da varredura, definido por STUMM e O'MELIA e citado por DI BERNARDO (1993), como 'sweep coagulation', é intensivamente utilizado nas estações de tratamento em que se tem a floculação e sedimentação antecedendo a filtração, pois os flocos resultantes são de maior tamanho e apresentam velocidades de sedimentação relativamente altas se comparados aos flocos obtidos com a coagulação realizada no mecanismo de adsorção-neutralização.

(d) Adsorção e Formação de Pontes

Existe uma variedade significativa de compostos orgânicos sintéticos e naturais caracterizados por grandes cadeias moleculares, que gozam da propriedade de

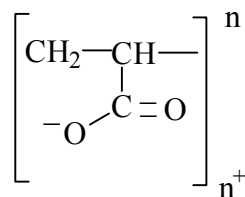
apresentar sítios ionizáveis ao longo da cadeia, e de atuar como coagulantes. Os polímeros podem ser classificados como:

(a) Catiônico: apresenta sítios ionizáveis positivos



íon dialil-dimetil amônia (monômero)

(b) Aniônico: apresenta sítios ionizáveis negativos



Ácido Poliacrílico

(c) Não iônico: não apresenta sítios ionizáveis



Óxido de Polietileno

(d) Anfólitico: apresenta sítios ionizáveis negativos e positivos (DI BERNARDO, 1993).

3.6.4. Características dos Coagulantes Comuns

Na maioria dos casos de tratamento de água há necessidade de adicionar substâncias à água, para que se consiga uma purificação conveniente. Os produtos mais utilizados como coagulantes são:

- Sais de alumínio e ferro: Sulfato de alumínio, Sulfato Ferroso, Sulfato Ferroso Clorado, Sulfato Férrico, e outros;
- Álcalis, para promover e manter a alcalinidade: Cal Virgem (CaO), Cal Hidratada (Ca (OH)₂), Barrilha (Na₂CO₃), e outros.

Para que um produto seja empregado como coagulante (primeiro grupo mostrado acima), espera-se que o mesmo apresente as seguintes propriedades:

- Reaja com álcali, produzindo precipitados floculentos;
- a superfície dos flocos que se formam deve ser grande, permitindo a adsorção de materiais dissolvidos, coloidais e em suspensão;
- produza, em solução, íons positivos (íons metálicos) de grande poder de redução do Potencial Zeta;
- sua aplicação não cause problemas à saúde dos consumidores de água tratada.

O custo, a disponibilidade (facilidade de obtenção) e o tipo de água, são fatores decisivos. Assim:

- o Sulfato de Alumínio é fácil de transportar e de manejar. Seu custo é baixo, e é produzido em várias regiões brasileiras;
- o Sulfato Ferroso é muito útil para tratar águas que apresentam pH elevado;
- o Sulfato Férrico é conveniente para o tratamento de águas altamente coloridas ou ácidas;
- o Cloreto Férrico produz bons flocos em amplo intervalo de pH;
- o Aluminato de Sódio pode ser empregado, juntamente com a Cal, para abrandamento de águas.

A tabela 2 mostra os diversos coagulantes primários e as faixas de pH em que geralmente se obtém as condições ótimas de tratamento.

Tabela 2 - Coagulantes primários e faixas de pH em que são utilizados

<i>Coagulantes</i>	<i>Faixa de pH</i>
Sulfato de Alumínio	5,0 a 8,0
Sulfato Ferroso	8,5 a 11,0
Sulfato Férrico	5,0 a 11,0
Cloreto Férrico	5,0 a 11,0
Sulfato Ferroso Clorado	acima de 4,0
Aluminato de Sódio e Sulfato de Alumínio	6,0 a 8,5

Fonte: DI BERNARDO, 1993.

Observações:

- Remoção da turbidez: geralmente as águas que tem maior turbidez exigem maior consumo de coagulantes. Em alguns casos, os materiais causadores de turbidez podem auxiliar na formação de flocos pesados.
- Remoção da cor: de maneira geral a remoção da cor é mais fácil em pH baixo (5,0 a 6,0). A cor é devida, principalmente, a colóides e substâncias orgânicas, naturais ou provenientes de resíduos industriais (DI BERNARDO, 1993).

3.6.5. Ensaio de Floculação

A floculação é o processo pelo qual as partículas em estado de equilíbrio eletrostaticamente instável no seio da massa líquida são forçadas a se movimentar, a fim de que sejam atraídas entre si formando flocos, que, com a continuidade da agitação, tendem a aderir uns aos outros, tornando-se pesados, para posterior separação nas unidades de decantação e filtração (AZEVEDO et al., 1979).

No controle da coagulação-floculação, em laboratório, a turbidez do sobrenadante, provenientes dos Ensaio dos Jarros, ainda é considerada como o parâmetro mais prático para avaliar a sedimentabilidade do floco. Contudo, é conveniente que se refinem os critérios do julgamento, lançando-se mão de idéias novas que forneçam resultados mais precisos, como a medida do Potencial Zeta, Titulação Coloidal, Refiltração em Membranas, etc.

Os modelos mais antigos e comuns de equipamentos para realização de ensaios de floculação são os Jar Test ou Teste de Jarros, e constam de uma plataforma de

madeira ou metal, sobre a qual são colocados jarros de vidro (geralmente, seis unidades), dentro dos quais são baixadas hastes que giram, acionadas por um sistema acoplado a um motor de baixa rotação. De

maneira geral, o motor permite rotação das hastes, variando de 20 a 100 rpm.

Os equipamentos mais modernos apresentam as seguintes melhorias principais:

- iluminação sob os jarros, que permite melhor observação do floco
- os jarros apresentam seção quadrada e/ou estatores para permitir melhor agitação e evitar que a água continue se movimentando algum tempo após iniciado o período de sedimentação.
- os jarros possuem tubos imersos (ligados a uma linha de vácuo), que podem retirar amostras a qualquer momento, possibilitando a determinação da turbidez corresponde.
- possuem, sobre os jarros, um conjunto de recipientes nos quais são colocados os coagulantes. Esses recipientes, quando desejado, adicionam coagulante, simultaneamente, em todos os jarros, eliminando o erro de se promover a adição, jarro por jarro (distribuidor de coagulante).
- são providos de dispositivo para medição da rotação do agitador (AZEVEDO et al., 1979).

3.6.6. Agentes Poliméricos Floculantes

Quando uma suspensão de partículas sólidas é deixada em descanso, a partícula grande decanta primeiro e o material muito fino lentamente decanta, mas dependendo da densidade e do tamanho do material fino, nem todo ele decanta (AKELAH e MOET, 1990).

A superfície de suspensões sólidas na água tende a ter carga elétrica livre balanceada por íons de carga oposta na solução. A carga da superfície gera uma força repulsiva entre as partículas, tendendo a mantê-las separadas. Para partículas grandes, forças gravitacionais são dominantes e fazem elas variar com relação a suspensão, mas para partículas individuais de suspensões coloidais as forças eletrostáticas e microhidrodinâmicas dominantes fazem suas suspensões relativamente estáveis. Floculação é a coagulação de partículas coloidais em grandes agregados (flocos) para

com forças gravitacionais dominantes e a estabilidade da suspensão é perdida. O agente químico que aumenta o processo é chamado de agente floculante ou como um floculante. Agentes floculantes aumentam a agregação também pela modificação da energia de interação entre um par de partículas ou por introduzir novos termos de interação, por meio disso desestabilizam a suspensão e efetivam a separação sólido-líquido.

A estabilidade das dispersões na solução do polímero depende de: (a) a interação partícula-polímero, (b) a interação solvente-polímero e (c) a interação solvente-partícula. Contudo a temperatura pode afetar todas estas interações, e conseqüentemente o grau de adsorção do polímero na partícula pode também ser mudado pela temperatura.

Quando um polímero que tem energia de adsorção menor do que o solvente é adicionado ao sistema, a dispersão flocula. A energia deste tipo de floculação é atribuída a interação solvente-partícula.

A estabilidade de uma dispersão é quantitativamente expressa pela variação da Energia Livre (ΔG), do sistema na aproximação de duas partículas. Se o ΔG vem negativo, deseja-se resultar estabilização, e se o ΔG vem positivo, deseja-se resultar floculação. Na presença de um polímero, se o polímero atua como um dispersante para estabilização das dispersões ou como floculante, o ΔG é uma função complexa de vários parâmetros como peso molecular, estrutura molecular, concentração, carga elétrica, grau de adsorção, conformação na camada adsorvida, solvência e propriedades dielétricas. A energia de interação entre um par de partículas (um fator na formação de agregados) foi formulada como origem de dois componentes: (a) um duplo termo para sobrepor camadas e levar para repulsão e (b) um duplo termo para atração de van der Waals. Desde então forças de dispersão são pequenas variações, as partículas podem estar juntas antes de uma significativa força atrativa desenvolver-se. A floculação por polímeros que leva aproximadamente à desestabilização de suspensões aquosas é usualmente explicada por dois métodos: (a) neutralização da carga do polímero e (b) ligação polimérica (AKELAH e MOET, 1990).

(a) Neutralização da carga do polímero

A adição de um polieletrólito de sinal oposto ao da partícula dispersa pode causar floculação, provocando a neutralização de carga por causa da adsorção do polímero na superfície da partícula via ligação eletrostática e conseqüentemente neutralização de carga na partícula. Esta neutralização de carga resulta no abaixamento da repulsão elétrica e por meio disso leva para a floculação da dispersão. Quando um polímero catiônico é adsorvido na superfície de uma partícula, ele neutraliza as cargas positivas e fornece excesso de carga catiônica para compensar por outro sítio de carga negativa na superfície. Desta maneira o polímero adsorve na superfície da partícula nos grupos ativos do polímero, formando grupos ativos positivos envolvidos por regiões superficiais de sítios negativos. Este mosaico de áreas de superfície positivas e negativas então admite uma atração eletrostática direta entre as partículas (AKELAH e MOET, 1990).

(b) Ligação Polimérica

Um polímero iônico ou um polieletrólito de mesmo sinal como as partículas podem causar floculação por ligação. Polímeros solúveis em água podem ligar-se a uma partícula da superfície por uma variedade de mecanismos, incluindo ligações eletrostáticas, ligações hidrofóbicas, ligações de van der Waals e um grupo de interação físico-químicas específicas provenientes de ligações de hidrogênio para ligações covalentes.

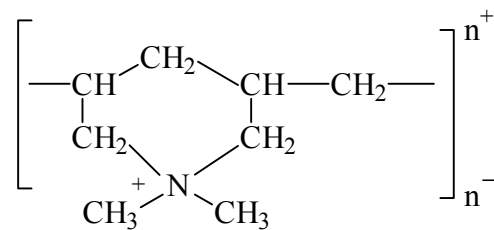
Quando moléculas de um polímero muito longo são adsorvidas na superfície de partículas, elas tendem a formar laços que se estendem a alguma distância da superfície dentro da fase aquosa. Estes laços e a extremidade podem juntar mais uma partícula para formar uma ligação entre as duas partículas.

Uma interessante aplicação industrial de agentes poliméricos é a filtração e descoloração de vários tipos de lodos, como bentonita, goma de cereal e minério de urânio. Floculação por polímeros é também importante no tratamento de água residuária e na melhora da estrutura da matéria em decomposição por causa dos melhores resultados obtidos (AKELAH e MOET, 1990).

3.6.7. Polieletrólitos

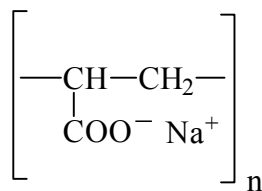
Os polieletrólitos são polímeros de cadeia molecular longa que podem apresentar, quando adicionados na água, um número de cargas muito grande, distribuídos ao longo desta cadeia. Quando estas cargas forem positivas o polieletrólito é chamado de catiônico, quando negativas, aniônico, podendo ainda ser não iônico (AKELAH e MOET, 1990). Abaixo são mostrados exemplos de polímeros catiônico, aniônico e não iônico:

- polímero catiônico



polidialil-dimetil amônia

- polímero aniônico



Poliacrilato de sódio

- polímero não iônico

Os polieletrólitos catiônicos podem ser usados sem a aplicação do coagulante primário (para os tipos de água mais comuns) o que não se poderá fazer quando se tratar de aniônicos ou não iônicos. Eles ainda podem baixar o Potencial Zeta a valores bastante reduzidos e ainda promover a floculação. Os aniônicos e não iônicos,

apresentam grande poder de floculação, mas não gozam das características favoráveis de carga, dos catiônicos.

Uma pequena dosagem destes produtos, pode reduzir bastante o consumo de coagulantes e observa-se melhoras na decantação e filtração. Algumas experiências realizadas na cidade de Rio Claro (SP) mostraram que se pode reduzir razoavelmente o consumo de Sulfato de Alumínio e Cal, com ligeira redução dos gastos com produtos químicos, quando se usa polieletrólito. Além das vantagens que se tem na melhoria da decantação e filtração, tem-se grande redução do volume de lodo nos decantadores, em vista dos flocos serem mais compactos e da menor quantidade de coagulante empregado (AZEVEDO, et al., 1979).

Como no Brasil ainda não há estudos específicos sobre os efeitos fisiológicos desses produtos, recomenda-se a obediência aos limites máximos de dosagem, estabelecidos pela Environmental Protection Agency – EE.UU. (AZEVEDO, et al., 1979)

3.6.8. O Conceito de Gradiente de Velocidade (G), e sua Relação com a Coagulação e Floculação

O agente físico para a realização tanto da coagulação como da floculação é a agitação mais ou menos intensa da água na etapa de mistura, com a denominação de mistura rápida, quando aplicada à coagulação, e mistura lenta quando aplicada à floculação (AZEVEDO NETTO e RICHTER, 1998). Essa agitação da água (mistura), está relacionada com o gradiente de velocidade que é aplicado. Deve-se descobrir qual o melhor gradiente de velocidade a ser usado nas etapas de mistura rápida e lenta, para se obter um bom resultado na remoção da cor e da turbidez.

O conceito de gradiente de velocidade, aplicado particularmente às etapas de mistura rápida e floculação, teve origem nas primeiras teorias sobre a conjunção de partículas, devidas a VON SMOLUCHOWSKI citado em AZEVEDO NETTO e RICHTER (1971), que demonstrou que a taxa de colisão entre as partículas é resultado do movimento do fluido e, portanto controlável. A teoria de Smoluchowski pode ser sumarizada na equação 1:

$$J_{ij} = 4/3 \ n_i \ n_j \ (Y_{ij})^3 \ dv/dy \quad (1)$$

Onde:

i = partículas de cor e de turbidez

j = partículas do floco já formado

J_{ij} = número de colisões por unidade de tempo entre as partículas (i) e as partículas (j);

$n_i n_j$ = concentração de partículas (i) e (j);

Y_{ij} = distância de colisão igual à soma dos raios das partículas;

dv/dy = gradiente de velocidade

O gradiente médio de velocidade, comumente representado pela letra G , pode ser facilmente calculado pela equação de Camp e Stein, cuja dedução é apresentada a seguir.

Considerar um elemento de fluido $\Delta X \Delta Y \Delta Z$ (Figura 7), sujeito à agitação hidráulica ou mecânica no processo de mistura. A potência dissipada é o produto da força de viscosidade pela velocidade, ou

P = tensão de cisalhamento (τ) x área ($\Delta X \Delta Z$) x velocidade (Δv)

$P = \tau \Delta X \Delta Y \Delta Z \Delta v / \Delta Y$

Sendo $\Delta X \Delta Y \Delta Z = \Delta V$, volume do elemento de fluido, no limite

$P/V = \tau dv/dy$ (2)

Onde P/V é a potência dissipada por unidade de volume.

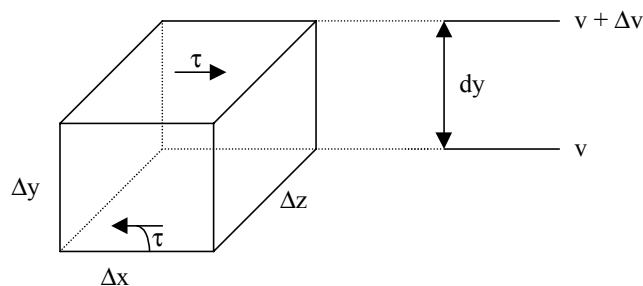


Figura 7 – Representação de um elemento de fluido $\Delta X \Delta Y \Delta Z$

Fonte: AZEVEDO NETTO e RICHTER, 1998

Para um líquido newtoniano $\tau = \mu dv/dy$, onde μ é o coeficiente de viscosidade dinâmica. Substituindo τ na equação anterior, resulta

$P/V = \mu (dv/dy)^2$ (3)

Ou, explicitando dv/dy ($= G$) :

$$G = \sqrt{P / \mu V} \quad (4)$$

A potência P pode ser calculada em função da perda de carga em dispositivos de mistura hidráulica, seja em condições de fluxo laminar ou turbulento (AZEVEDO NETTO e RICHTER, 1998).

3.7. Decantação

Entre as impurezas contidas nas águas naturais encontram-se partículas em suspensão e partículas em estado coloidal. Partículas mais pesadas do que a água podem se manter suspensas nas correntes líquidas pela ação de forças relativas à turbulência (efeito da turbulência).

A decantação ou sedimentação é um processo dinâmico de separação de partículas sólidas suspensas nas águas. Essas partículas sendo mais pesadas do que a água, tenderão a cair para o fundo, com uma certa velocidade (velocidade de sedimentação). Anulando-se ou diminuindo-se a velocidade de escoamento das águas reduzem-se os efeitos da turbulência, provocando-se a deposição de partículas.

Os decantadores ou as bacias de sedimentação são tanques onde se procura evitar ao máximo a turbulência (movimento tranquilo), (AZEVEDO et al., 1979).

3.7.1. Velocidade de Sedimentação

As partículas relativamente grandes (diâmetro ou tamanho acima de 10 cm) precipitam-se com um movimento acelerado, de acordo com a lei de Newton (queda dos corpos). As partículas relativamente pequenas (diâmetro inferior a 0,1 mm), no seu movimento de deposição (queda), atingem um regime de equilíbrio e apresentam uma velocidade constante. As partículas extremamente pequenas, da ordem de um milésimo de mm e menores, são objeto do movimento browniano contínuo, não sendo sedimentáveis.

Para a remoção de partículas coloidais recorre-se a precipitação química (coagulação), (AZEVEDO et al., 1979).

3.8. Filtração

A filtração consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais e de microorganismos presentes na água que escoam através de um meio poroso. Em geral a filtração é o processo final de remoção de impurezas realizado numa Estação de Tratamento de Água e, portanto principal responsável pela produção de água com qualidade condizente com os Padrões de Potabilidade (DI BERNARDO, 1993).

3.9. Algas e suas Influências na Qualidade das Águas e nas Tecnologias de Tratamento

3.9.1. Considerações Iniciais

O plâncton consiste na comunidade que vive na água e é caracterizado por organismos de pequeno tamanho, desde alguns micrômetros até poucos milímetros, e que possuem pouca capacidade de locomoção. Os organismos mais representativos do plâncton compreendem as algas, bactérias, protozoários, rotíferos, ciliados, copépodos e algumas larvas. O plâncton geralmente constitui a unidade básica da produção de matéria orgânica dos ecossistemas aquáticos.

De acordo com sua natureza, o plâncton encontra-se dividido em três categorias: bacterioplâncton, fitoplâncton ou plâncton vegetal e zooplâncton animal. A distinção às vezes não é clara, pois as formas flageladas fotossintetizadas são consideradas como fitoplâncton por alguns autores e como zooplâncton por outros. Os fisiologistas consideram as cianofíceas como bactérias (cianobactérias) e os taxonomistas as consideram como algas azuis. Quanto ao tamanho e levando-se em conta suas medidas lineares, o plâncton é classificado em macroplâncton (organismos maiores que 500 μm), microplâncton (organismos com tamanho entre 0,5 e 10 μm). Dependendo do objetivo do estudo a ser realizado, a obtenção de amostras do plâncton nos ambientes aquáticos é efetuada por intermédio de redes com malhas de diferentes aberturas, geralmente de 10 a 25 μm ou é realizada a coleta de amostras de água que são posteriormente submetidas a centrifugação. Quando provenientes de lagos, o plâncton é denominado limnoplâncton.

Os grupos mais importantes do zooplâncton que tem significado sanitário e que também podem influir nas tecnologias de tratamento são: protozoários, rotíferos e

crustáceos (cladóceros e copépodos). Embora tais organismos apresentem papel importante na vida plânctônica, algumas espécies de algas do fitoplâncton são realmente os organismos que mais afetam o tratamento da água destinada ao consumo humano (DI BERNARDO, 1995).

3.9.2. Influência das Algas nas Tecnologias de Tratamento de Água

Para os liminólogos, a identificação dos organismos fitoplanctônicos em categorias taxonômicas específicas é essencial para o conhecimento da estrutura e funcionamento dos ecossistemas aquáticos, enquanto que para os engenheiros sanitaristas, é fundamental o conhecimento dos gêneros e de algumas espécies das algas dominantes, pois algumas afetam a qualidade da água por produzirem odor e sabor, outras por influírem significativamente na coagulação química, decantação e filtração e outras por serem tóxicas ao ser humano ou por produzirem subprodutos metabólicos que, em presença de cloro, formam compostos cancerígenos (DI BERNARDO, 1995).

Mostaremos aqui apenas (Tabela 3), as espécies de algas que interferem na coagulação. As algas podem ainda causar problemas adicionais como, corrosão, crescimento em tubulações e ser tóxicas ao ser humano.

Tabela 3 - Algas que interferem na coagulação

<i>Algas</i>	<i>Grupo Algal</i>
Anabaena	Azul
Asterionella	Diatomácia

Euglena	Flagelado
Gomphosphareia	Azul
Synedra	Diatomácea

Fonte: PALMER, 1958.

3.10. O Coagulante Sulfato de Alumínio

O sulfato de alumínio é o coagulante mais usado no tratamento de água potável pois o mesmo é fácil de transportar e de manejar. Seu custo é baixo, e é produzido em várias regiões brasileiras.

É obtido pelo ataque do ácido sulfúrico sobre a bauxita, resultando um produto cuja fórmula é $Al_2(SO_4)_3$. Dependendo do método de fabricação e da qualidade da bauxita utilizada, o produto apresenta maior ou menor grau de pureza. Ainda dependendo do método de fabricação, poderá resultar sulfato de alumínio sólido ou em solução. Quando sólido, é constituído de cristais que podem se aglomerar, formando blocos de material amorfo (COTTON e GEOFFREY, 1978).

O sulfato de alumínio sólido usado no tratamento de água, é obtido nesse estado pela secagem da solução resultante após o ataque da bauxita pelo ácido sulfúrico, aproveitando-se, para isso, o calor desenvolvido pela própria reação. O sulfato de alumínio se cristaliza com 18 moléculas de água, porém o sulfato comercial apresenta a fórmula aproximada de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3 H_2O$. Um produto puro apresenta 17,0 a 17,2 % de alumina e cerca de 42,4% de água de cristalização (COTTON e GEOFFREY, 1978).

3.10.1. Efeitos Adversos ao Homem

Segundo SJOEGREN citado por dictionary of substances and their effects (1992), em 1988 uma substância quantitativa de sulfato de alumínio foi acidentalmente jogada num estoque de água potável para o suprimento de 20.000 pessoas nas vizinhanças da Camelford, UK. A exposição da água com sulfato de alumínio causou um fornecimento de água com pH de 3,9 a 5,0 e foi estimado que alguns consumidores receberam concentrações de 10-50 mg/L. Esse incidente causado na água trouxe sérios problemas a saúde da população tais como: distúrbios gastrointestinais, erupções na pele e úlceras.

Um estudo foi realizado para determinar o nível de alumínio no sangue e na urina de trabalhadores envolvidos na produção de sulfato de alumínio. Todos os trabalhadores tinham elevado significativamente a concentração no sangue e na urina, do que um grupo de controle que não ficou exposto.

A ingestão do sulfato de alumínio, pode resultar em úlcera e necrose da mucosa, garganta e esôfago. O efeito sistemático inclui náusea, vômito, diáreia, dor epigástrica, ânsia, gastroenterite hemorrágica e colapso circulatório (desmaio), (CLAYTON, et al., 1989).

3.10.1.1. Relação do Sulfato de Alumínio com o mal de Alzheimer

O uso do sal de alumínio para o tratamento de feridas, doenças gastrointestinais e purificação de água prolonga-se desde os tempos romanos. A primeira investigação da possível toxicidade de alumínio refere-se que, o ponto de ataque de envenenamento do alumínio é no sistema nervoso central. Entretanto, observações realizadas mostraram que a região neocortical do cérebro afetada pelo mal de Alzheimer comparado com um grupo de controle, aumentou a possibilidade de que as propriedades neurotóxicas do alumínio são capazes de atuar como um promotor para a doença de Alzheimer (McLACHLAN, 1995).

A idéia que o alumínio (Al), tem um poder promotor para o mal de Alzheimer, tem ficado forte com o curso clínico de uma experimental encefatopatia induzida de Al que assemelha-se ao desenvolvimento de sinais em mal de Alzheimer. Quando a concentração de Al no cérebro é aumentada numa ordem de magnitude acima da concentração mínima letal em animais de laboratório, há um prolongamento do período assintomático, mostrando deficits em um curto prazo de retenção e aquisição de resposta prévia para alterações no controle e discriminação sensorial. Esses defeitos são apresentados por alterações no tom do músculo e desordens no controle motor que não tratado resulta em morte. A progressão clínica em certos modelos de laboratório como gatos e ratos é similar, entretanto de pequena duração para que se observe casos de mal de Alzheimer (McLACHLAN, 1995).

A manifestação particular da neurotoxicidade do Al pode ser relatada para um raio iônico de 0,51 Å e alta carga (+3), que contribui para a relativa dissociação de ligantes

biológicos, excedendo para 10^5 o tempo de dissociação para metais envolvendo complexos biológicos como Na, K e Mg. Mais que 200 interações tóxicas com tecido nervoso tem sido identificado.

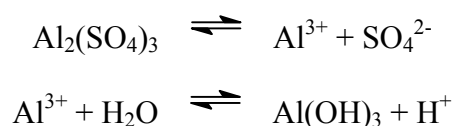
Essas observações suportam a idéia que o Al é um possível fator patogênico de mal de Alzheimer desde que o metal produza uma progressão clínica nos sinais neurológicos incluindo deficits na memória e alterações elétricas neuronal. Em animais de laboratório a concentração de Al encontrada é na mesma região cerebral do mal de Alzheimer.

O Al não é o causador principal do mal de Alzheimer, mas é responsável por várias transformações moleculares que causam o progresso da doença (McLACHLAN, 1995).

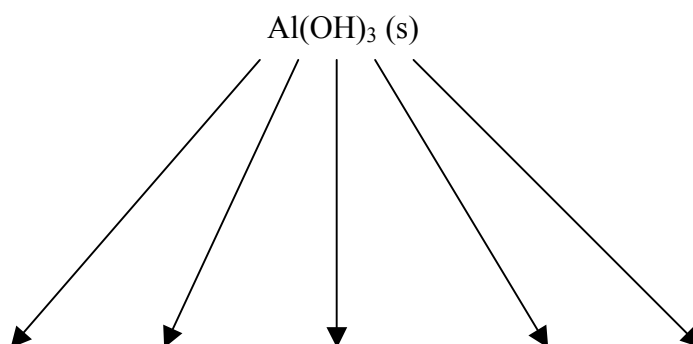
3.10.2. Comportamento químico do Sulfato de Alumínio em meio aquoso

Quando um sal de alumínio é adicionado em meio aquoso, ocorre inicialmente a sua dissociação, seguida pela reação com a água, de modo a permitir a formação de espécies mononucleares e polinucleares. Numerosos estudiosos tem se dedicado a elucidar quais espécies hidrolizadas seriam formadas preferencialmente; no entanto, não há ainda um processo sobre quais são as espécies preponderantes, existindo ainda muita controvérsia sobre o assunto (FERREIRA e LAGE, 1996).

Segundo BURRIEL et al (1994), o sal de alumínio ao se dissociar e reagir com água forma o hidróxido de alumínio, segundo as reações abaixo:



O $\text{Al}(\text{OH})_3$ se dissolve um pouco em água originando, fundamentalmente, as espécies Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ e AlO_2^-





Pode-se facilmente calcular a concentração de cada uma das espécies em equilíbrio com o precipitado de Al(OH)_3 , em qualquer pH, conhecendo as constantes correspondentes.

$$\beta_1 = \frac{[\text{Al(OH)}^{2+}]}{[\text{Al}^{3+}] [\text{OH}^-]} = 10^9; \quad \beta_2 = \frac{[\text{Al(OH)}_2^+]}{[\text{Al}^{3+}] [\text{OH}^-]^2} = 10^{18,7}$$

$$\beta_3 = \frac{[\text{Al(OH)}_3]}{[\text{Al}^{3+}] [\text{OH}^-]^3} = 10^{27}; \quad \beta_4 = \frac{[\text{AlO}_2^-]}{[\text{Al}^{3+}] [\text{OH}^-]^4} = 10^{33}$$

$$K_s = [\text{Al}^{3+}] [\text{OH}^-]^3 = 10^{-33,5}$$

E substituindo o valor de $[\text{Al}^{3+}]$ em β_1 , β_2 , β_3 e β_4 obtém-se as equações logarítmicas para as demais espécies:

$$[\text{Al(OH)}^{2+}] = \beta_1 [\text{Al}^{3+}] [\text{OH}^-] = 10^9 \cdot \frac{10^{-33,5}}{[\text{OH}^-]} [\text{OH}^-]$$

$$\log [\text{Al(OH)}^{2+}] = 3,5 - 2\text{pH}$$

$$[\text{Al(OH)}_2^+] = \beta_2 [\text{Al}^{3+}] [\text{OH}^-]^2 = 10^{18,7} \cdot \frac{10^{-33,5}}{[\text{OH}^-]^3} [\text{OH}^-]^2$$

$$\log [\text{Al(OH)}_2^+] = -0,8 - \text{pH}$$

$$[\text{Al(OH)}_3] = \beta_3 [\text{Al}^{3+}] [\text{OH}^-]^3 = 10^{27} \cdot \frac{10^{-33,5}}{[\text{OH}^-]^3} [\text{OH}^-]^3$$

$$\log [\text{Al(OH)}_3] = -6,5$$

$$[\text{AlO}_2^-] = \beta_4 [\text{Al}^{3+}] [\text{OH}^-]^4 = 10^{33,0} \cdot \frac{10^{-33,5}}{[\text{OH}^-]^3} [\text{OH}^-]^4$$

$$\log[\text{AlO}_2^-] = -14,5 + \text{pH}$$

Representando estas cinco retas em um diagrama log C-pH se obtém o diagrama de solubilidade, e através deste, encontra-se em qualquer valor de pH, o valor da concentração de cada uma das espécies solúveis em equilíbrio com o precipitado de $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Por outro lado, como a solubilidade é a soma de todas as espécies em solução.

$$S = [\text{Al}^{3+}] + [\text{Al}(\text{OH})^{2+}] + [\text{Al}(\text{OH})_2^+] + [\text{Al}(\text{OH})_3] + [\text{AlO}_2^-]$$

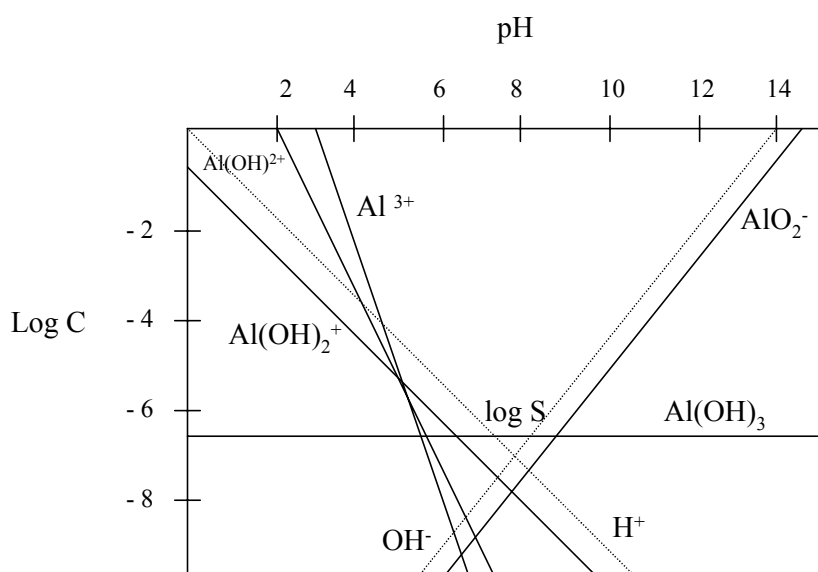


Figura 8- Diagrama de solubilidade das espécies de alumínio em função do pH

Pode-se comprovar no gráfico que o precipitado de $\text{Al}(\text{OH})_3$ se dissolve em meios ácidos originando fundamentalmente Al^{3+} , também se dissolve em meios básicos formando AlO_2^- . A solubilidade mínima do $\text{Al}(\text{OH})_3$ se representa para valores de pH compreendidos entre 6,5 e 7,5. Observa-se que a espécie solúvel $\text{Al}(\text{OH})_3$, que contém a mesma estequiometria do precipitado tem uma concentração constante $10^{-6,5}$ mol/L, sempre que exista precipitado, em toda margem de pH.

Neste gráfico pode também ser determinado a solubilidade do $\text{Al}(\text{OH})_3$ em água. Como se tem que cumprir o balanço de cargas:



comprova-se no gráfico em que ponto se cumpre este balanço, e isto ocorre para:

$$[\text{H}^+] \sim [\text{OH}^-]; \text{pH} \sim 7; S = 10^{-6,5} \text{ mol/L}$$

A dissolução do $\text{Al}(\text{OH})_3$ em água não comunica caráter ácido nem básico a solução, devido a pequena concentração de íons que libera (BURRIEL et al., 1994).

3.11. O Biopolímero Quitina (QTI)

A quitina foi descrita pela primeira vez por Henry Braconnot (1811), professor de História Natural e membro da Academia de Ciências de Nancy, na França. Em seus estudos sobre a química dos fungos, ele tratou a espécie *Agaricus Volvaceus* e outros cogumelos com álcali a quente e isolou quitina, possivelmente muito contaminada com proteínas (MUZZARELLI, 1977).

A partir da destilação do produto seco, chamado fungini, ele obteve um líquido que após a destilação com hidróxido de potássio resultava em amônia. Ele afirmou que o termo “fungine” significava conter mais nitrogênio do que a madeira e concluiu que era uma substância completamente distinta daquelas identificadas nas plantas.

Ele chamou essa substância de quitina, palavra de origem grega, significando (túnica, envelope). Mesmo após o fracasso na tentativa de detectar nitrogênio na quitina, ele estabilizou pela primeira vez uma relação entre a cutícula de insetos e o tecido das plantas.

As discussões sobre as diferenças estruturais entre a quitina e celulose teve continuidade por longo tempo, no entanto, essas discussões permitiram um avanço na busca de preciosas informações sobre a estrutura química, propriedades, reatividade, desse interessante polímero natural que tem fascinado cientistas no mundo a longo tempo.

Muito mais tarde, a publicação do livro clássico, “Chitin” (1977), pelo professor de Química na Faculdade de Medicina da Universidade de Ancona, Itália, Ricardo Muzzarelli, marca um ponto importante sobre a história da química da quitina, vindo a esclarecer muito das suas propriedades e também depositando profundas esperanças sobre a dimensão que este biopolímero poderá vir a ocupar na química da humanidade (FURLAN, 1997).

A quitina é um polímero natural, e é muito semelhante a celulose, encontrada em muitas espécies de animais marinhos e plantas inferiores. Ela está localizada em toda a parede celular de leveduras e exoesqueleto de invertebrados como camarão, siri, caranguejos e insetos. Sua obtenção comercial é principalmente a partir de cascas de crustáceos, disponíveis em grandes quantidades no processamento da indústria pesqueira. Sua unidade básica é o monômero N-acetilglicosamina, sendo portanto chamada de: β -(1-4)-2-acetamido-2-desoxi-D-glicose, o grau de N-acetilação é variável, estando na faixa de 90% (FURLAN, 1997). A Figura 9 mostra a estrutura química da quitina:

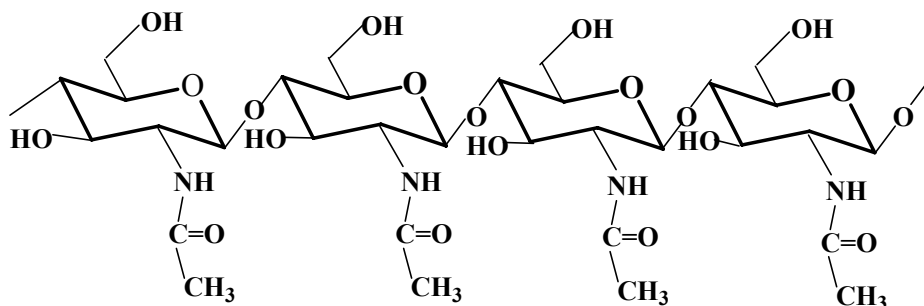


Figura 9 – Estrutura da Quitina

Segundo LUYEN e ROSSBACH citado por GACÉN (1996), a quitina é insolúvel em água, solventes orgânicos e também em alcális ou ácidos diluídos. Na década de 70 se descobriu que a quitina era solúvel em N,N'-dimetilacetamida com 5% de cloreto de lítio. Outros solventes citados são o ácido fórmico, ácido metanolsulfônico, exafluorisopropanol e uma mistura de 1,2-dicloroetano e ácido tricloroacético (35/65).

3.12. O Biopolímero Quitosana (QTS)

O derivado mais importante da quitina é a quitosana, a qual é obtida por uma reação de hidrólise alcalina da quitina, resultando assim num biopolímero constituído predominantemente de unidades de β -(1-4)-2-amino-2-desoxi-D-glicose, apresentando em sua cadeia aproximadamente 70-90% de grau de desacetilação (FURLAN, 1997). A figura 10 mostra a estrutura química da quitosana.

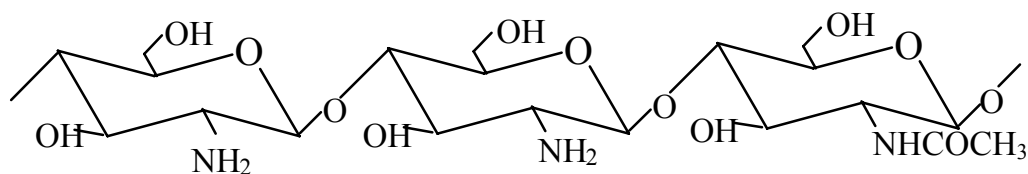


Figura 10– Estrutura da quitosana

A transformação da quitina em quitosana modifica suas propriedades, de modo que a quitosana é insolúvel em água, e solúvel na maior parte dos ácidos orgânicos, como por exemplo o ácido acético e fórmico e também em ácidos inorgânicos como HCl (MATHUR E NARANG, 1990).

A quitosana se diferencia quimicamente da quitina por apresentar um grupo amino no C-2, isto confere ao polímero propriedades quelantes e de troca iônica (MUZZARELLI, 1977). Este polímero desperta interesse econômico, visto que a quitina é o segundo polímero mais abundante na natureza. A quitosana é muito mais reativa que a quitina. Pode ser definida como uma poliamina linear de alto peso molecular com os grupos amino e hidroxila reativos.

Uma série de trabalhos tem sido realizado empregando a quitosana como adsorvente para remoção de metais, corantes e fenóis de efluentes industriais (YANG e ZALL, 1984, JUANG et al., 1997, RHEE, et al., 1998 e KIMURA et al., 1999). Uma outra alternativa é o polímero atuar como polieletrólito catiônico na coagulação da matéria coloidal de água potável (HUANG e CHEN, 1996). Os grupos amino da cadeia polimérica da quitosana podem ser protonados e atuar em solução como polieletrólito catiônico, para coagulação da matéria coloidal. O polieletrólito pode ser floculado por uma simples diluição com um grande volume de água, por adição de um ânion multivalente ou por uma reação de neutralização. Quitosana pode também ser usada para aumentar a ação de coagulantes inorgânicos como sulfato de alumínio, e atuar como polieletrólito auxiliar, resultando no abaixamento da dose de cada composto.

3.12.1. Usos Diversos da Quitosana

A quitosana está sendo muito usada em países como Japão, China, Índia e Estados Unidos. A China, Japão e a Índia são os maiores produtores de quitosana do mundo. A quitosana tem várias aplicações e pode ser usada na indústria farmacêutica, indústria de alimentos, indústria de couro e celulose, na medicina, em revelações fotográficas, na indústria têxtil e na agricultura. Nos Estados Unidos a Agência de Proteção Ambiental (EPA) tem dado uma provisória aprovação da dose de quitosana para tratamento de água potável, abaixo de 10 mg/L na água (MATHUR e NARANG, 1990).

3.12.2. Tratamento de Água com Quitosana (Coagulação de Partículas Coloidais)

Já que a maioria das impurezas coloidais na água carregam cargas negativas, coagulantes catiônicos são geralmente usados para o tratamento de água e efluentes industriais. Como a QTS, em pH apropriado é um polícatión, seu acoplamento a outras estruturas de carga contrária, pode gerar aplicações no tratamento de água. Segundo DAVIDSON citado por MATHUR E NARANG (1990), os polissacarídeos catiônicos comuns usados para essa finalidade, tem um grau de substituição (D.S. é o número de grupos substituintes por repetição de unidade) que raramente excedem a 0,3. Em contraste, a quitosana tem um grupo amino em cada unidade de glucose. Por essa razão ela tem um alto potencial para coagulação da matéria coloidal.

Existem alguns estudos e artigos publicados sobre o uso da quitosana para coagulação de partículas coloidais na água. O artigo de HUANG E CHEN (1996), mostrou um estudo de ensaios de Jar Test usando solução de quitosana 1% (m\v), para remover a turbidez de uma suspensão sintética de kaolinita e bentonita e suspensão natural, através do processo de coagulação-floculação-decantação. Para analisar a eficiência da quitosana, foram realizadas análises de turbidez, pH e potencial zeta. As análises mostraram que a quitosana foi um potente coagulante para suspensão de bentonita e sua ótima dosagem ($1\text{mg}/\text{dm}^3$) teve uma relação linear com a turbidez da água bruta. Contudo a quitosana não formou um bom agregado com kaolinita e com partículas naturais. A fonte e as propriedades das partículas existentes na água bruta têm uma grande influência na eficiência da coagulação por quitosana. A partir daí, foi

sugerido que a suspensão de kaolinita precisava de partículas adicionais de bentonita (coagulante adicional), para aumentar a eficiência da quitosana na remoção da turbidez.

PAN et al (1999), também estudaram a eficiência da quitosana como coagulante de partículas colidais. Em seus estudos, analisaram a eficiência da quitosana sozinha (QTS), cloreto de polialumínio sozinho (PACl) e QTS/PACl em várias proporções. Utilizaram água sintética (mistura de kaolinita e bentonita) e água deionizada onde adicionaram NaClO_4 para manter a força iônica a 10^{-2} N. Foram realizados vários ensaios de Jar test usando coagulação/floculação/decantação. A eficiência dos coagulantes sozinhos e da mistura de ambos, foi avaliada em termos do diâmetro do floco, turbidez residual e velocidade de sedimentação. A coagulação de partículas coloidais da água sintética por quitosana e PACl, mostrou que com a quitosana sozinha, a dosagem ótima exigida foi menor e também produziu flocos grandes e com alta velocidade de sedimentação. Resultados satisfatórios também foram obtidos da mistura de QTS/PACl na razão de 4:1. Menos coagulante foi exigido para água mais ácida, contudo produziu flocos menores. Concluíram também que aumentado o gradiente de velocidade durante a mistura rápida pode ocorrer um redução da dosagem ótima. A coagulação de bentonita, kaolinita e água deionizada mostrou que as propriedades das partículas coloidais são importantes na coagulação por quitosana. Os resultados de coagulação da água deionizada sugeriu que usando quitosana e PACl juntos no processo de tratamento de água, pode levar a um abaixamento do custo.

HUANG et al (2000), realizaram um estudo de ensaios de Jar Test com água sintética para avaliar a eficiência da coagulação com quitosana preparada a diferentes concentrações de ácido acético e ácido clorídrico e vários graus de tratamento alcalino. Os resultados obtidos recomendaram que a ótima condição de pré-tratamento para

preparar o coagulante quitosana é a desacetilação da quitina com 45% de NaOH, durante 60 minutos e dissolução da quitosana resultante com HCl 0,1%.

Esses estudos mostraram que a quitosana pode ser usada para a coagulação de partículas coloidais, mas que as propriedades das partículas são importantes na coagulação.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Considerações Gerais

A parte experimental foi realizada em 3 etapas. A primeira etapa foi realizada no Laboratório do Grupo de Pesquisas em Quitina e Aplicações Tecnológicas – QUITTECH,

do Departamento de Química, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A segunda realizou-se na Estação de Tratamento de Águas e Saneamento (CASAN), da grande Florianópolis-SC. A terceira etapa no Laboratório Integrado do Meio Ambiente (LIMA), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Na primeira etapa houve a preparação e caracterização da quitosana (QTS). Nas etapas seguintes (2 e 3) foram realizados ensaios de Jar Test usando solução de quitosana 1% (m/v) como coagulante no tratamento de água de rio de baixa turbidez e água de Lago, e solução 0,1% (m/v) como polieletrólito auxiliar ao sulfato de alumínio (S. A.), na água de rio de baixa turbidez. Como alcalinizante foi usado solução de cal 0,3% (m/v). Também usou-se como coagulante o sulfato de alumínio, para ser um comparativo aos resultados obtidos com a quitosana.

4.2. Proposta de Tratamento

Para o tratamento das águas de rio de baixa turbidez e de lago foram usadas 4 etapas de tratamento (coagulação-floculação-decantação-filtração), sendo que cada etapa passou por um processo de otimização, para se determinar as melhores condições de tempo de mistura, gradiente de velocidade e tempo de decantação.

4.3. Preparação da Quitosana

A quitosana foi preparada segundo o método de Yao e colaboradores (1994), a partir da hidrólise alcalina de 10 g de quitina com solução de NaOH 50% (m/v) a 100^oC, permanecendo 3 horas e 30 minutos sob agitação. Após, a solução foi deixada em repouso a temperatura ambiente durante 26 horas. O material foi separado da solução por filtração e lavado com água destilada até pH próximo de 7. A quitosana foi secada a 60^oC durante 24 horas numa estufa.

4.3.1. Caracterização da Quitosana no Infravermelho

Os espectros de infravermelho foram obtidos em pastilha de KBr e foram realizados em um aparelho FT Infrared Spectrophotometer marca Perkin-Elmer 16 PC.

4.3.2. Determinação do Grau de Desacetilação da Quitosana (% NH₂)

Para determinar o grau de desacetilação da quitosana usou-se um condutímetro B 330 da Micronal.

Foi transferido 200 mg de QTS pulverizada , 450 mL de NaCl 0,001 M e 5 mL de HCl 1M para um béquer. A partir daí titulou-se com NaOH padrão 0,1 M sob atmosfera de N₂. A titulação foi repetida por mais duas vezes, e após as titulações construiu-se um gráfico de condutância X volume de NaOH.

Obs: Para melhor visualização dos pontos no gráfico, deve-se adicionar na titulação 0,5 mL de solução de NaOH 0,1 M a cada 20 segundos.

4.4. Preparação da Solução de Quitosana 1% (m/v)

Foi preparado 100 mL de solução, dissolvendo 1g de quitosana em ácido acético 5% (m/v).

4.5. Preparação da Solução de Quitosana 0,1% (m/v)

Foi preparado 100 mL de solução, dissolvendo 0,1g de quitosana em ácido acético 5% (m/v).

4.6. Preparação da Solução de Cal 0,3% (m/v)

Foi preparado 100 mL de solução, dissolvendo 0,3 g de cal comercial utilizado pela CASAN em água destilada.

4.7. Preparação da Solução de Sulfato de Alumínio 1% (m/v)

Foi preparado 100 mL de solução, dissolvendo 1 g de sulfato de alumínio em água destilada.

4.8. Água Bruta

Foram utilizados 2 tipos de água bruta, uma de um rio, em período de tempo bom, e outra de um lago de água doce.

A água de rio utilizada foi proveniente da mistura de 50% do Rio Vargem do Braço e 50% do rio Cubatão Sul, considerado com grande poluição. A figura 11 mostra o diagrama unifilar da bacia do rio Cubatão Sul.

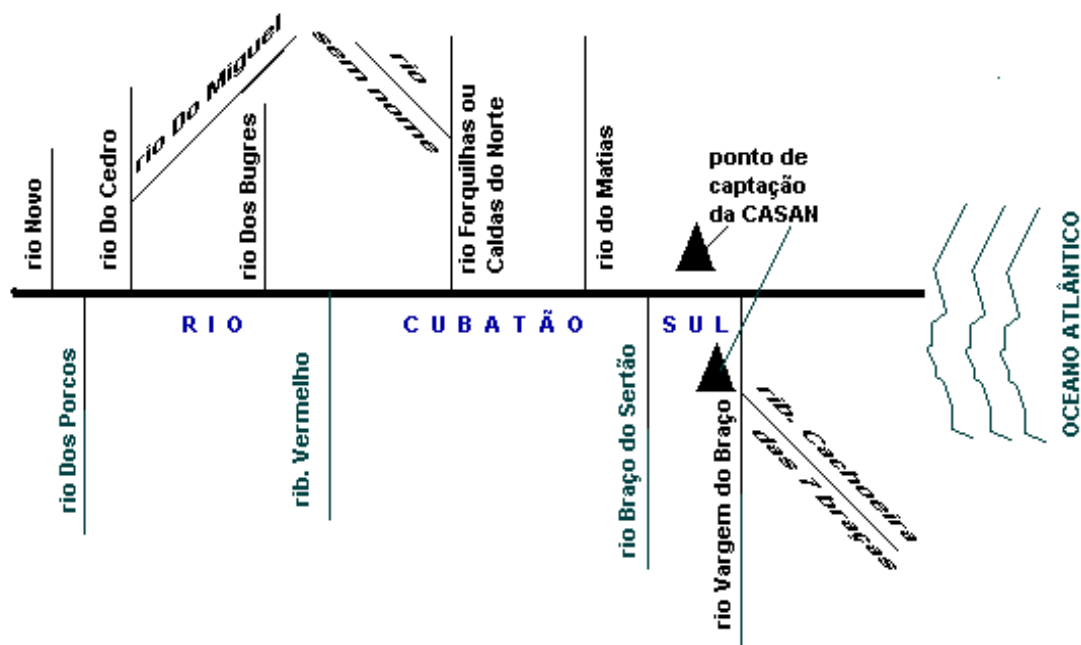


Figura 11- Diagrama unifilar da bacia do rio Cubatão Sul

A água do lago é proveniente da Lagoa do Peri, que é uma lagoa com pouca concentração de turbidez e bastante cor e algas em certos períodos do ano. Segundo dados obtidos da Fundação Municipal do Meio Ambiente (FLORAM), o abastecimento da Lagoa é devido a presença de dois rios principais que ficam nos morros próximos a Lagoa, mas existem ainda a contribuição de rios menores. A Lagoa está a 2 m acima do nível do mar e há uma grande variedade de peixes, aproximadamente 15 espécies. Atualmente a CASAN retira 30 % da água da Lagoa que abastece todo o Sul da Ilha. O órgão que fiscaliza a Lagoa é a FLORAM. A figura 12 mostra uma foto da lagoa do Peri.



Figura 12- Foto da Lagoa do Peri

As características das águas usadas são mostradas na Tabela 4:

Tabela 4 - Características das águas brutas

<i>Tipo de água</i>	<i>Turbidez média (NTU)</i>	<i>Cor Aparente média (uc)</i>
I	5	50
II	5	20

As águas indicadas na Tabela 4 foram coletadas nos seguintes locais:

Água tipo I : Coletada no tubo de saída da água da Lagoa do Peri que vai para a praia de Armação.

Água tipo II: Estação de Tratamento de Água da Grande Florianópolis.

4.9. Ensaio de Jar Test

Os ensaios foram realizados em Equipamento de Reatores Estáticos (Jar Test), modelo Nova Ética, composto de 6 reatores (jarros) tronco-prismáticos de seção transversal quadrada, de capacidade de 2 litros cada reator, permitindo obter gradientes de velocidade de até 2200 s^{-1} , apresentado na figura 13. A agitação é feita através de agitadores mecânicos.

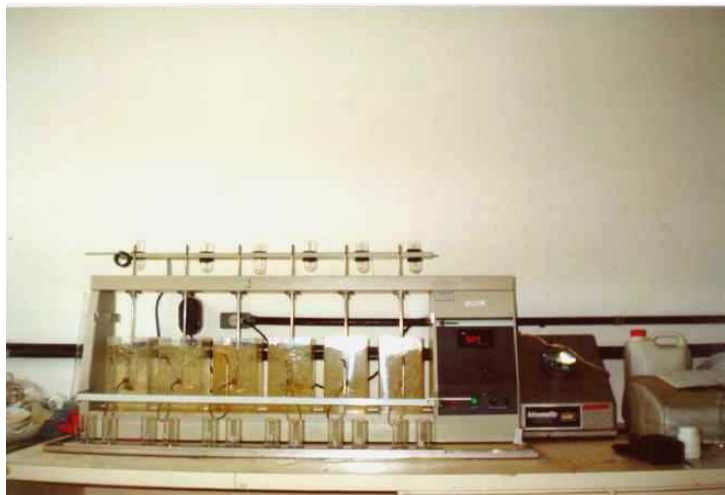


Figura 13- Aparelho de Jar Test usado nos ensaios de coagulação-floculação-decantação

4.9.1. Ensaio de Coagulação-Floculação-Decantação

Para a realização dos ensaios de coagulação-floculação-decantação, testes de jarros foram realizados para determinar as melhores dosagens de coagulante, melhores dosagens de alcalinizante, melhor tempo de coagulação e floculação, melhor pH, melhor gradiente de velocidade e melhor tempo de decantação, obtendo assim a otimização dos parâmetros de tratabilidade para a água em estudo.

(a) Uso da Quitosana como Coagulante na Água de Rio de Baixa Turbidez e Água de Lago (Lago do Peri)

• *Série 1: Determinação do melhor pH e melhor dosagem de quitosana*

Para determinação do melhor pH (dosagem de cal), como da melhor dosagem de coagulante foram realizados 8 ensaios, totalizando 6 jarros por ensaio. Em cada ensaio a variação da concentração de quitosana foi de 0,5 - 1,0 - 1,5 - 2,5 - 4,0 e 5,0 mg/L para cada jarro respectivamente. No primeiro ensaio não foi adicionado alcalinizante (cal) em nenhum dos jarros, no segundo ensaio foi adicionado 0,75 mg/L, no terceiro 1,50 mg/L, no quarto 3,0 mg/L, no quinto 4,50 mg/L, no sexto 6,00 mg/L, no sétimo 7,50 mg/L e no oitavo 9,00 mg/L. A adição do coagulante (coagulação/mistura rápida), foi realizada com os agitadores a 500 rpm ($G = 1200 \text{ s}^{-1}$), mantida durante 30 segundos. Após esse tempo, os agitadores foram levados a 33 rpm ($G = 20 \text{ s}^{-1}$) durante 20 minutos, correspondendo ao período de floculação (mistura lenta), sendo que no final deste tempo os agitadores eram desligados, passando-se à fase de decantação, onde os flocos formados sedimentavam. Nos tempos de decantação de 2',20" e 4',40" foram coletadas amostras a ≈ 7 cm abaixo do nível do efluente, para análises de cor e turbidez da água decantada.

Foram escolhidos 2 pontos de trabalho, (que chamou-se de A1 e A2), e representaram regiões do diagrama de coagulação que forneceram os melhores resultados de remoção de cor e turbidez.

• *Série 2: Otimização da Etapa de Coagulação (Mistura Rápida)*

Escolhidos os melhores pontos A1 e A2, foram realizados 6 ensaios para o ponto A1 (o ponto A2 exigia uma dosagem muito alta de solução de cal e foi desprezado), no qual as dosagens de QTS e cal, bem como o pH de coagulação, já foram definidos para esta série, para escolher o melhor gradiente de velocidade (G) e melhor tempo de mistura rápida (TMR).

As condições de operação foram as seguintes:

✚ Mistura Rápida: o gradiente de velocidade é variável para cada ensaio, sendo $G = 600, 900$ e 1200 s^{-1} respectivamente, e o tempo de mistura rápida, variável para cada

jarro, de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 segundos, respectivamente (a cada 5 segundos uma haste era levantada manualmente).

✚ Flocculação: a mistura lenta foi feita com $G = 20 \text{ s}^{-1}$ (33 rpm), num tempo de 20 min.

✚ Decantação: foram coletadas amostras no tempo de decantação de 2',20" e 4',40", para análise de cor e turbidez.

O tempo de mistura rápida e o G que apresentaram os melhores valores de cor e turbidez, foram escolhidos.

• *Série 3: Otimização da Etapa de Flocculação (Mistura Lenta)*

Foram realizados 6 ensaios com o G e o tempo de mistura rápida escolhidos nos ensaios anteriores. Sendo assim, os parâmetros da mistura rápida, como as dosagens de quitosana, cal e pH de coagulação, estão definidos para esta série.

As condições de operação foram as seguintes:

✚ Mistura Rápida: conforme definido na série 2.

✚ Flocculação: para cada ensaio foi variado o gradiente de velocidade (G). Os gradientes foram de 10, 20, 30, 40, 65, e 75 s^{-1} respectivamente. Para cada jarro o tempo de flocculação variou: 10, 15, 20, 30, 45 e 60 minutos respectivamente.

✚ Decantação: foram coletadas amostras nos tempos de 2',20" e 4',40", para análise de cor e turbidez.

De acordo com os jarros que melhores resultados obtiveram em termos de cor e turbidez, foram escolhidos os melhores gradientes e o tempo de flocculação.

• *Série 4: Determinação dos Gradientes de Velocidade (G) para cada câmara do floculador*

Segundo a metodologia proposta por DI BERNARDO, PÁDUA E LIBÂNIO (1998), para a determinação dos gradientes de velocidade para cada câmara do floculador, foram realizados 4 ensaios para se determinar a melhor sequência de G. As condições de operação foram as seguintes:

✚ pH, dose de cal e quitosana escolhidos na série 1

✚ tempo de mistura rápida e G escolhidos na série 2

✚ tempo de mistura lenta escolhido na série 3

✚ No primeiro ensaio o G aplicado foi de 75 - 40 - 30 - e 20 s⁻¹. Sendo que no tempo total de 30 minutos, cada jarro ficou 7 minutos e 30 segundos com um G diferente.

✚ No segundo ensaio o G aplicado foi de 75 - 40 - 30 e 20 s⁻¹. No terceiro de 50 - 40 - 30 - e 20 s⁻¹ e no quarto de 40 - 20 - 20 - e 20 s⁻¹.

✚ Decantação: foram coletadas amostras nos tempos de 2',20" e 4',40", para análise de cor e turbidez.

A sequência de G que forneceu o melhor resultado de turbidez e cor foi escolhida.

• *Série 5: Determinação do melhor Tempo de Decantação (Td)*

Foram realizados 3 ensaios com a melhor sequência de G encontrada na série 4, e com os parâmetros encontrados nas séries 3, 2 e 1. O tempo de decantação variou de 1',20", 2', 3',36" e 7',27". Após esses tempos foram feitas leituras de cor e turbidez das amostras decantadas e filtradas.

O tempo de decantação que forneceu o melhor resultado de cor e turbidez foi escolhido.

(b) Uso da Quitosana como Polieletrólito Auxiliar ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Água de Rio de Baixa Turbidez.

Neste caso usou-se o sulfato de alumínio como coagulante (solução 1% (m/v)), a cal como alcalinizante e a quitosana como polímero auxiliar de floculação.

Primeiramente determinou-se a melhor dose de sulfato de alumínio e cal com os seguintes parâmetros de operação: tempo de mistura rápida de 55 s, G de 1200 s⁻¹, tempo de mistura lenta de 30 minutos, sequência de G na mistura lenta de 50, 40, 30 e 20 s⁻¹ e tempo de decantação de 2',20", 4',40" e 7',20".

Os melhores resultados de cor e turbidez forneceram a melhor dose de cal e sulfato de alumínio.

A partir dessas doses fixadas, foram feitos 4 ensaios sendo aplicada a quitosana de duas maneiras diferentes: após a mistura rápida, e 3 minutos depois de iniciar a mistura lenta com G de 50 s⁻¹. A concentração de polímero (quitosana), aplicada a cada

jarro foi de 0,05 - 0,07 - 0,10 - 0,20 - 0,40 e 0,60 mg/L. O tempo de decantação variou de 2',20", 4',40" e 7',20".

A dose de quitosana e o tempo de decantação que forneceram o melhor resultado de cor e turbidez, foram escolhidos.

4.9.2. Ensaios de Coagulação-Floculação-Filtração (Filtração Direta) para a água da Lagoa do Peri

(a) Uso da Quitosana como Coagulante

- *Série 1: Determinação do melhor pH e melhor dosagem de quitosana*

Para determinação do melhor pH (dosagem de cal), como da melhor dosagem de coagulante foram realizados ensaios de Jar test. Em cada ensaio a variação da concentração de quitosana foi de 0,5 - 1,0 - 1,5 - 2,5 e 3,0 mg/L para cada jarro respectivamente. No primeiro ensaio não foi adicionado alcalinizante (cal) em nenhum dos jarros, no segundo ensaio foi adicionado 0,75 mg/L e no terceiro 3,0 mg/L. A adição do coagulante (coagulação/mistura rápida), foi realizada com os agitadores a 500 rpm ($G = 1200 \text{ s}^{-1}$), mantida durante 30 segundos. Após esse tempo, os agitadores foram levados a 33 rpm ($G = 20 \text{ s}^{-1}$) durante 1 minuto, correspondendo ao período de floculação (mistura lenta), sendo que no final deste tempo os agitadores foram desligados, passando-se à fase de filtração em papel filtro Whatman 40. Depois da filtração foram feitas análises de cor e turbidez.

Foram escolhidos os melhores resultados de remoção de cor e turbidez.

- *Série 2: Otimização da Etapa de Coagulação(Mistura Rápida)*

Escolhidos as melhores dosagens de QTS e cal bem como o pH de coagulação (série 1), usou-se os mesmos nesta etapa para determinar o melhor gradiente de velocidade (G) e o melhor tempo de mistura rápida (TMR).

As condições de operação foram as seguintes:

✚ Mistura Rápida: o gradiente de velocidade é variável para cada ensaio, sendo $G = 600, 900, 1200$ e 1500 s^{-1} respectivamente, e o tempo de mistura rápida, variável para

cada jarro, de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 segundos, respectivamente (a cada 5 segundos uma haste era levantada manualmente).

✚ Flocculação: a mistura lenta foi feita com $G = 20 \text{ s}^{-1}$ (33 rpm), num tempo de 1 min.

✚ Filtração: as amostras foram filtradas em papel Watman 40 logo após a etapa de flocculação, para análise de cor e turbidez.

O tempo de mistura rápida e o G que apresentaram os melhores valores de cor e turbidez, foram escolhidos.

(b) Uso do Sulfato de Alumínio como Coagulante

O modo como foi realizado os ensaios para o S.A. foi da mesma maneira que o citado anteriormente para a quitosana (séries 1 e 2), a única diferença é que usou-se concentrações diferentes de S.A. (0,5 – 1,5 – 2,5 – 4,0 – 5,0 – 10,0 – 15,0 e 20,0 mg/L) e cal (0,0 – 1,5 – 3,0 – 4,5 – 6,0 e 7,5 mg/L) na série 1.

4.10. Análises Físico-Químicas

As principais análises realizadas nas águas bruta, decantada e filtrada foram: pH, cor e turbidez. Análises auxiliares foram feitas para caracterização das águas brutas como a alcalinidade e a temperatura.

Os reagentes utilizados neste experimento foram preparados com produtos químicos (PA) de alto grau de pureza. Todas as vidrarias e recipientes utilizados na preparação dos reagentes e na realização dos ensaios, foram lavados com água tratada e, posteriormente enxaguados com água destilada.

4.10.1. pH e Temperatura

O pH foi medido em aparelho de bancada ORION, modelo 210 A, e a temperatura foi medida com termômetro de mercúrio.

4.10.2. Turbidez

A turbidez foi medida através de leitura instrumental e baseada na nefelometria (NTU) em turbímetro de bancada, modelo 2100 N da HACH.

4.10.3. Cor

A cor foi medida pelo método colorimétrico comparativo em aparelho Nesler Quanti 200.

4.10.4. Alcalinidade

A alcalinidade foi obtida pelo método titulométrico com uso de indicadores conforme descrito no Standard Methods (APHA, 1992).

4.11. Análise do Fitoplâncton da Lagoa do Peri

O fitoplâncton total foi coletado com frasco de 1 L de capacidade, no ponto de captação da ETA – Lagoa do Peri.

O método usado para a análise do fitoplâncton foi o Método de UTERMÖHL (1951), e foi realizado pela professora e consultora Dra. Roselane Laudares Silva do Departamento de Botânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Em laboratório a amostra foi fixada com formaldeído a 2%. O material foi quantificado em câmara de contagem de 5 mL, com uso de microscópio invertido Leitz modelo Diavert. Durante a montagem da câmara de contagem, foram adicionadas gotas de lugol para ajudar a sedimentação das algas. A contagem foi realizada em 20 campos aleatórios. Como unidades de contagem, foram considerados os indivíduos: células, filamentos, colônias. Através do uso de fórmula usual, calculou-se o número de indivíduos por mL. Para se encontrar o número de células por mL, multiplicou-se o número médio ($n = 20$) de células das unidades multicelulares pelo número de indivíduos por mL.

As fórmulas usadas para encontrar o número de indivíduos/mL estão mostradas nas equações 5 e 6.

$$\text{mL contados} = sc \times nc \times h/10^9 \quad (5)$$

Fator = 1 mL/mL contados

$$\text{Ind mL}^{-1} = \text{Fator} \times \text{número de indivíduos contados} \quad (6)$$

Onde:

sc = superfície do campo do Microscópio Invertido

nc = número de campos contados e h = altura da câmara

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização da Quitosana

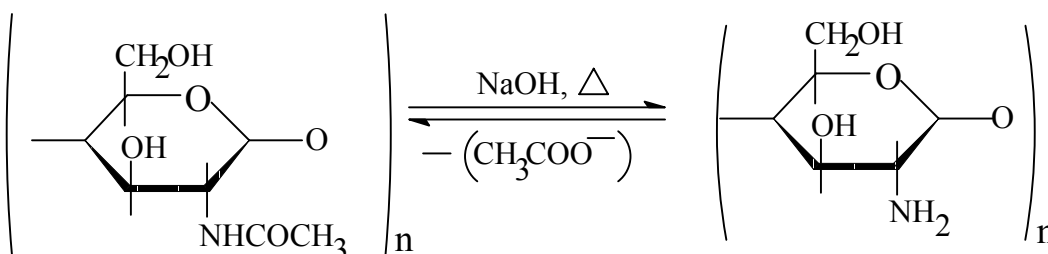
Existem várias análises que podem ser realizadas para caracterizar um composto químico dentre elas as mais usadas são as técnicas de espectroscopia de: Infravermelho (IV), Ressonância Magnética Nuclear (RMN), de Massa, de Ultravioleta (UV), Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE), análise elementar para determinação dos teores de Carbono, Hidrogênio e Nitrogênio (CHN) e Cromatografia Líquida e Gasosa.

Para a caracterização da quitosana (QTS), utilizou-se da análise no IV, pois é a técnica que fornece maiores informações acerca dos grupos presentes no composto. Determinou-se também o grau de desacetilação da QTS, pois o mesmo permite identificar a porcentagem de grupo NH_2 presente na cadeia polimérica. Essa porcentagem irá refletir na análise de IV, que mostrará a presença do grupo NH_2 .

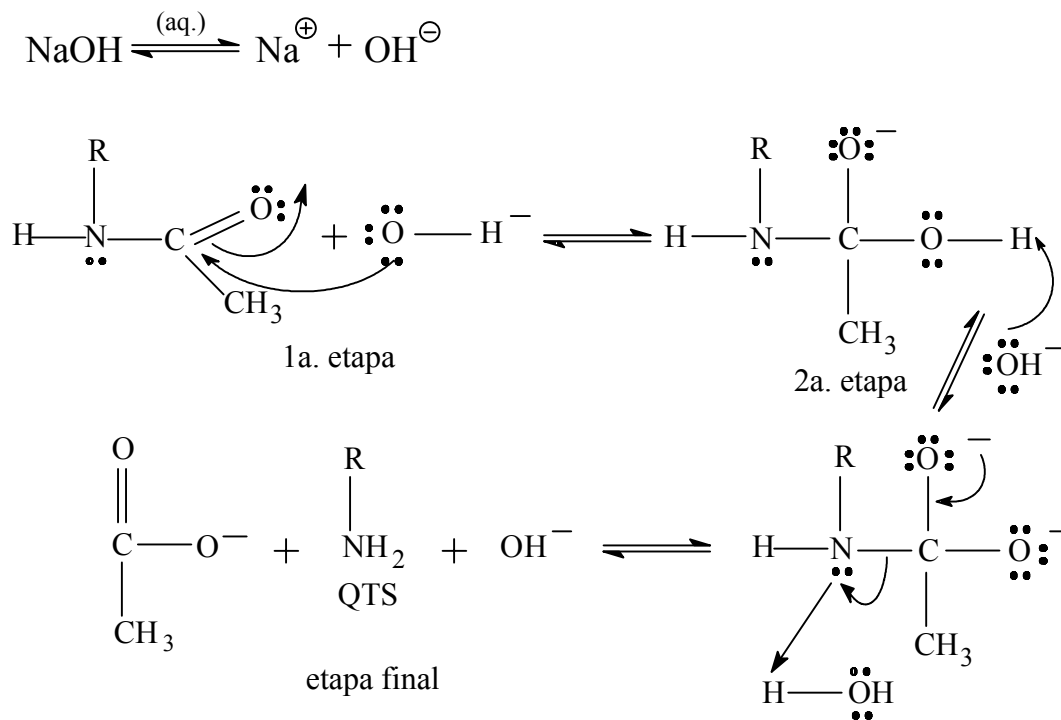
5.1.1. Determinação do Grau de Desacetilação (GD) da Quitosana

Como foi visto na revisão bibliográfica a quitosana é obtida a partir da hidrólise alcalina da quitina (QTI), ou seja, ocorre uma reação de desacetilação. A quitina possui o grupo acetil que está ligado ao nitrogênio da amida secundária, e este grupo é retirado pela reação com NaOH e substituído por um hidrogênio, conforme mostra a reação de hidrólise alcalina e o mecanismo seguinte. A retirada do grupo acetil da quitina chama-se desacetilação.

- Reação de Hidrólise Alcalina da Quitina (Desacetilação)



• Mecanismo



Na hidrólise alcalina da QTI, na primeira etapa o íon hidróxido (OH^-), proveniente da dissociação do NaOH , atua como nucleófilo e como base. O íon hidróxido ataca o carbono acil da amida. Na segunda etapa o íon hidróxido remove um próton para originar um diânion. Na etapa final, o diânion perde a molécula de $\text{NH}_2\text{-R}$, esta etapa é sincronizada com uma transferência de próton da água. Como resultado obtém-se a quitosana, com uma certa porcentagem de grupo NH_2 , pois nem todos os grupos acetil da quitina são convertidos em grupos NH_2 . Fica presente na quitosana uma certa quantidade de grupos acetil na cadeia polimérica.

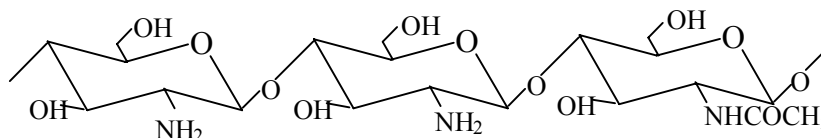


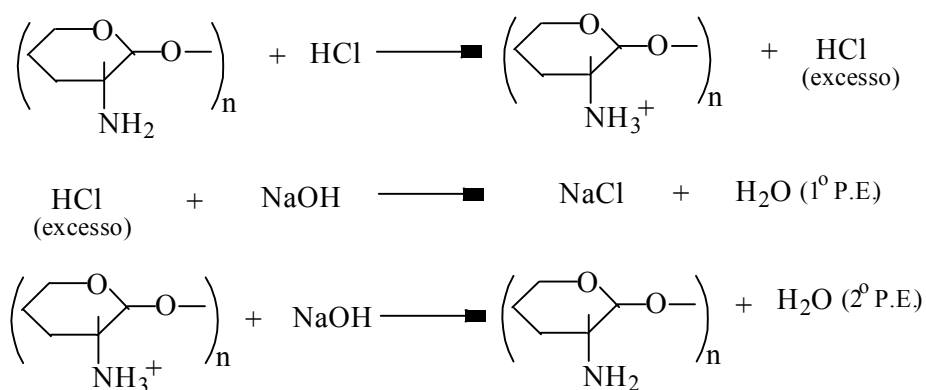
Figura 14- Estrutura do polímero QTS mostrando o grupo NH_2 mais o grupo acetil da QTI que não sofreu desacetilação.

O grau de desacetilação obtido vai permitir identificar a porcentagem de grupos NH_2 presentes na cadeia polimérica da QTS. Existem vários métodos para se determinar o grau de desacetilação (GD) da quitosana, sendo que a titulação condutométrica foi empregada neste trabalho em função da simplicidade do método e sua precisão a titulação condutométrica. A forma como foi realizada a titulação já foi descrita na parte experimental. A curva dos valores de condutância em função do volume de titulante apresenta dois pontos de inflexão (Figura 15). Os dois pontos de inflexão correspondem a neutralização do excesso de ácido forte e o polímero protonado. A diferença entre os dois pontos de equivalência correspondem ao volume de base requerido para neutralizar os grupos amino.

A porcentagem de grupos amino foi calculada usando a equação 7:

$$\%GD = \frac{M(V_2 - V_1) 161}{W} \times 100 \quad (7)$$

Onde M é a concentração da solução de NaOH em mol/L, V_1 e V_2 é o volume de NaOH em mL empregado para neutralizar o excesso de ácido clorídrico e a quitosana protonada, 161 é a massa molar da unidade monomérica do polímero e W é a massa de amostra em mg tomada para titulação. As reações envolvidas na titulação condutométrica são:



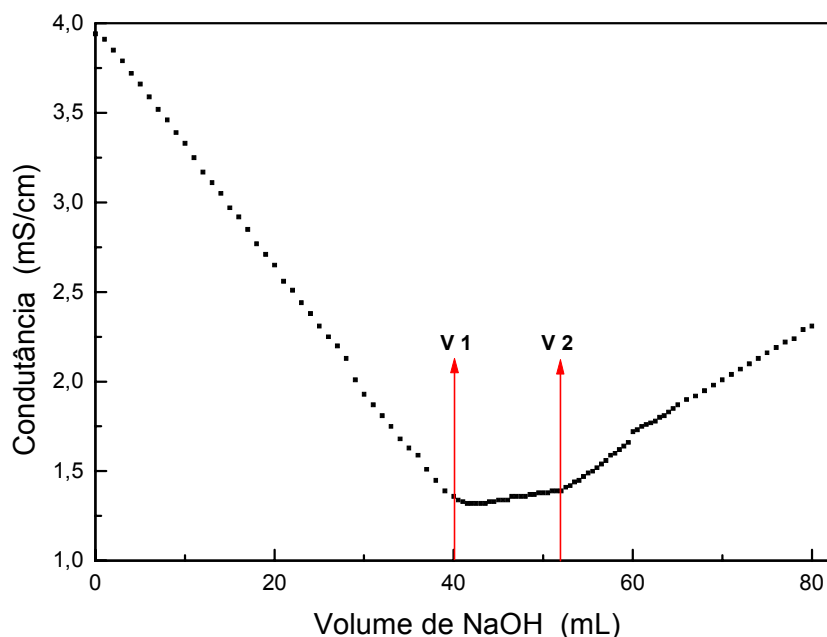


Figura 15- Condutância em função do volume de NaOH.

Os valores de V_1 e V_2 obtidos foram respectivamente 40 e 52 mL. Empregando esses valores na equação 1, e sendo que $M = 0,093$ mol/L e $W = 200$ mg, o valor da %GD obtido para a QTS foi de 89,8 %. Este valor representa a média de três titulações.

5.1.2. Análise no Infravermelho (IV)

A região do Infravermelho é porção do espectro eletromagnético limitado entre as regiões do visível e da microonda. Ela é subdividida em 3 regiões: região do IV próximo (1280 a 400 cm^{-1}), do IV médio (4000 a 200 cm^{-1}) e do IV afastado (200 a 10 cm^{-1}). A maneira mais comum de se obter o espectro de absorção no IV de uma substância é medindo o espectro de luz transmitida por essa substância e dividindo este espectro pelo da fonte luminosa utilizada. A razão entre os dois dá o espectro de transmitância da amostra (WILLIE, 1989). O espectro no IV da QTS foi obtido em pastilha de KBr e está ilustrado na figura 16.

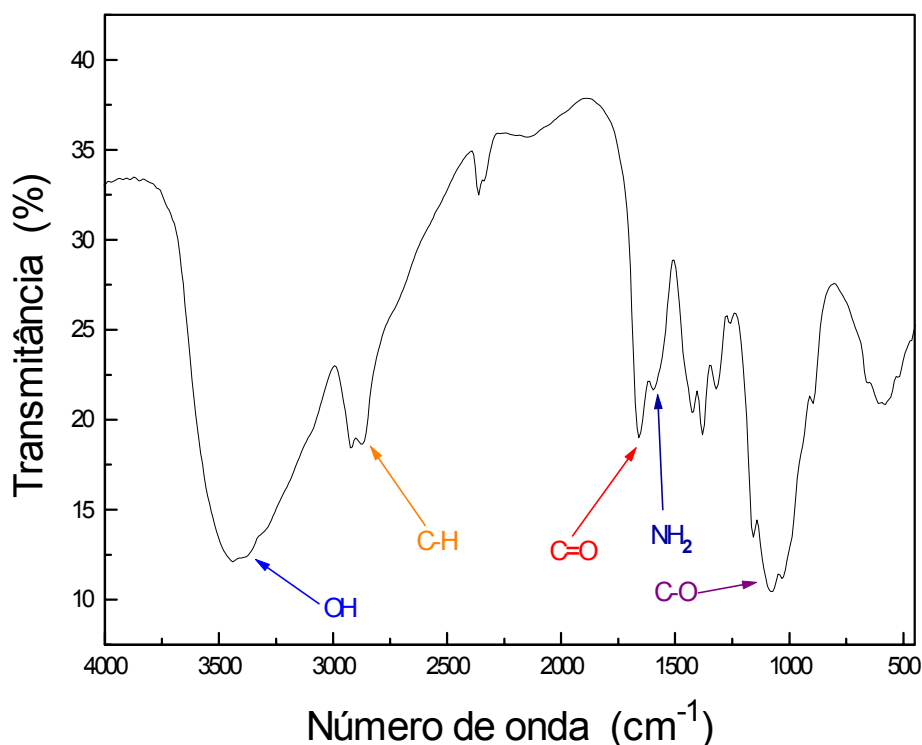


Figura 16- Espectro de IV da quitosana em pastilha de KBr.

Os principais grupos característicos da quitosana são o C-NH₂ de amina primária, C-OH de álcool primário e um pouco de C=O originário da quitina. Encontrou-se no espectro acima uma banda em 1654 cm⁻¹ característico da ligação C=O de amida secundária, sendo uma contribuição da quitina. Em 3398 cm⁻¹ tem-se uma vibração de estiramento da ligação OH e de água. Em 1100 cm⁻¹ aparece a contribuição da ligação C-O de álcool primário. Já em 1598 cm⁻¹ aparece a deformação do grupo NH₂ de amina primária e em 2863 cm⁻¹ aparece o estiramento da ligação C-H. Os grupos encontrados no espectro confirmaram os grupos presentes na quitosana, desta forma a análise no IV mostrou que o material analisado era a quitosana.

5.2. Aplicação da Quitosana como Coagulante para o Tratamento de Água de Rio de Baixa Turbidez

5.2.1. Caracterização da Água Bruta:

- Características do tempo: tempo bom com sol, período de verão.

- Características da água bruta

Turbidez média : 4,61 NTU

Cor aparente média: 20 uc

Temperatura média: 23 °C

pH médio: 6,13

Alcalinidade média: 8,36 mg/L CaCO₃

5.2.2. Determinação da Melhor Dosagem de Quitosana e Melhor pH de Coagulação

O primeiro parâmetro importante para se determinar o uso da quitosana como coagulante, foi encontrar a melhor dose de solução de QTS e o melhor pH de coagulação. Para isso realizaram-se 8 ensaios de Jar test onde as dosagens de cal e QTS foram variadas. As figuras 17,18,19 e 20 mostram os diagramas de coagulação obtidos após os ensaios.

Serão mostrados apenas os diagramas de coagulação para o tempo de decantação (Td) de 4',40", pois foi o que forneceu as melhores remoções de cor e turbidez. Os resultados para o Td de 2',20" são mostrados nos ensaios 1-8 do anexo 1.

Observação: Em todos os gráficos de cor aparente que serão mostrados a partir de agora, os valores da cor foram alterados de alguns décimos para obter uma melhor clareza na leitura dos gráficos.

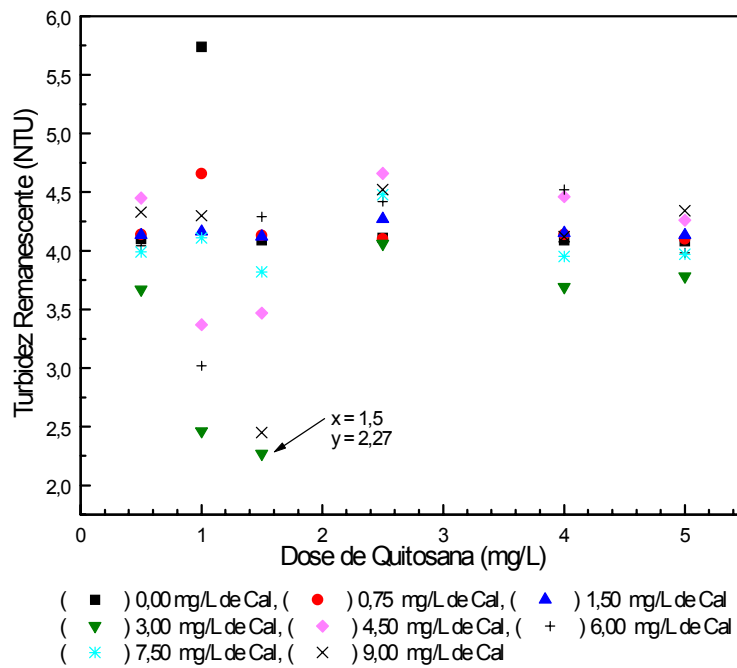


Figura 17- Turbidez Remanescente para um Td de 4',40'' em função da dose de QTS

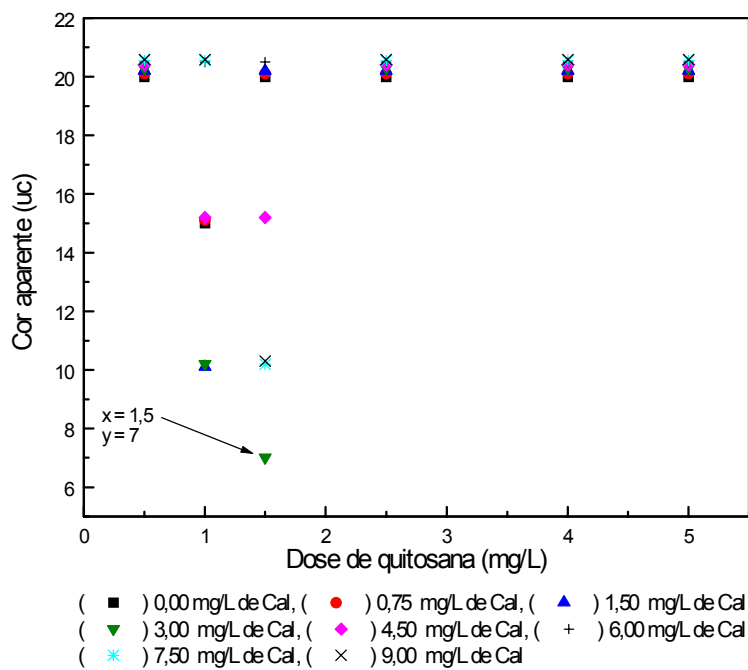


Figura 18- Cor aparente para um Td de 4',40'' em função da dose de QTS

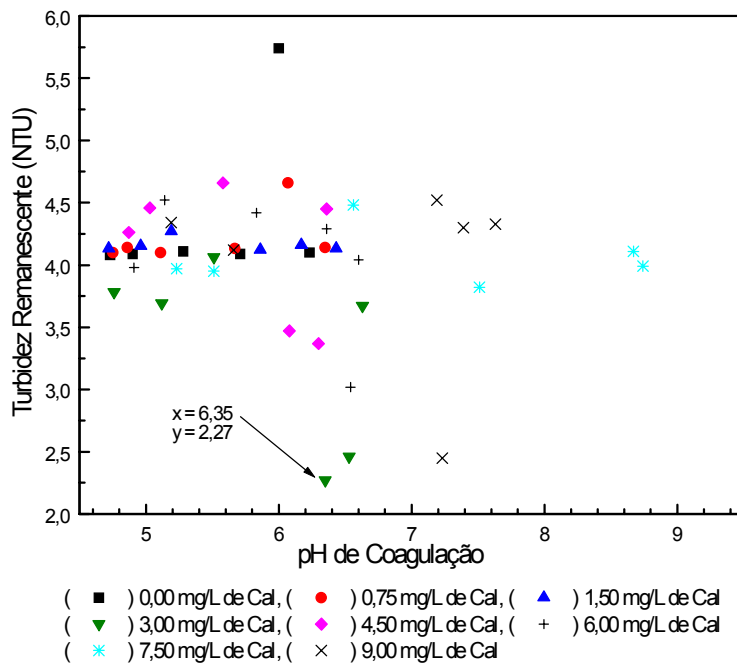


Figura 19- Turbidez Remanescente para um Td de 4',40'' em função do pH de coagulação

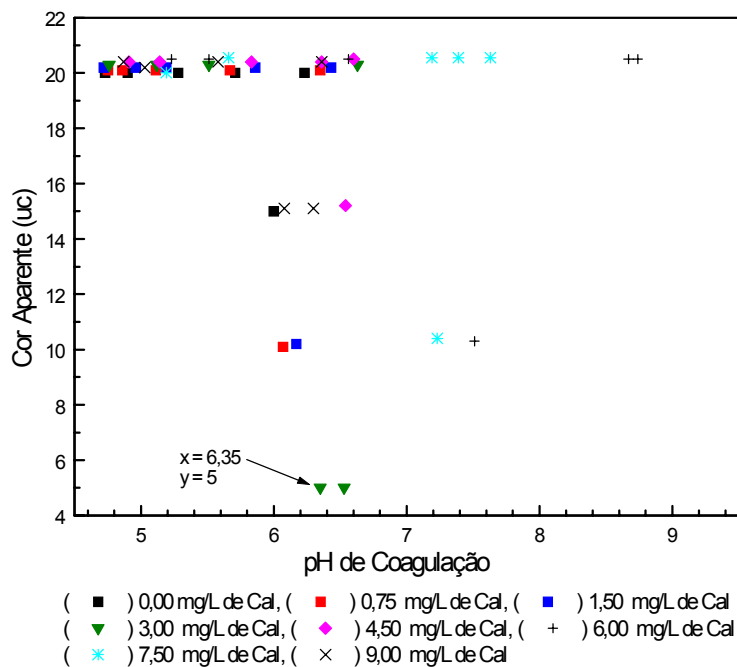


Figura 20- Cor aparente para um Td de 4',40'' em função do pH de coagulação

Pode-se observar pelas figuras 17 e 18 que a melhor dose de QTS encontrada foi de 1,5 mg/L, pois correspondeu as melhores remoções de turbidez e cor. A valores inferiores dessa concentração a QTS não foi muito eficiente para a remoção de cor e turbidez e a valores superiores ocorre um aumento dos grupos $-NH_3^+$ do polímero em solução, sendo que estes grupos excedentes tem a tendência de destruir a ligação entre o polímero e as partículas coloidais, causando um aumento na cor aparente e na turbidez remanescente.

A adição de cal no experimento foi para encontrar o melhor pH de coagulação com aplicação da QTS, e a dosagem ótima encontrada foi de 3 mg/L, como pode ser visto nas figuras 17, 18, 19 e 20 apresentadas anteriormente.

As figuras 19 e 20 ilustram a influência do pH de coagulação na remoção da cor e da turbidez, pois conforme o pH de coagulação o grupo amino da quitosana poderá ou não estar protonado. O melhor pH encontrado foi de 6,35; correspondente às melhores remoções de cor e turbidez. Neste pH de coagulação os grupos amino da quitosana estão parcialmente protonados e assim podem interagir com as partículas coloidais carregadas negativamente.

Nestes primeiros ensaios de tratamento (sistema não otimizado), a quitosana forneceu uma remoção de 50,7 % para a turbidez e 65 % para a cor.

A partir desses resultados fixou-se os valores de 1,5 mg/l de QTS e 3 mg/l de cal nos ensaios de Jar test e otimizou-se os parâmetros de tempo de mistura e gradiente de velocidade.

5.2.3. Otimização do Tempo de Mistura Rápida (TMR) e do Gradiente de Velocidade (G)

Na etapa de mistura rápida ocorre a coagulação. A mesma é o processo de desestabilização da energia potencial de repulsão entre as partículas carregadas. Para que ocorra a coagulação primeiramente o coagulante é adsorvido nas partículas e posteriormente faz uma ligação entre as partículas adjacentes, deste modo as partículas podem ser carregadas juntas para formar grandes flocos. A formação dos flocos é muito influenciada pela intensidade da mistura e pelo tempo de mistura, por isso viu-se a necessidade em se otimizar o TMR e o G.

Análises de cor e turbidez foram realizadas num tempo de decantação de 2',20" e 4',40", porém apresentaremos aqui apenas os resultados obtidos no maior tempo, ficando os demais para o anexo 1 (ensaios 9, 10, 11 e 12).

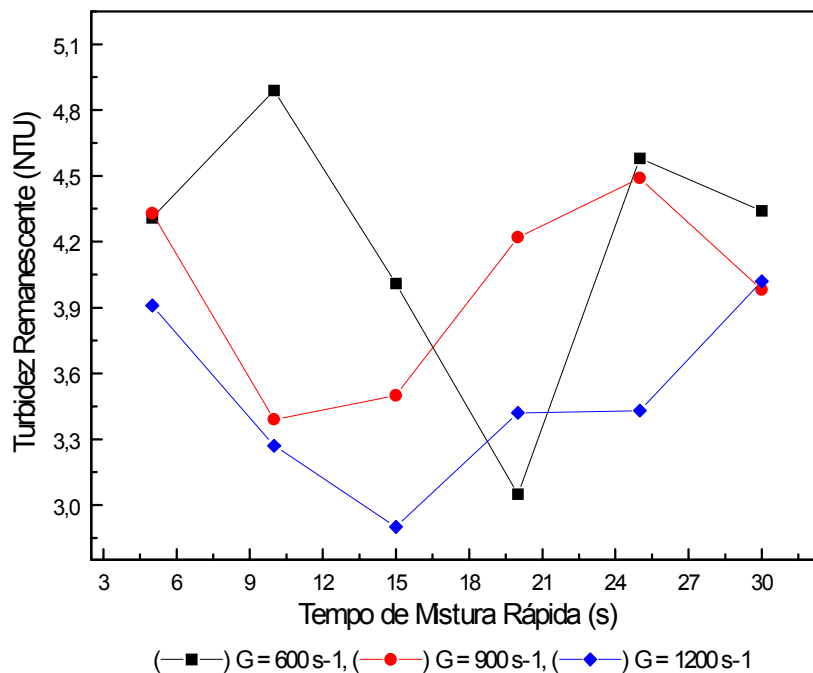


Figura 21- Turbidez Remanescente para um Td de 4',40" em função do TMR e do G

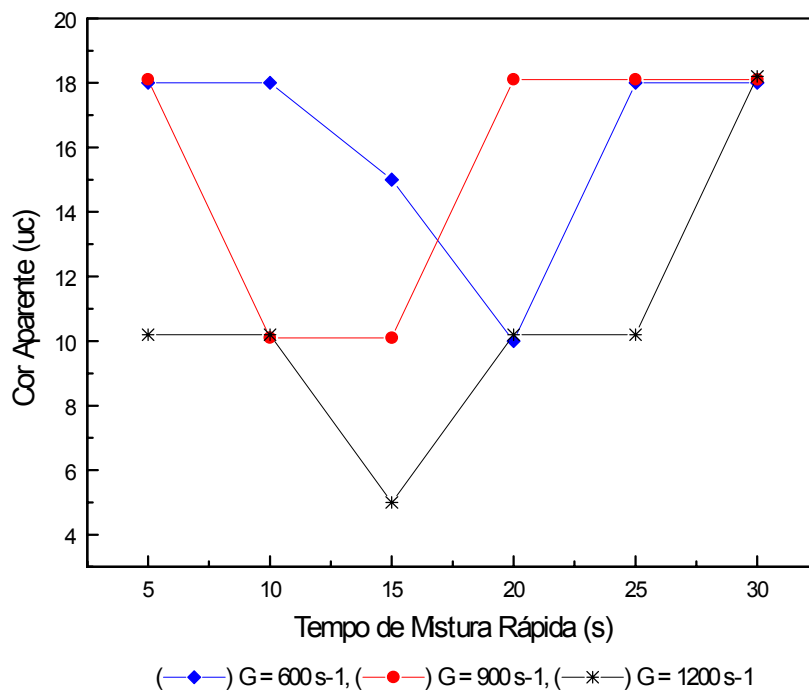


Figura 22- Cor aparente para um Td de 4',40" em função do TMR e do G

Inicialmente foram realizados ensaios de Jar test com o TMR variando de 5 a 30 s (figuras 21 e 22). Nesse período de tempo o G que forneceu as melhores remoções foi de 1200 s⁻¹. A partir daí foi fixou-se nos ensaios esse G e o TMR foi variado de 5 a 80 s.

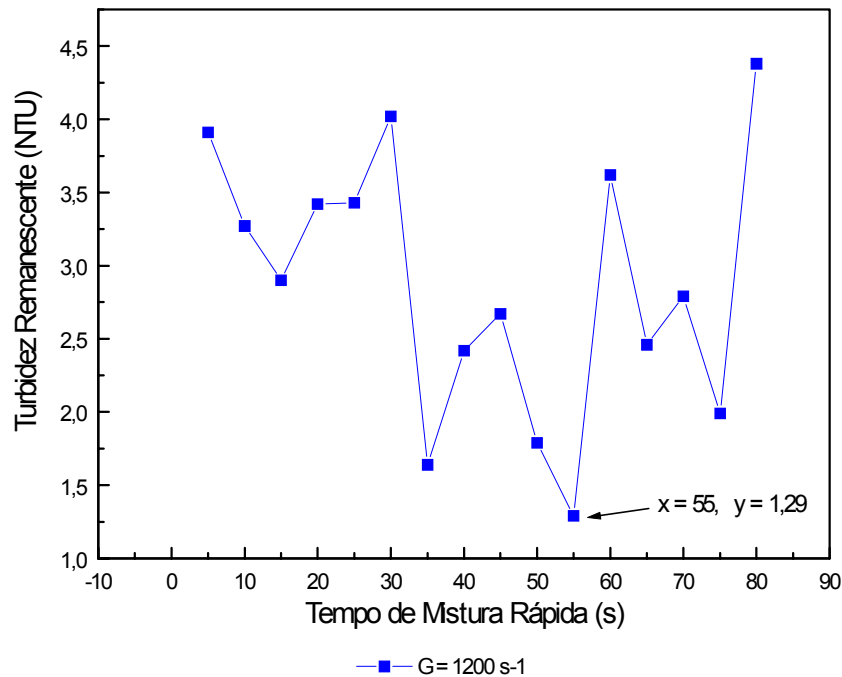


Figura 23- Turbidez Remanescente num Td de $4',40''$ em função do TMR e do G

A melhor remoção de turbidez foi obtida para um TMR de 55s (Figura 23), e correspondeu a uma remoção de 72 %. Para a remoção da cor (75 % de eficiência), os TMRs de 15, 35, 40, 45, 50, 55, 65, 70 e 75 foram eficientes (idem ensaio 12 do anexo 1), mas como somente no TMR de 55s foi obtido uma boa remoção de turbidez, este tempo foi escolhido como sendo o melhor. Observou-se nos ensaios de Jar test que a valores inferiores a 55s houve formação de flocos menores e mais leves e como mostra a figura 23 a remoção de turbidez foi menor devido a um tempo de agitação insuficiente. Nos tempos superiores a 55s os flocos formados também foram menores e pode ter ocorrido a destruição dos flocos pré-formados devido a um TMR elevado, o que resultou numa reestabilização das forças de repulsão entre as partículas, originando aumento da turbidez.

5.2.4. Otimização do Tempo de Mistura Lenta (TML) e dos Melhores Gradientes de Velocidade (G) para a Floculação

Na mistura lenta ocorre o processo de floculação que consiste na obtenção de um agrupamento originando flocos e da compactação das partículas em suspensão. A medida que a floculação evolui, aumenta a possibilidade de colisões entre as partículas coloidais com a progressiva formação dos flocos. Mas a partir de um determinado tempo de floculação, associado a um G, passam a prevalecer os efeitos de erosão e deformação da superfície dos flocos, então ocorre a necessidade em se determinar o melhor tempo de floculação e o melhor G. As figuras 24 e 25 mostram os valores de turbidez e cor obtidos para um Td de 4',40", variando com o TML e o G. Os valores obtidos para o Td de 2',20", são mostrados nos ensaios 13 – 18 do anexo 1.

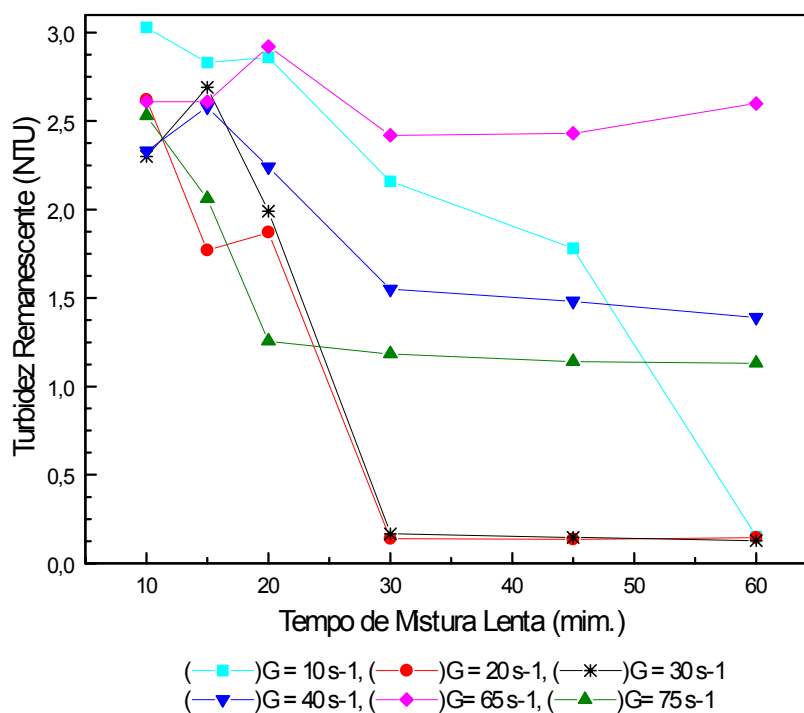


Figura 24- Turbidez remanescente para um Td de 4',40" em função do TML e do G.

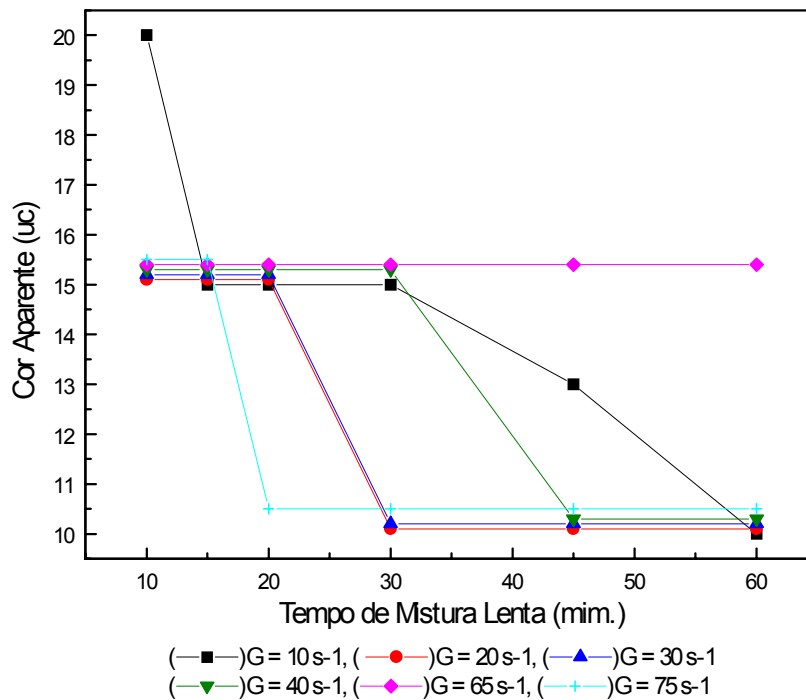


Figura 25- Cor aparente para um Td de 4',40" em função do TML e do G.

A figura 24 mostrou que as melhores remoções de turbidez foram obtidas a partir de 30 minutos, para os G de 20 e 30 s⁻¹. Os valores de turbidez encontrados foram muito bons (menores que 0,5 NTU). Em relação a cor o melhor valor obtido foi de 10 uc (Figura 25), para os tempos maiores que 20 minutos e correspondendo aos G de 10, 20, 30, 40 e 75 s⁻¹.

Alguns estudos realizados por pesquisadores tais como TEKIPPE & HAM (1971) e BRATBY (1981), sugerem o uso da variação do G ao longo das câmaras de floculação, para que haja a formação de flocos mais densos e fortes. Como este trabalho foi realizado em escala de laboratório, decidiu-se fazer uma variação do G ao longo dos jarros do Jar test, permanecendo cada jarro por 7 minutos e 30s com um valor diferente de G, e totalizando 30 minutos de mistura lenta. A figura 26 mostra os resultados de turbidez e cor obtidos nos ensaios.

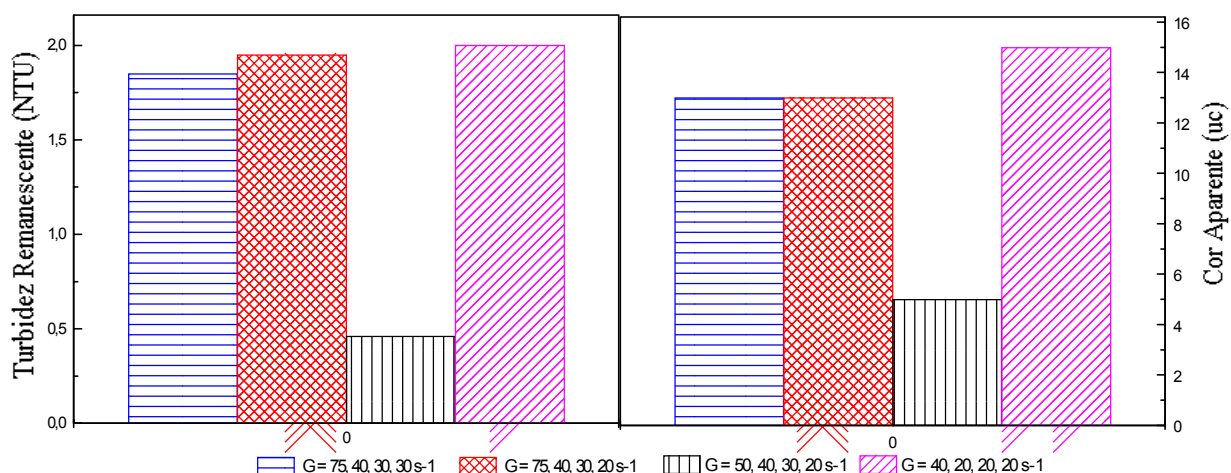


Figura 26 - Turbidez remanescente e cor aparente para um Td de 4',40" em função da variação do G.

Conforme ilustra a figura 26, a seqüência de G de 50, 40, 30 e 20 s⁻¹ resultou numa melhor remoção de cor e turbidez. A remoção de cor correspondeu a 75 % e a de turbidez a 90,7 %. Observou-se também nos ensaios de Jar test realizados que nessa seqüência de G, os flocos formados foram mais densos e fortes.

5.2.5. Determinação do Tempo de Decantação (Td) e Qualidade da Água Filtrada

O tempo de decantação foi otimizado e as figuras 27 e 28 mostram que com o aumento do tempo ocorre uma melhora na remoção da turbidez e da cor para a água decantada e filtrada. Mas pode-se observar também que para a água decantada, a partir de 2 minutos de decantação os valores de turbidez obtidos foram praticamente os mesmos (0,49, 0,47 e 0,44 NTU). Como para o Td de 1',20" a turbidez foi maior do que para os outros, descartou-se esse tempo na escolha do tempo de decantação e sugere-se um tempo de decantação igual ou superior a 2 minutos. Para a remoção da cor (Figura 28) observou-se a mesma coisa, a partir de 2 minutos de decantação para a água decantada, a remoção da cor foi melhor.

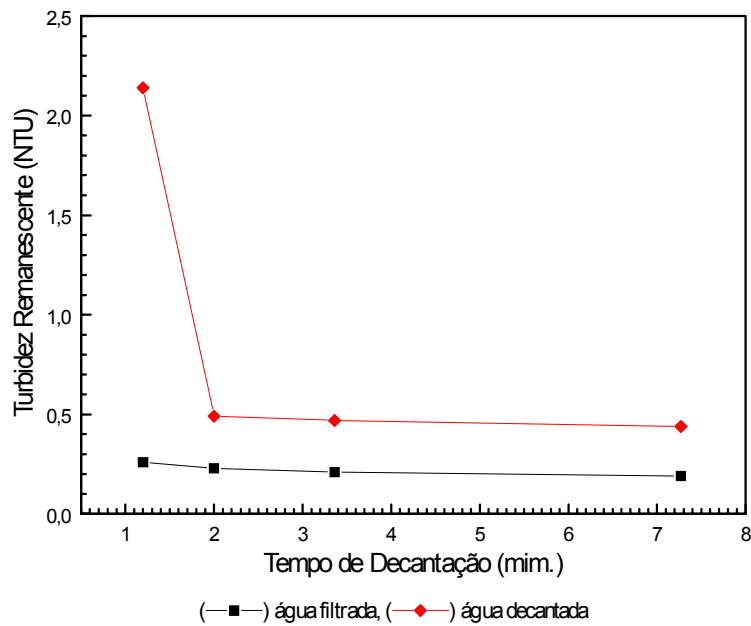


Figura 27- Turbidez remanescente em função do tempo de decantação

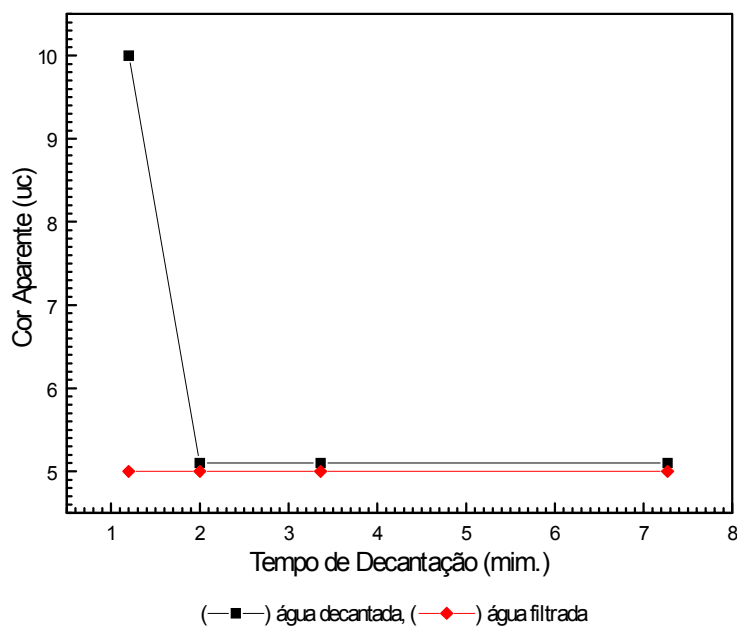


Figura 28- Cor aparente em função do tempo de decantação

Observou-se ainda nas figuras 27 e 28 que a qualidade da água filtrada em termos de turbidez e cor foi muito boa (turbidez menor que 0,5 NTU e cor igual a 5 uc).

Observação: O colorímetro usado para a medida da cor não permitia a leitura de valores abaixo de 5uc, mas acredita-se que para valores de turbidez abaixo de 1 NTU, os valores de cor foram menores que 5 uc.

5.2.6. Sistema de Tratamento Otimizado

Após a otimização das etapas de tratamento, realizou-se um último ensaio de Jar test com todos os parâmetros escolhidos anteriormente (TMR de 55s, G de 1200 s^{-1} , TML de 30 minutos, seqüência de G de 50, 40, 30 e 20 s^{-1} e Td de 2 minutos seguido de filtração). O ensaio 24 do anexo 1 mostra os valores de cor e turbidez obtidos, e a tabela 5 mostra os valores médios.

Tabela 5 - Valores médios de cor e turbidez obtidos para o sistema de tratamento otimizado, utilizando quitosana como coagulante.

	<i>Turbidez Remanescente Média (NTU)</i>	<i>Cor Aparente Média (uc)</i>
Água Bruta	4,89	20
Água Decantada	0,49	5
Água Filtrada	0,23	5

A qualidade da água decantada foi muito boa (0,49 NTU), isso pode ser uma indicação que tratando a água com quitosana, a carreira de filtração será bem maior, pois não haverá tanto acúmulo de sólidos impregnados nos filtros.

Obteve-se eficiência de 90 % para remoção da turbidez da água decantada e 95,3 % da água filtrada. Para remoção da cor aparente obteve-se 75 % de eficiência com e sem filtração, pois o colorímetro usado permitia uma sensibilidade somente até 5 uc.

Pela eficiência obtida a QTS mostrou ser um eficiente coagulante para o tratamento de água de baixa turbidez (são bem mais difíceis de se tratar).

5.3. Aplicação da Quitosana como Coagulante para o Tratamento de Água de Lagoa (Lagoa Do Peri)

5.3.1. Caracterização da água bruta

- Características do tempo: tempo bom, mas com sol fraco, período de inverno.

Obs: a água foi coletada após período de chuva.

- Características da água bruta:

turbidez média : 5,57 NTU

cor média: 50 uc

temperatura média: 16 °C

pH médio: 7,23

alcalinidade média: 17 mg/L CaCO₃

- Análise Quantitativa de Algas da água bruta

A tabela 6 mostra a relação de fitoplânctons encontrados na lagoa do Peri.

Tabela 6 - Fitoplâncton da lagoa do Peri – Densidade

	<i>Ind./ml</i>	<i>No médio cels.</i>	<i>Cels./ml</i>
Cyl. Raciborskii	19068	6	114407
Pseud. Galeata	20104	12	241253
Plank. Limnetica	1091	12	13094
Botryococcus sp.	164	1	164
Monor. Arcuatum	109	1	109
Monor. Irregularare	16176	1	16176
Act. Aciculare	4201	7	29407
Peridiniopsis sp.	82	1	82
Perid. Umbonatum	27	1	27
Stau. Tetr.	109	1	109

Stau. Tetr. ev.	136	1	136
Staurastrum sp 1	55	1	55
Staurastrum sp 2	27	1	27
Fragilaria sp	27	1	27
Penada	27	1	27
Não identificadas	5428	1	5428
Total	66831		420528

Estudos do fitoplâncton da lagoa do Peri, realizados a partir de 1995, mostram que ele tem sido dominado pelas cianobactérias, e este domínio só não ocorre nos meses mais frios do ano, se o ano não for excepcionalmente quente (LAUDARES-SILVA, 1999a; LAUDARES-SILVA, 1999b). As espécies dominantes são *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Pseudanabaena galeata*, sendo a primeira, potencialmente produtora de hepatotoxinas e neurotoxinas.

5.3.2. Ensaios de Coagulação/Floculação com Decantação (Coagulação na Varredura)

Foram realizados vários ensaios de Jar test através do processo de coagulação/floculação/decantação para se determinar a melhor dose de QTS e cal a ser empregada no tratamento. Os ensaios mostraram que a QTS não formou flocos grandes e densos, mas flocos finos e leves que ficavam flotando na água, após o processo de floculação. Uma pequena minoria de flocos decantou após aproximadamente 10 minutos de decantação. A partir dessas observações verificou-se que a quitosana não foi eficiente para o processo de decantação e os resultados de cor e turbidez obtidos nos ensaios não foram bons (olhar ensaios do anexo 2).

Algumas espécies de algas interferem no processo de decantação e na análise de algas realizada para a água bruta encontrou-se duas espécies de algas que podem interferir no processo. A alga *C. raciborskii*. tem como principal característica a presença de aerótopos (pseudovácuolos cheios de gás, provavelmente nitrogênio), em suas células (LAUDARES SILVA, 1999a). A presença de pseudovácuolos cheios de

gás, é uma forma da alga induzir a flotação dos flocos formados com a QTS-partículas coloidais-algas.

Outra alga que apresenta uma boa estratégia para flotação é *Botryococcus* sp. , pois produz grande quantidade de óleo. Na amostra analisada foram encontradas células isoladas da colônia e em pequena densidade.

5.3.3. Ensaio de Coagulação para Filtração Direta

Foram realizados 3 ensaios de Jar test onde a dose de cal e QTS foram variadas. A figura 29 mostra que a melhor remoção de turbidez foi obtida com 2 mg/L de QTS e 0 mg/L de cal, deixando a água filtrada com uma turbidez de 0,262 NTU que equivale a uma remoção de 95,3 %. O pH de coagulação encontrado foi de 5,54.

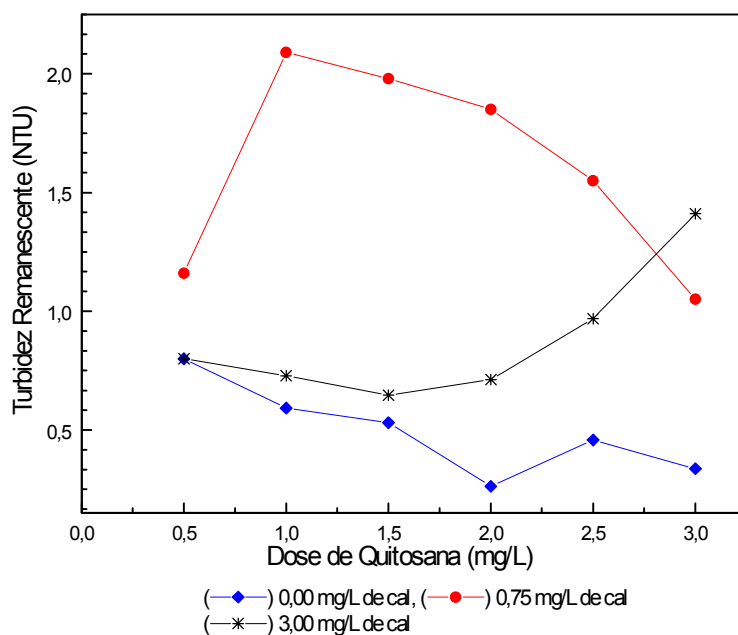


Figura 29- Turbidez Remanescente em função da dosagem de quitosana e cal.

A melhor remoção de cor (Figura 30), foi obtida a 0 mg/L e 3 mg/L de cal, mas sugere-se o uso de 0 mg/l. Em relação a melhor dose de quitosana para remoção da cor,

escolheu-se 2 mg/L pois correspondeu a melhor remoção de turbidez (Figura 29), e a cor obtida permaneceu em 5uc equivalendo a uma remoção de 90 %.

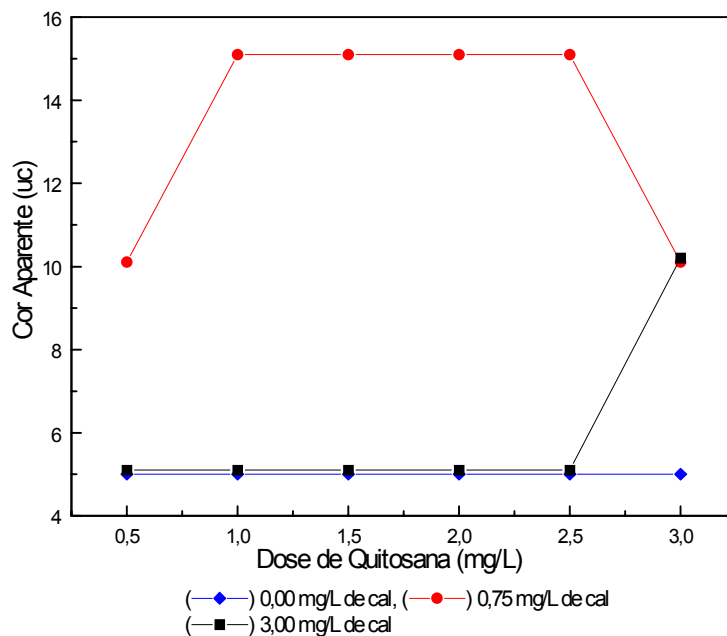


Figura 30- Cor aparente em função da dosagem de quitosana e cal.

A partir dos resultados escolhidos anteriormente (0 mg/l de cal e 2 mg/l de QTS), fixaram-se esses valores nos ensaios de coagulação para filtração direta e determinou-se o melhor tempo de mistura rápida (TMR) e o melhor gradiente de velocidade (G) para o processo de tratamento.

5.3.3.1. Determinação do Tempo de Mistura Rápida (TMR) e do Gradiente de Velocidade (G)

A remoção da cor aparente foi a mesma (5uc), para todos os tempos de mistura rápida e para todos os gradientes de velocidade e correspondeu a 90% de remoção (idem

ensaios 37 – 40 do anexo 2). Tem-se aqui a ressalva que o colorímetro usado não permitia a leitura de cor a valores abaixo de 5 uc.

A remoção da turbidez foi praticamente a mesma no tempo de 30 minutos para os 4 gradientes de velocidade adotados (Figura 31), porém para tempos menores o gradiente de velocidade de 600 s^{-1} se comportou bem pior. Os gradientes de 900, 1200 e 1500 s^{-1} tiveram um comportamento semelhante para qualquer tempo na mistura rápida.

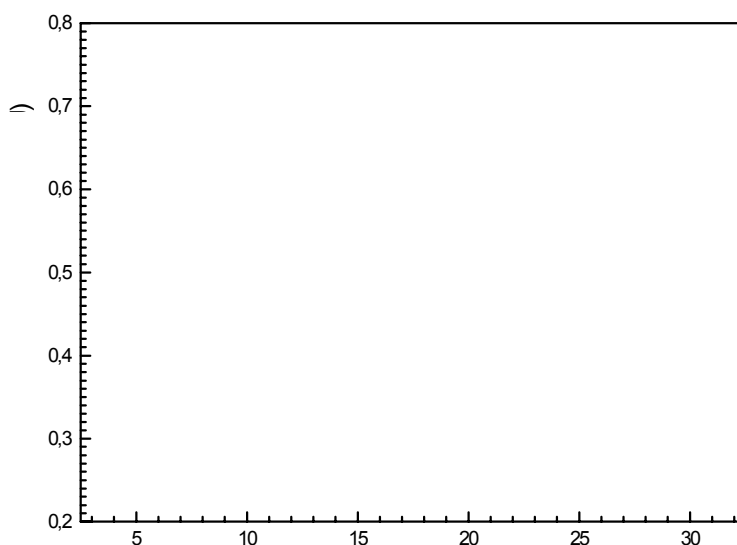


Figura 31- Turbidez após filtração em função do TMR e do G.

Cabe observar ainda na figura 31 que os resultados de turbidez foram muito bons, variando de 0,671 NTU (os piores) a 0,265 NTU para os melhores. Mas, para melhor verificar o comportamento na remoção da turbidez para um tempo de mistura rápida maior que 30 segundos, escolheu-se os gradientes de 900 e 1200 s^{-1} , e realizou-se um novo ensaio variando o tempo de mistura rápida de 5 a 85 s (Figura 32).

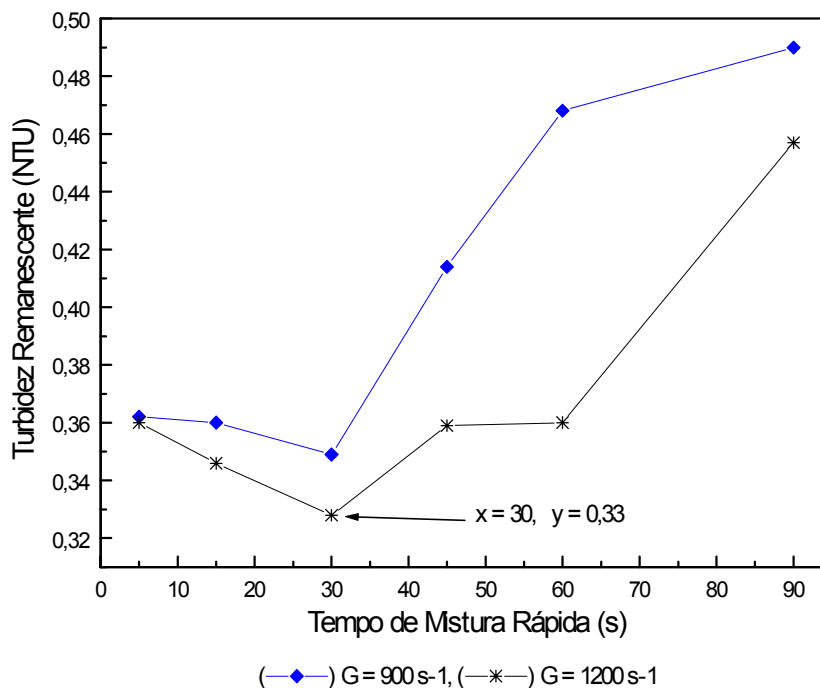


Figura 32- Turbidez após filtração em função do TMR e do G

Observou-se novamente (Figura 32), que a melhor remoção de turbidez foi obtida para um tempo de 30s, sendo que após esse período os valores de turbidez aumentaram, mas ainda continuaram com valores bem baixos (menores que 0,5 NTU). O que pode ter ocorrido é que a partir de 30s a energia fornecida ao sistema água-partículas coloidais-QTS foi aumentando devido a um tempo de mistura rápida maior e lentamente foi ocorrendo a reestabilização das forças repulsivas entre as partículas coloidais, causando um pequeno aumento na turbidez. Se o experimento fosse continuado até um TMR > 90 s, talvez observasse melhor a reestabilização das forças repulsivas e um aumento maior da turbidez.

Sugere-se o uso do tempo de mistura rápida de 30 s e o gradiente de velocidade pode ser de 900, 1200 ou 1500 s⁻¹, pois com base nas Figuras 31 e 32 forneceram resultados de turbidez bem semelhantes.

5.3.4. Determinação da Eficiência da QTS no Tratamento de Água de Lago (Lago do Peri)

↳ Ensaio com decantação

Os ensaios onde a água de Lago foi coagulada/floculada para uma decantação, os resultados foram muito ruins (houve flotação dos flocos ao invés de decantação).

↳ Ensaio com filtração direta

A tabela 7 mostra o resultado da eficiência obtida no tratamento da água de Lago com QTS.

Tabela 7 - Valores de cor e turbidez da água bruta e da água tratada com QTS. Os valores médios de cor e turbidez da água tratada correspondem aos G de 900, 1200 e 1500 s⁻¹, e ao tempo de mistura rápida de 30 s.

	<i>Cor Aparente Média (uc)</i>	<i>Turbidez Remanescente Média (NTU)</i>
Água Bruta	60	5,66
Água coagulada/filtrada	5	0,303

A eficiência obtida para a remoção da cor foi de 91,7% e para a turbidez foi de 94,6 %. Tem-se aqui a ressalva que o colorímetro usado não permitia a leitura de cor a valores abaixo de 5 uc.

Esses resultados de remoção mostraram que a QTS foi muito eficiente como coagulante.

5.4. Uso do Sulfato de Alumínio como Coagulante para o Tratamento da Água da Lagoa do Peri

5.4.1. Caracterização da Água Bruta

A água foi coletada um dia após uma noite de chuva, e a água possuía muitos pedacinhos finos de madeira e matéria orgânica.

- Características do tempo: tempo bom, mas com sol fraco, período de inverno.

- Características da água bruta:

turbidez média : 8,40 NTU

cor média: >100 uc

temperatura média: 13 °C

pH médio: 7,54

alcalinidade média: 17 mg/L CaCO₃

5.4.2. Ensaio de Coagulação/Floculação com Decantação (Coagulação na Varredura)

Para o sulfato de alumínio os resultados de remoção de cor e turbidez não foram bons, assim como nos ensaios anteriores com quitosana. Houve também formação de flocos finos e leves e flotação dos mesmos. Os ensaios 43 – 45 do anexo 3, mostram que a remoção da turbidez não foi eficiente, pois seu valor médio para os tempos de decantação de 2', 20" e 4', 40" ficou em 9,42 NTU.

Como a água bruta utilizada no tratamento da água de Lago com quitosana foi a mesma que a usada no tratamento com sulfato de alumínio, verifica-se também a presença de algas na água bruta. Da mesma forma como as algas atrapalharam no processo de decantação usando como coagulante a quitosana, também atrapalharam usando como coagulante sulfato de alumínio.

A partir destes resultados, sugeriu-se tratar a água através do processo de coagulação/floculação/filtração.

5.4.3. Ensaio de Coagulação para Filtração Direta (coagulação na neutralização de carga)

Através dos ensaios de coagulação/floculação/filtração realizados foi determinado como melhor dose de cal e S.A. os valores de 0 mg/L e 15 mg/L respectivamente (Figura 33), e corresponderam ao pH de 5,63. Essas doses de cal e S.A. forneceram um valor de turbidez bem baixo (0,243 NTU), e equivale a uma remoção de 97,1 %. A partir desses valores de dosagem encontrados, realizaram-se novos ensaios de Jar test e foi determinado o melhor tempo de mistura rápida (TMR) e o melhor gradiente de velocidade (G).

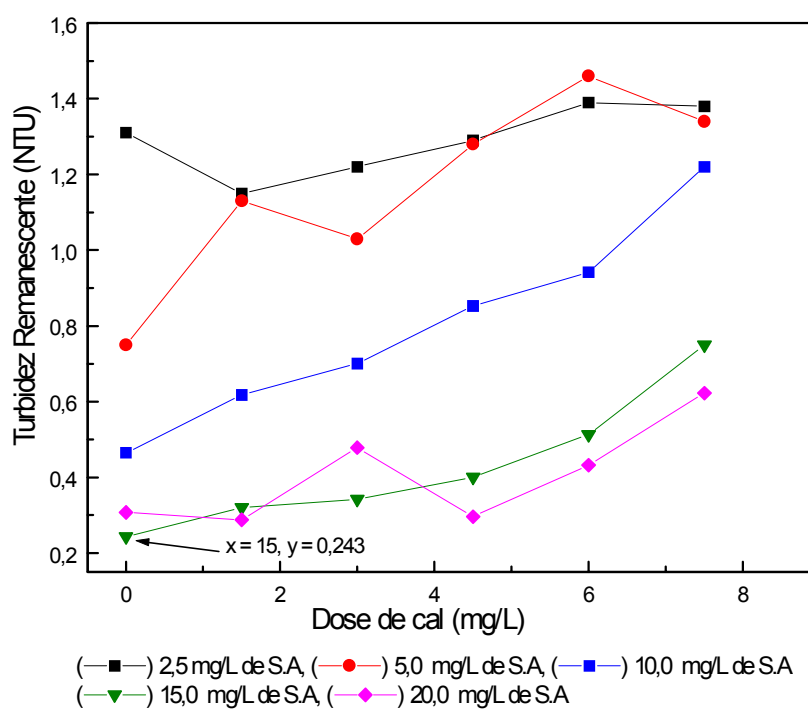


Figura 33- Turbidez após filtração em função da dose de cal e sulfato de alumínio.

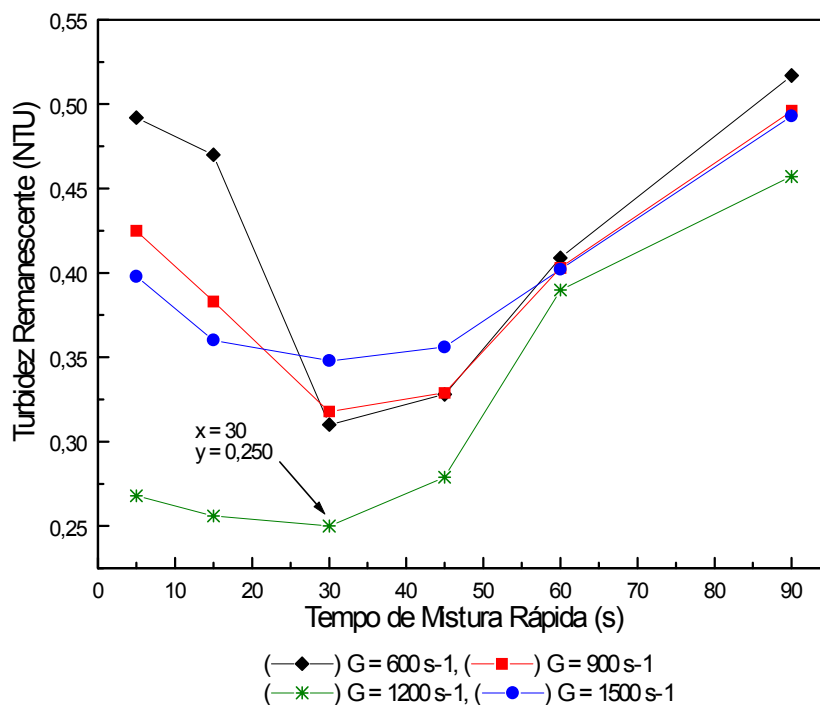


Figura 34- Turbidez após filtração em função do TMR e do G.

A análise da figura 34 permite verificar que a melhor remoção de turbidez foi obtida com TMR de 30 s e G de 1200 s⁻¹, e forneceu uma turbidez de 0,250 NTU que corresponde a uma remoção de 97 %. Para os outros gradientes de velocidade a remoção da turbidez foi menor em todos os tempos do que para o G de 1200 s⁻¹, mas mesmo assim vale ressaltar que seus valores de turbidez foram bem baixos também, variando de 0,31 a 0,54 NTU. Observou-se ainda que a partir de 30 s de mistura rápida a turbidez começou a aumentar lentamente para todos os gradientes usados, sugere-se então o uso de 30 s.

A eficiência obtida para a remoção da cor foi de 95 %, correspondente a um valor de 5 uc. Os resultados obtidos para a remoção da cor estão mostrados nos ensaios do anexo 3.

5.5. Uso da QTS como Polieletrólito Auxiliar ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Água de Rio de Baixa Turbidez

Como a QTS teve uma boa eficiência como coagulante, verificou-se também sua eficiência como polieletrólito auxiliar ao S. A., que é o coagulante usado na Estação de Tratamento de Água (ETA), da CASAN no município da Grande Florianópolis, e na maior parte das ETAs do Estado de Santa Catarina.

5.5.1. Caracterização da água bruta

- Características do tempo: tempo bom com sol, período de outono.

- Características da água bruta:

turbidez média : 2,75 NTU

cor média: 20 uc

temperatura média: 18 °C

pH médio: 6,13

alcalinidade média: 9,00 mg/L CaCO₃

5.5.2. Ensaios de coagulação/floculação/decantação

Primeiramente determinou-se a melhor dose de cal a ser empregada nos ensaios e encontrou-se 7,5 mg/L conforme mostrado nos ensaios 57 – 61 do anexo 4. Posteriormente determinou-se as melhores dosagens de sulfato de alumínio (S.A.) e quitosana (QTS), sendo a QTS adicionada de duas maneiras diferentes: (a) após 3 minutos de floculação e (b) imediatamente após a adição do sulfato de alumínio. As figuras 35 e 36 mostram o resultado obtido para o caso a e b respectivamente.

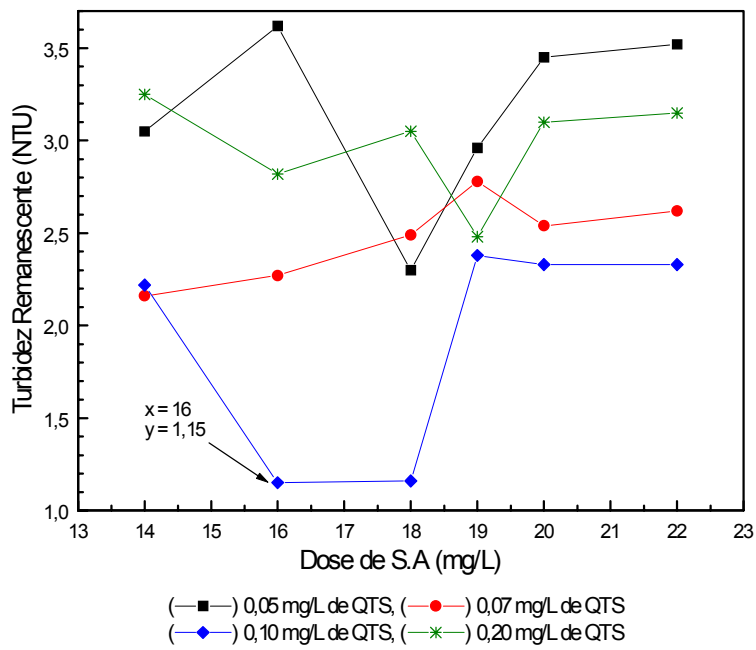


Figura 35- Turbidez para um Td de 4'40" em função da dose de S. A. e QTS. Caso (a)

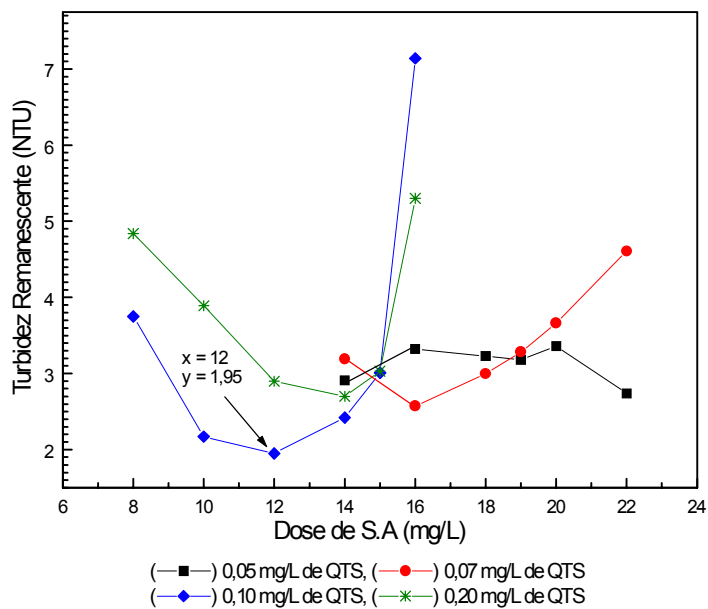


Figura 36- Turbidez para um Td de 4'40" em função da dose de S. A. e QTS. Caso (b)

No caso (a) a melhor dose de S.A. e QTS encontradas foram de 16 mg/L e 0,10 mg/L respectivamente, e forneceram um valor de turbidez de 1,15 NTU que correspondeu a uma remoção de 58,2 %. No caso (b) a melhor dose de S.A. e QTS foram de 12 mg/L e 0,10 mg/L respectivamente, e forneceram um valor de turbidez de 1,95 NTU que correspondeu a uma remoção de 29,1 %. Os valores de cor encontrados também não foram bons para ambos os casos e estão mostrados nos ensaios 57 – 70 do anexo 4. Assim, em ambos os casos a remoção da cor e da turbidez não foi eficiente.

A quitosana não mostrou eficiência como polieletrólito auxiliar, mas ao entrar em contato com o S.A. devido aos seus grupos amino primário ela pode ligar-se ao íon metálico (Al^{3+}), do S.A. e formar um complexo. Deste modo a QTS juntamente com o S.A. complexado, irá carregar mais partículas e formar flocos maiores, mas como na água bruta utilizada não havia muitas partículas (água limpa, baixa turbidez), a QTS encontrou poucas partículas que servissem como núcleos de flocos. Assim, a sua aplicação não teve muita eficiência. Mas se formos comparar os dois casos, a QTS aplicada após 3 minutos de floculação (caso a) foi mais eficiente que aplicada imediatamente após o S.A.

5.6. Determinação da Melhor Dosagem de Sulfato de Alumínio para a Água de Rio

Foi determinado no início deste trabalho a melhor dosagem de quitosana a ser empregada no tratamento de água de rio de baixa turbidez e encontrou-se 1,5 mg/L, conforme foi mostrado nas figuras 16 e 17. Para poder comparar essa dosagem de quitosana empregada com a dosagem de sulfato de alumínio, viu-se a necessidade de sua determinação. Extraiu-se dados de ensaios de Jar test desenvolvidos na Casan, com a mesma água bruta utilizada com a quitosana. Os resultados são mostrados a seguir:

(a) Características da água bruta

Manancial: rios Cubatão Sul + Vargem do Braço (Pilões)

Captação: na própria Estação de Tratamento

Condição do Tempo: bom (sem chuva)

Turbidez : 8,13 NTU

Cor Aparente: 30 uc

Temperatura da água : 23 °C

pH = 6,8

Alcalinidade Total = 12,0 mg/L de CaCO₃

(b) Condições de Operação (mesmas condições que as usadas para a quitosana)

Mistura Rápida \cong 500 rpm = 1200 s⁻¹

Tempo de Mistura Rápida = 30 s

Mistura lenta \cong 33 rpm = 20 s⁻¹

Tempo de Mistura Lenta = 20 minutos

Tempo de decantação (Td) = 2',20" e 4',40"

(c) Características do Ensaio

Os ensaios de Jar test foram realizados da mesma maneira como foi feito com a quitosana (coagulação/floculação/decantação), e está mostrado no item 4.9.1 (série 1) dos materiais e métodos. A tabela 8 mostra os melhores resultados de turbidez e cor obtidos e as melhores dosagens de cal e sulfato de alumínio.

Tabela 8 - Melhores resultados de cor e turbidez obtidos, empregando S. A. como coagulante

<i>Características do Ensaio</i>	<i>Valores Encontrados</i>
Dosagem de Sulfato de Alumínio (mg/L)	14
Dosagem de Cal (mg/L)	7,5
pH de coagulação	6,86
Turbidez remanescente (NTU) p/ Td = 2',20"	2,09
Cor aparente (uc) p/ Td = 2',20"	10
Turbidez remanescente (NTU) p/ Td = 4',40"	1,92
Cor aparente (uc) p/ Td = 4',40"	10

Conforme visto na tabela 8 a remoção da cor e da turbidez foi de 66,7 % e 76,4% respectivamente para o tempo de decantação (Td) de 4',40".

Esses resultados obtidos foram extraídos do Projeto de Estudos para Adequação e Otimização da Estação de Tratamento de Água da Grande Florianópolis (SENS et al., 1999).

5.7. Vantagens do uso da Quitosana como Coagulante para o Tratamento de Água de Rio e de lago, em Relação ao Sulfato de Alumínio

Nos ensaios de Jar test realizados através do processo de filtração direta para a água da lagoa do Peri, tanto a QTS como o S.A. foram eficientes na remoção da cor e da turbidez. Contudo a dose de QTS aplicada (2mg/L) foi 7,5 vezes menor que a dose de S.A.(15 mg/L).

Nos ensaios para a água de rio através do processo de decantação, ambos os coagulantes também foram eficientes, e novamente a dosagem ótima de QTS (1,5 mg/L), foi menor (9,3 vezes), que a dosagem ótima do S.A. (14 mg/L). O fato de se obter uma boa remoção na cor e na turbidez, com uma dose bem baixa de QTS, é uma das vantagens oferecidas. Outra vantagem importante é que com o emprego da quitosana aumenta sensivelmente a carreira de filtração, pois não haverá tanto acúmulo de sólidos nos filtros, devido a água decantada apresentar uma turbidez bem baixa. Também, é um polímero natural e não tóxico (sua dose oral letal é de >16 g/Kg), desta maneira não trará sérios riscos a saúde humana como o S.A. que em alguns estudos clínicos realizados por McLachlan (idem revisão bibliográfica), foi considerado um dos causadores do mal de Alzheimer. Mas a maior vantagem que a quitosana oferece sobre o S.A. é que a mesma por ser biodegradável gerará um lodo orgânico, fácil de tratar e que pode ser levado a um aterro sanitário comum. Já o sulfato de alumínio, por ter um metal tóxico (Al^{3+}), presente em sua estrutura irá gerar um lodo inorgânico tóxico, mais difícil de se tratar e deverá ser levado a um aterro sanitário industrial.

A única desvantagem que a QTS oferece é em relação ao preço. A importação da QTS custa R\$ 70,00/Kg. Como no Brasil ainda não se produz QTS em grande escala, somente em escala de laboratório e em escala piloto (Ceará, para produção de suplemento à indústria farmacêutica), apenas tem-se uma estimativa do preço (R\$ 30,00/Kg), mas esse preço pode vir a baixar (LARANJEIRA, 2000).

5.6.1. Produção da QTS no Brasil e suas Vantagens e Desvantagens

A quitosana é obtida a partir da quitina (QTI) e essa por sua vez é obtida a partir de cascas de camarão. Se a QTI começasse a ser produzida no Brasil, principalmente nas regiões litorâneas onde se produz bastante camarão, ocorreria uma despoluição ambiental. As cascas de camarão originárias no processamento da indústria pesqueira, são jogadas nos rios, mares, baías e lagoas. Também são enterradas nas praias e jogadas em aterro sanitário, onde a decomposição das proteínas pode causar a contaminação do solo. Com a produção da QTI e QTS essas cascas não seriam mais jogadas em lugares desapropriados e ainda seriam aproveitadas para a produção de um biopolímero natural.

Além da vantagem ambiental, tem-se a vantagem em reduzir ou evitar a importação e a facilidade na aquisição da matéria prima.

Contudo para que a produção da QTI e QTS se concretize é necessário que aumente a demanda interna ou externa e que tenha o apoio do Governo Federal, Governo Estadual, empresas privadas, usinas de beneficiamento e da comunidade pesqueira. É necessário também que haja um tratamento adequado dos resíduos originários na produção da QTI e QTS, tais como tratamento dos resíduos de proteínas, eliminação de pigmentos e neutralização dos resíduos alcalinos.

A China atualmente é uma das maiores produtoras de QTS do mundo e juntamente com a Índia e o Japão produzem quitosana de boa qualidade e com mão-de-obra barata. Atualmente no Brasil, como a demanda interna de QTS é muito pequena e está somente para a produção de suplemento à indústria farmacêutica, não compensa a produção da QTI e QTS. Mas futuramente se seu uso for expandido no Brasil e se a demanda externa for boa, essa produção será viável.

6. CONCLUSÕES

A quitosana mostrou ser um eficiente coagulante para o tratamento de água potável de baixa turbidez e de água de lago (Lagoa do Peri), através dos processos de coagulação/floculação/decantação/filtração e coagulação/filtração, respectivamente. Normalmente uma água bem coagulada/floculada e decantada usando sulfato de alumínio apresenta uma turbidez remanescente entre 2 a 1,5 NTU, entretanto com a quitosana foi de 0,50 NTU.

A dose de quitosana empregada em ambos os casos foi bem menor que a dose de sulfato de alumínio.

Seu pH ideal para o processo de decantação ficou na faixa de 6,35 a 6,70, pois nesta faixa de pH seu grupo amino está protonado e pode interagir com as partículas coloidais formando flocos.

Para a água de rio tratada com quitosana as melhores condições de tempo de mistura e gradiente de velocidade foram de 55s para a mistura rápida, G de 1200 s^{-1} , 30 minutos para mistura lenta, sequência de G de 50, 40, 30 e 20 s^{-1} , e tempo de decantação de 2 minutos. Para a água do lago as melhores condições encontradas foram de 30 s para a etapa de mistura rápida, e os gradientes de velocidade de 900, 1200 e 1600 s^{-1} forneceram bons resultados.

Com a quitosana a carreira de filtração (tempo de filtração entre lavagens) será bem maior, pois não haverá tanto acúmulo de sólidos impregnados nos filtros, sendo que a turbidez média da água decantada foi bem baixa (0,49 NTU).

A quitosana oferece várias vantagens sobre o sulfato de alumínio, pois além de ser eficiente como coagulante numa dosagem bem baixa (1,5 – 2,0 mg/L), é um polímero natural, não tóxico e biodegradável.

A quitosana representa um avanço em direção ao equilíbrio auto-sustentável, pois, o lodo proveniente dos tanques de decantação, não conteria elementos metálicos ou qualquer outra espécie potencialmente nociva as espécies vivas.

A mesma oferece a vantagem que após o processo de tratamento, o lodo poderá ser conduzido a um aterro sanitário comum, enquanto que com o sulfato de alumínio o resíduo final deverá ser disposto em aterro sanitário industrial.

A maior desvantagem oferecida pela quitosana no momento é a necessidade de importação devido a baixa produção nacional que eleva seu custo, mas a partir do

momento em que começar a ser produzida em grande quantidade no Brasil, esse custo tenderá a diminuir.

7. RECOMENDAÇÕES

Além dos ensaios de Jar test e das análises realizadas, recomenda-se fazer:

- ↳ Uma análise para se determinar a quantidade residual de quitosana que fica presente na água filtrada.
- ↳ Fazer novos ensaios de Jar test utilizando água de rio de turbidez alta (períodos de chuva).
- ↳ Buscar alternativas para melhorar a eficiência em presença de algas.
- ↳ Estudar os custos para uma grande produção de quitosana e para aplicação em Tratamento de Água.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKELAH, A., MOET, E A. **Functionalized Polymers and Their Applications**. 1. ed. New York: Chapman and Hall, 1990. 319 p.

APHA. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 18. ed. Washington: American Public Health Association, D.C., 1992.

AZEVEDO NETO, M. J., RICHTER, A. A. **Tratamento de Água. Tecnologia Atualizada**. 2 ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1991. 26 e 54 p.

AZEVEDO, J. M. e colaboradores. **Técnica de Abastecimento de Água**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 1979.

BENNETT, L. E., DRIKAS, M. The evaluation of colour in natural waters. **Water Research**, v. 27, n. 7, p. 1209 – 1218, 1993.

BURRIEL, M. F., CONDE, L. F., JIMENO, A. S., MÉNDEZ, H. J. **Química Analítica Cualitativa** . 4. ed. Móstoles – Madrid : Editorial Paraninfo S.A., 1994. 158 p.

CLAYTON, B. E. Report of the lowermoor incident advisory group. **J. Ind. Med.** DoE, London, v. 40, n. 3, p. 301 – 304, 1989.

COTTON, F. A., GEOFFREY, W. **Química Inorgânica**. Rio de Janeiro: Editora S.A. – Livros Técnicos e Científicos, 1978. 259 e 618 p.

DALSASSO, R. L. **Pré-Ozonização de Águas Contendo Agrotóxico, Seguida de Filtração Direta**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. v.1. Rio de Janeiro: ABES, 1993.

DI BERNARDO, L., DE PÁDUA, V. L. e LIBÂNIO, M. **Otimizacion de Gradientes de Velocidad en la Floculacion**. Seminário sobre Optimizacion de Plantas de Potabilizacion. XXVI Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental. Lima – Peru, 1998.

FERREIRA, F. S. S., LAGE, F. A. F. Comportamento Químico do Alumínio e do Ferro em meio Aquoso e Implicações no Tratamento de Água. **Revista SANARE**, v. 6, n. 6, p. 50, 1996.

FURLAN, L. **Adsorção de Corantes Reativos e Fotossensíveis por Aminopolissacarídeos Natutais**. 1997. Tese (Doutorado em Química) - Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GACÉN, J., GACÉN, I. Quitina y Quitosano. Nuevos Materiales Textiles. **Boletin Intexter**, n. 110, p. 67 - 71, dic. 1996.

GANJIDOUST, H., TATSUMI, K., YAMAGISHI, T., GHOLIAN, R. N. Effect of Synthetic and Natural Coagulant. **Water Sci. Technol.**, v. 35, n. 2, p. 291-296, 1997.

HUANG, C., CHEN, S., PAN, R. J. Optimal condition for modification of Chitosan: a biopolymer for coagulation of colloidal particles. **Water Research**, v. 34, n. 3, p. 1057, 2000.

HUANG, C., CHEN, Y. Coagulation of Colloidal Particles in Water by Chitosan. **J. Chem. Tech. Biotechnol.** Hsinchu, Taiwan, v. 66, p. 227 – 232, jan. 1996.

JUANG, R. S., TSENG, R. L., WU, F. C. J. Adsorption Behavior of Reactive from Aqueos Solution on Chitosan. **Chem. Tech. Biotechnol**, v. 70, p. 391, 1997.

KAWAMURA, S. Effectiveness of Natural Polyelectrolytes in Water Treatment. **Journal Awwa**. Japan, v. 79, n. 6, p. 88, oct. 1991.

KIMURA, I. Y., GONÇALVES, A. C., STOLBERG, J., LARANJEIRA, M. C. M., FÀVERE, V. T. Efeito do ph e do tempo de contato na adsorção de Corantes Reativos por Microesferas de Quitosana. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 65, p. 1-7, 1999.

KOID, S. S. Chitin-Chitosan: properties, benefits and risks. **Nutrition Research**, v. 18, n. 6, p. 1091 – 1101, 1998.

LAUDARES SILVA, R. **Aspectos limnológicos, variabilidade espacial e temporal na estrutura da comunidade fitoplanctônica da lagoa do Peri, Santa Catarina, Brasil**. 1999b. 216 f. Tese (Doutorado em Biologia) – Departamento de Biologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

LARANJEIRA.....

LAUDARES SILVA, R. **Fitoplâncton**. In: SORIANO SIERRA, E.(Coord.). Diagnóstico ambiental e programa de monitoramento da lagoa do Peri, ilha de Santa Catarina, SC. NEMAR.CCB/UFSC. 1999a. 34 p.

LIBÂNIO, M., PÀDUA, L. V., DI BERNARDO, L. Análise da influência da variação dos gradientes de velocidade no desempenho das unidades de floculação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 63 – 68, abr/jun. 1997.

LIBÂNIO, M., PÀDUA, L. V., DI BERNARDO, L. Avaliação do modelo de Argaman & Kaufman na estimativa do desempenho de unidades de floculação aplicadas ao tratamento das águas de abastecimento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 11 – 18, abr/jun. 1996.

MATHUR, N. K., NARANG, K. C. Chitin and Chitosan, Versatile Polysaccharides from marine animals. **Journal of Chemical Education**, v. 67, n. 11, p. 938, nov. 1990.

McLACHLAN, C. R. D. Aluminium and the risk for Alzheimer' Disease. **Environmetrics**, Toronto, Canada, v. 6, p.233 – 275, 1995.

Ministério da Saúde (MS). Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990, Caderno Legislativo nº 001/97.

MUZZARELLI, R. A. A. **Chitin**. Oxford, Pergamam Press, 1978.

PALMER, M. **Algae in Water Supplies**. A manual for Water Works Operators and Others Concerned with Algae in Relation to Water Quality. Department of Health, Education and Welfare. Robert A. Taft Sanitary Engineering Center, Cincinnati, USA ,1958.

PAN, R. J., HUANG, C., CHEN, S., CHUNG, C. Y. Evaluation of modified chitosan for coagulation of colloidal particles. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 147, p. 359 – 364, 1999.

RHEE, J. S., JUNG, M. W., PAENG, K. J. Evaluation of Chitin and Chitosan as a Sorbent for the Preconcentration of Phenol and Chlorophenols in Water. **Analytical Sciences**, v. 14, p. 1089, 1998.

SANTHANA, K. V., ATTIA, Y. A. **Polymeric Flocculants**. Columbus – Ohio, 1987. 500 p.

SENS, L. M., DALSSASSO, L. R., BASSANI, L., ROSAR, A., OLIVEIRA, E. F. **Projeto: Estudos para adequação e otimização da estação de tratamento de água da grande Florianópolis**. Relatório parcial 03. Florianópolis, jun. 1999.

SIEVERS, D. M. Rapid mixing influences on chemical coagulation of manures.

Biological Wastes, v. 28, p. 103 – 114, 1989.

SILVA CARVALHO, R. **Quitosana usada como polímero modificador de eletrodos sólidos**. 2000. 24 f. Tese (Doutorado em Química) – Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SILVERSTEIN, R. M., BASSLER, C. G., MORILL, C. T. **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S. A., 1979.

SOLOMONS GRAHAN, T. W. **Organic Chemistry**. 3. ed. New York, 1984. 804 p.

SRINIVASAN, P. T., VIRARAGHAVAN, T., SUBRAMANIAN, S. K. Aluminium in drinking water: An overview. **Water AS**, v. 25, n. 1, p. 47 – 55, jan. 1999.

STEPHENSON, J. R., DUFF, J. S. Coagulation and precipitation of a mechanical pulping effluent I – removal. **Wat. Res.** v. 30, n. 4, p. 781 – 792, 1996.

SULFATO DE ALUMÍNIO. In: The dictionary of substances and their effects, Editor M.L., Chardson Royal Society of Chemistry, v. 4, 1992.

THOMAS, N. D., JUDD, S. J., FAWCETT, N. Flocculation modelling: a review. **Wat. Res.**, v. 33, n. 7, p. 1579 – 1592, 1999.

TOZAKI, H., KOMOIKE, J., TADA, C. Chitosan Capsules for Colon-Specific Drug Delivery : Improvement of Insulin Absorption from Rat Colon. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 86, n. 9, p.1016-1021, 1997.

VIANNA ROCHA, M. **Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento de Água**. 2. Ed. Belo Horizonte – Minas Gerais: Editora do Instituto de Engenharia Aplicada, 1985. 21 p.

YANG, T. C., ZALL, R. R. Absorption of metals by natural polymers generated from seafood Processing wastes. **Ind. Eng. Chem. Res. Div.**, v. 23, p. 168, 1984.

YAO, K., PENG, T., FENG, B.H., HE, Y. Y. Swelling Kinetics and Release Characteristic of Crosslinked Chitosan: Polyether Polymer Network (Semi-IPN) Hydrogels. **Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry**. Tianjin, China, v. 32, p. 1213 – 1233, 1994.

ZARPELON, A. Água: Preservar é preciso. **Revista SANARE**, v. 5, n. 5, p. 6, 1996.

9. ANEXOS

ANEXO 1

QTS USADA COMO COAGULANTE PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA DE RIO DE BAIXA TURBIDEZ

(a) Ensaio para a construção dos diagramas de coagulação

Foram realizados ensaios de coagulação/floculação/decantação, com o objetivo de encontrar a dosagem ótima de quitosana, cal e o ótimo pH de coagulação.

Observação: A turbidez e a cor medida nos ensaios a seguir foram a remanescente e a aparente respectivamente

Ensaio 1

Jarro	Dose de cal (mg/L)	pH de coagulação	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	0	6,23	0,5	4,11	20	4,10	20
2	0	6,00	1,0	5,11	15	5,74	15
3	0	5,71	1,5	4,09	20	4,09	20
4	0	5,28	2,5	4,11	20	4,11	20
5	0	4,90	4,0	4,10	20	4,09	20
6	0	4,73	5,0	4,07	20	4,08	20

Ensaio 2

Jarro	Dose de cal (mg/L)	pH de coagulação	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	0,75	6,35	0,5	4,11	20	4,14	20
2	0,75	6,07	1,0	4,67	15	4,66	15
3	0,75	5,67	1,5	4,09	20	4,13	20
4	0,75	5,11	2,5	4,07	20	4,10	20
5	0,75	4,86	4,0	4,10	20	4,14	20
6	0,75	4,75	5,0	4,10	20	4,10	20

Ensaio 3

Jarro	Dose de cal (mg/L)	pH de coagulação	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	1,50	6,43	0,5	4,41	20	4,13	20
2	1,50	6,17	1,0	4,08	10	4,16	10
3	1,50	5,86	1,5	4,80	20	4,12	20
4	1,50	5,19	2,5	4,64	20	4,27	20
5	1,50	4,96	4,0	4,59	20	4,15	20
6	1,50	4,72	5,0	4,53	20	4,13	20

Ensaio 4

Jarro	Dose de cal (mg/L)	pH de coagulação	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	3,0	6,63	0,5	4,17	15	3,67	20
2	3,0	6,53	1,0	3,98	10	2,46	5
3	3,0	6,35	1,5	2,56	20	2,27	5
4	3,0	5,51	2,5	3,93	20	4,06	20
5	3,0	5,12	4,0	4,65	20	3,69	20
6	3,0	4,76	5,0	4,11	20	3,78	20

Ensaio 5

Jarro	Dose de cal (mg/L)	pH de coagulação	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	4,50	6,36	0,5	4,63	20	4,45	20
2	4,50	6,30	1,0	3,71	15	3,37	15
3	4,50	6,08	1,5	4,26	15	3,47	15
4	4,50	5,58	2,5	4,85	20	4,66	20
5	4,50	5,03	4,0	4,76	20	4,46	20
6	4,50	4,87	5,0	4,63	20	4,26	20

Ensaio 6

Jarro	Dose de cal (mg/L)	pH de coagulação	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	6,00	6,60	0,5	3,92	20	4,04	20
2	6,00	6,54	1,0	3,82	15	3,02	15
3	6,00	6,36	1,5	3,29	15	2,98	20
4	6,00	5,83	2,5	4,45	20	4,42	20
5	6,00	5,14	4,0	3,99	20	4,52	20
6	6,00	4,91	5,0	4,42	20	3,98	20

Ensaio 7

Jarro	Dose de cal (mg/L)	pH de coagulação	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	7,50	8,74	0,5	4,16	20	3,99	20
2	7,50	8,67	1,0	4,47	20	4,11	20
3	7,50	7,51	1,5	2,61	15	3,82	10
4	7,50	6,56	2,5	4,77	20	4,48	20
5	7,50	5,51	4,0	4,33	20	3,95	20
6	7,50	5,23	5,0	4,27	20	3,97	20

Ensaio 8

Jarro	Dose de cal (mg/L)	pH de coagulação	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	9,00	7,63	0,5	4,52	20	4,33	20
2	9,00	7,39	1,0	4,66	20	4,30	20
3	9,00	7,23	1,5	2,61	15	2,55	10
4	9,00	7,19	2,5	5,05	20	4,52	20
5	9,00	5,66	4,0	4,37	20	4,12	20
6	9,00	5,19	5,0	4,54	20	4,34	20

(b) Ensaio para determinação do melhor Tempo de Mistura Rápida (TMR) e o melhor Gradiente de Velocidade (G)

Ensaio 9

Jarro	G (s^{-1})	Dose de Cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH	TMR (s)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	600	3,00	1,5	6,90	5	4,90	18	4,31	18
2	600	3,00	1,5	7,13	10	5,16	18	4,89	18
3	600	3,00	1,5	7,12	15	4,87	18	4,01	15
4	600	3,00	1,5	7,03	20	3,94	7,5	3,05	10
5	600	3,00	1,5	6,85	25	4,87	18	4,58	18
6	600	3,00	1,5	6,74	30	4,67	18	4,34	18

Ensaio 10

Jarro	G (s ⁻¹)	Dose de Cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH	TMR (s)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	900	3,00	1,5	6,90	5	4,75	18	4,33	18
2	900	3,00	1,5	6,92	10	4,43	15	3,39	10
3	900	3,00	1,5	6,77	15	4,32	15	3,50	10
4	900	3,00	1,5	6,55	20	4,46	18	4,22	18
5	900	3,00	1,5	6,43	25	4,64	18	4,49	18
6	900	3,00	1,5	6,34	30	4,48	18	3,98	18

Ensaio 11

Jarro	G (s ⁻¹)	Dose de Cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH	TMR (s)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	1200	3,00	1,5	6,65	5	4,34	18	3,91	10
2	1200	3,00	1,5	6,84	10	4,02	10	3,27	10
3	1200	3,00	1,5	6,67	15	4,15	10	2,90	5
4	1200	3,00	1,5	6,66	20	4,09	15	3,42	10
5	1200	3,00	1,5	6,60	25	4,16	18	3,43	10
6	1200	3,00	1,5	6,45	30	4,49	18	4,02	18

Ensaio 12

Jarro	G (s ⁻¹)	Dose de Cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH	TMR (s)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	1200	3,00	1,5	6,65	5	4,90	18	4,31	18
2	1200	3,00	1,5	6,84	10	5,16	18	4,89	18
3	1200	3,00	1,5	6,67	15	4,87	18	4,01	15
4	1200	3,00	1,5	6,66	20	3,94	7,5	3,05	10
5	1200	3,00	1,5	6,60	25	4,87	18	4,58	18
6	1200	3,00	1,5	6,45	30	4,67	18	4,34	18
7	1200	3,00	1,5	6,61	35	2,27	10	1,64	5
8	1200	3,00	1,5	6,69	40	2,97	10	2,42	5
9	1200	3,00	1,5	6,58	45	2,67	5	2,67	5
10	1200	3,00	1,5	6,51	50	2,54	5	1,79	5
11	1200	3,00	1,5	6,56	55	2,32	5	1,29	5
12	1200	3,00	1,5	6,23	60	5,04	18	3,62	10
13	1200	3,00	1,5	6,39	65	3,74	10	2,46	5
14	1200	3,00	1,5	6,35	70	3,77	10	2,79	5
15	1200	3,00	1,5	6,31	75	3,65	10	1,99	5
16	1200	3,00	1,5	6,23	80	5,22	18	4,38	18

(c) Ensaio para determinação do melhor Tempo de Mistura Lenta (TML) e do melhor Gradiente de Velocidade (G)

Ensaio 13

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	TMR (s)	G (s^{-1})	TML (mim.)	G (s^{-1})	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	3,0	1,5	6,68	55	1200	10	10	3,01	20	3,03	20
2	3,0	1,5	6,40	55	1200	15	10	3,56	20	2,83	15
3	3,0	1,5	6,54	55	1200	20	10	3,18	20	2,86	15
4	3,0	1,5	6,53	55	1200	30	10	2,55	15	2,16	15
5	3,0	1,5	6,52	55	1200	45	10	2,12	15	1,78	13
6	3,0	1,5	6,58	55	1200	60	10	2,80	15	0,150	10

Ensaio 14

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	TMR (s)	G (s^{-1})	TML (mim.)	G (s^{-1})	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	3,0	1,5	6,44	55	1200	10	20	2,13	15	2,62	15
2	3,0	1,5	6,37	55	1200	15	20	2,40	15	1,77	15
3	3,0	1,5	6,46	55	1200	20	20	2,14	20	1,87	15
4	3,0	1,5	6,50	55	1200	30	20	2,29	20	0,139	10
5	3,0	1,5	6,43	55	1200	45	20	0,147	10	0,135	10
6	3,0	1,5	6,45	55	1200	60	20	2,09	15	0,144	10

Ensaio 15

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	TMR (s)	G (s^{-1})	TML (mim.)	G (s^{-1})	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	3,0	1,5	6,68	55	1200	10	30	2,63	15	2,30	15
2	3,0	1,5	6,40	55	1200	15	30	2,38	15	2,69	15
3	3,0	1,5	6,54	55	1200	20	30	2,15	15	1,99	15
4	3,0	1,5	6,53	55	1200	30	30	0,147	10	0,169	10
5	3,0	1,5	6,52	55	1200	45	30	0,299	10	0,147	10
6	3,0	1,5	6,58	55	1200	60	30	1,88	15	0,129	10

Ensaio 16

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	TMR (s)	G (s^{-1})	TML (mim.)	G (s^{-1})	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	3,0	1,5	6,68	55	1200	10	40	2,66	15	2,33	15
2	3,0	1,5	6,40	55	1200	15	40	2,08	15	2,58	15
3	3,0	1,5	6,54	55	1200	20	40	2,53	15	2,24	15
4	3,0	1,5	6,53	55	1200	30	40	1,97	10	1,55	15
5	3,0	1,5	6,52	55	1200	45	40	0,135	15	1,48	10
6	3,0	1,5	6,58	55	1200	60	40	1,94	15	1,39	10

Ensaio 17

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	TMR (s)	G (s^{-1})	TML (mim.)	G (s^{-1})	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	3,0	1,5	6,68	55	1200	10	65	2,83	18	2,61	15
2	3,0	1,5	6,40	55	1200	15	65	2,26	15	2,61	15
3	3,0	1,5	6,54	55	1200	20	65	2,20	15	2,92	18
4	3,0	1,5	6,53	55	1200	30	65	1,93	10	2,42	15
5	3,0	1,5	6,52	55	1200	45	65	2,60	15	2,43	15
6	3,0	1,5	6,58	55	1200	60	65	2,71	18	2,60	15

Ensaio 18

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	TMR (s)	G (s^{-1})	TML (mim.)	G (s^{-1})	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	3,0	1,5	6,68	55	1200	10	75	2,56	15	2,53	15
2	3,0	1,5	6,40	55	1200	15	75	2,02	15	2,06	15
3	3,0	1,5	6,54	55	1200	20	75	1,77	15	1,25	10
4	3,0	1,5	6,53	55	1200	30	75	0,193	10	1,18	10
5	3,0	1,5	6,52	55	1200	45	75	0,145	10	1,14	10
6	3,0	1,5	6,58	55	1200	60	75	0,137	10	1,13	10

(d) Ensaios para determinação da melhor seqüência de gradiente de velocidade

Ensaio 19

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	TMR (s)	G (s^{-1})	TML (mim.)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	3,0	1,5	6,68	55	1200	30	2,43	15	2,18	15
2	3,0	1,5	6,40	55	1200	30	2,01	15	1,69	10
3	3,0	1,5	6,54	55	1200	30	1,77	10	1,95	15
4	3,0	1,5	6,53	55	1200	30	1,92	15	1,57	10
Média							2,03	14	1,85	13

Seqüência de G utilizada: 75, 40, 30 e 30 s-1

Ensaio 20

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	TMR (s)	G (s^{-1})	TML (mim.)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	3,0	1,5	6,68	55	1200	30	2,19	15	1,51	10
2	3,0	1,5	6,40	55	1200	30	2,75	15	2,11	15
3	3,0	1,5	6,54	55	1200	30	2,59	15	2,23	15
Média							2,51	15	1,95	13

Seqüência de G utilizada: 75, 40, 30 e 20 s-

Ensaio 21

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	TMR (s)	G (s^{-1})	TML (mim.)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	3,0	1,5	6,68	55	1200	30	2,00	10	0,528	5
2	3,0	1,5	6,40	55	1200	30	1,85	10	0,379	5
3	3,0	1,5	6,54	55	1200	30	2,20	15	0,460	5
4	3,0	1,5	6,53	55	1200	30	1,88	10	0,470	5
Média							1,98	12	0,460	5

Seqüência de G utilizada: 50, 40, 30 e 20 s-1

Ensaio 22

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	TMR (s)	G (s^{-1})	TML (mim.)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	3,0	1,5	6,68	55	1200	30	2,10	15	1,71	15
2	3,0	1,5	6,40	55	1200	30	2,69	15	1,90	15
3	3,0	1,5	6,54	55	1200	30	2,35	15	2,38	15
Média							2,38	15	2,00	15

Seqüência de G utilizada: 40, 20, 20 e 20 s-1

(e) Ensaio para determinação do Tempo de Decantação (Td)

↳ Parâmetros usados: TMR de 55s, G de 1200 s^{-1} , TML de 30 minutos.

Ensaio 23

Variação do G	Turbidez Média Td = 1',20''	Cor Média Td = 1',20''	Turbidez Média Td = 2'	Cor Média Td = 2'	Turbidez Média Td = 3',36''	Cor Média Td = 3',36''	Turbidez Média Td = 7',27''	Cor Média Td = 7',27''
Água decantada G (a)	2,14	10	0,49	5	0,47	5	0,44	5
Água filtrada G (a)	0,26	5	0,23	5	0,21	5	0,19	5
Água decantada G (b)	2,54	20	2,22	15	1,78	15	2,05	15
Água filtrada G (b)	0,33	5	0,29	5	0,30	5	0,21	5

G (a) = 50, 40, 30 e 20 s^{-1}

G(b) = 40,20, 20 e 20 s^{-1}

(f) Último ensaio realizado com o sistema otimizado

Condições utilizadas: TMR de 55s, G de 1200 s^{-1} , TML de 30 minutos associado a um G de 50, 40, 30 e 20 s^{-1} e Td de 2 minutos.

Ensaio 24

Jarro	Turbidez (NTU) para a água decantada	Turbidez (NTU) para a água filtrada	Cor (uc) para a água decantada	Cor (uc) para a água filtrada
1	0,49	0,23	5	5
2	0,48	0,24	5	5
3	0,49	0,22	5	5

ANEXO 2

QUITOSANA USADA COMO COAGULANTE PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA DE LAGO (LAGOA DO PERI)

(a) Determinação dos diagramas de coagulação

Foram realizados ensaios de coagulação/floculação/decantação, com o objetivo de encontrar a dosagem ótima de QTS, cal e o ótimo pH de coagulação.

Observações: A turbidez e a cor medida nos ensaios a seguir foram a remanescente e a aparente respectivamente

Ensaio 25

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	0,75	2,5	5,36	50	6,09	60
2	3,0	2,5	5,31	50	5,88	50
3	4,5	2,5	4,92	40	4,35	40
4	6,0	2,5	4,38	40	4,84	40
5	7,5	2,5	4,48	40	5,19	50

6	9,0	2,5	4,49	40	4,77	40
---	-----	-----	------	----	------	----

Ensaio 26

	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	5,25	0,5	6,31	60	5,85	50
2	5,25	2,5	5,31	50	5,06	50
3	5,25	4,0	5,12	50	5,23	50
4	5,25	5,0	5,61	50	6,17	60
5	5,25	7,5	5,79	50	5,57	50
6	5,25	10	5,37	50	5,53	50

Ensaio 27

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	5,25	2,0	4,82	50	5,44	50
2	5,25	2,5	5,37	50	5,18	50
3	5,25	3,0	5,38	50	4,42	50
4	5,25	3,5	5,15	50	4,71	50
5	5,25	4,0	4,88	50	5,45	50
6	5,25	4,5	4,91	50	4,88	50

Ensaio 28

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	6,0	2,0	6,59	60	6,56	60
2	6,0	2,5	5,60	50	5,45	50
3	6,0	3,0	5,63	50	5,74	50
4	6,0	3,5	5,73	50	4,95	50
5	6,0	4,0	5,63	50	4,51	50
6	6,0	4,5	5,22	50	5,41	50

Ensaio 29

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	4,8	2,5	6,01	60	6,47	60
2	5,25	2,5	6,53	60	5,71	50
3	6,3	2,5	6,32	60	5,09	50
4	6,75	2,5	7,12	60	5,71	50
5	8,25	2,5	6,28	60	5,10	50
6	9,75	2,5	6,05	60	6,17	60

Ensaio 30

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	0	0,5	6,23	60	6,76	60
2	0	2,5	5,96	50	5,93	50
3	0	4,0	6,12	60	6,10	60
4	0	5,0	6,39	60	6,34	60
5	0	7,5	6,23	60	6,36	60
6	0	10	5,69	50	6,17	60

Ensaio 31

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	6,0	1,0	4,77	50	4,94	50
2	6,0	1,5	4,41	50	4,63	50
3	6,0	2,0	5,14	50	4,81	50
4	6,0	2,5	4,50	50	4,32	50
5	6,0	3,0	4,88	50	4,72	50
6	6,0	3,5	4,79	50	4,99	50

Ensaio 32

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	4,5	1,0	6,20	60	7,15	60
2	4,5	1,5	5,95	50	6,76	60
3	4,5	2,0	5,04	50	6,37	60
4	4,5	2,5	5,43	50	6,09	60
5	4,5	3,0	5,16	50	5,70	50
6	4,5	3,5	4,63	40	5,42	50

Ensaio 33

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	5,25	1,0	7,75	60	7,55	60
2	5,25	1,5	6,14	60	6,99	60
3	5,25	2,0	6,04	60	6,62	60
4	5,25	2,5	5,01	50	6,31	60
5	5,25	3,0	4,95	50	5,89	50
6	5,25	3,5	4,60	50	5,60	50

Obs: os flocos formados nos ensaios de 24 a 32 ficaram muito finos e leves e flotaram. Somente uma minoria após ≈ 10 minutos de decantação, decantaram.

(b) Tratamento de água da lagoa do Peri através do processo de coagulação/filtração

↪ **Teste preliminares para a determinação da melhor dose de cal e QTS**

Ensaio 34

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	Turbidez (NTU) – após filtração	Cor (uc) – após filtração
1	0	0,5	6,81	0,800	5
2	0	1,0	6,41	0,592	5
3	0	1,5	5,94	0,530	5
4	0	2,0	5,54	0,262	5
5	0	2,5	5,29	0,457	5
6	0	3,0	5,11	0,336	5

Ensaio 35

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	Turbidez (NTU) – após filtração	Cor (uc) – após filtração
1	0,75	0,5	7,15	1,16	10
2	0,75	1,0	7,05	2,09	15
3	0,75	1,5	6,84	1,98	15
4	0,75	2,0	6,10	1,85	15
5	0,75	2,5	5,44	1,55	15
6	0,75	3,0	5,08	1,05	10

Ensaio 36

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	Turbidez (NTU) – após filtração	Cor (uc) – após filtração
1	3,0	0,5	7,73	0,800	5
2	3,0	1,0	7,00	0,728	5
3	3,0	1,5	6,69	0,646	5
4	3,0	2,0	6,22	0,712	5
5	3,0	2,5	6,10	0,968	5
6	3,0	3,0	5,89	1,41	10

↳ Determinação do melhor Tempo de Mistura Rápida (TMR) e do melhor Gradiente de Velocidade (G)

Ensaio 37

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	G (s ⁻¹)	TMR (s)	Turbidez (NTU) – após filtração	Cor (uc) – após filtração
1	0	2,0	5,57	600	5	0,671	5
2	0	2,0	5,50	600	10	0,591	5
3	0	2,0	5,53	600	15	0,580	5
4	0	2,0	5,49	600	20	0,553	5
5	0	2,0	5,52	600	25	0,536	5
6	0	2,0	5,50	600	30	0,289	5

Ensaio 38

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	G (s ⁻¹)	TMR (s)	Turbidez (NTU) – após filtração	Cor (uc) – após filtração
1	0	2,0	5,50	900	5	0,484	5
2	0	2,0	5,52	900	10	0,388	5
3	0	2,0	5,53	900	15	0,383	5
4	0	2,0	5,49	900	20	0,358	5
5	0	2,0	5,52	900	25	0,333	5
6	0	2,0	5,48	900	30	0,265	5

Ensaio 39

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	G (s ⁻¹)	TMR (s)	Turbidez (NTU) – após filtração	Cor (uc) – após filtração
1	0	2,0	5,55	1200	5	0,398	5
2	0	2,0	5,50	1200	10	0,353	5
3	0	2,0	5,52	1200	15	0,344	5
4	0	2,0	5,49	1200	20	0,365	5
5	0	2,0	5,53	1200	25	0,289	5
6	0	2,0	5,50	1200	30	0,278	5

Ensaio 40

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	G (s ⁻¹)	TMR (s)	Turbidez (NTU) – após filtração	Cor (uc) – após filtração
1	0	2,0	5,58	1500	5	0,402	5
2	0	2,0	5,50	1500	10	0,384	5
3	0	2,0	5,53	1500	15	0,348	5
4	0	2,0	5,50	1500	20	0,328	5
5	0	2,0	5,53	1500	25	0,307	5
6	0	2,0	5,51	1500	30	0,299	5

Ensaio 41

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	G (s ⁻¹)	TMR (s)	Turbidez (NTU) – após filtração	Cor (uc)- após filtração
2	0	2,0	5,50	900	15	0,360	5
3	0	2,0	5,53	900	30	0,349	5
4	0	2,0	5,49	900	45	0,414	5
5	0	2,0	5,52	900	60	0,468	5
6	0	2,0	5,50	900	90	0,490	5

Ensaio 42

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	pH de coagulação	G (s ⁻¹)	TMR (s)	Turbidez (NTU) – após filtração	Cor (uc) – após filtração
1	0	2,0	5,57	1200	5	0,360	5
2	0	2,0	5,50	1200	15	0,346	5
3	0	2,0	5,53	1200	30	0,328	5
4	0	2,0	5,49	1200	45	0,359	5
5	0	2,0	5,52	1200	60	0,360	5
6	0	2,0	5,50	1200	90	0,457	5

ANEXO 3

SULFATO DE ALUMÍNIO USADO COMO COAGULANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE LAGO (LAGOA DO PERI)

(a) Determinação dos diagramas de coagulação

Foram realizados ensaios de coagulação/floculação/decantação, com o objetivo de encontrar a dosagem ótima de S.A., cal e o ótimo pH de coagulação.

Observação: A cor não foi medida porque o colorímetro permitia a leitura somente até 100 uc e a mesma estava acima desta unidade.

Ensaio 43

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de S. A. (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20''	Turbidez (NTU) Td = 4',40''
1	0	10	10,40	11,50
2	0,75	10	10,90	10,30
3	1,5	10	10,60	9,72
4	3,0	10	8,28	8,47
5	4,5	10	8,50	8,39
6	6,0	10	9,55	8,60

Ensaio 44

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de S. A. (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20''	Turbidez (NTU) Td = 4',40''
1	3,0	5	8,04	8,13
2	3,0	10	9,50	9,25
3	3,0	15	9,52	9,82
4	3,0	20	9,50	9,70
5	3,0	25	10,01	7,60
6	3,0	30	9,02	8,89

Ensaio 45

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de S. A. (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20''	Turbidez (NTU) Td = 4',40''
1	3,0	35	8,97	9,02
2	3,0	40	9,71	10,5
3	3,0	45	9,94	10,0
4	3,0	50	9,52	10,4
5	3,0	55	9,23	9,12
6	3,0	60	9,59	8,96

Obs: os flocos formados nos ensaios 42, 43 e 44 ficaram muito finos e leves e flotaram. Somente alguns após \approx 20 minutos de decantação, decantaram.

(b) Uso do S. A. como coagulante para a água da lagoa do Peri através do processo de coagulação/filtração (filtração direta)

↳ Determinação da melhor dose de cal e sulfato de alumínio

Ensaio 46

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de S. A. (mg/L)	pH de coagulação	Turbidez (NTU) – após filtração
1	3,0	1,5	7,90	0,481
2	3,0	2,5	7,59	0,535
3	3,0	4,0	7,23	1,31
4	3,0	5,0	7,13	1,23
5	3,0	10,0	6,90	1,36
6	3,0	15,0	6,65	1,37

Ensaio 47

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de S. A. (mg/L)	pH de coagulação	Turbidez (NTU) – após filtração
1	3,0	0,5	8,06	1,85
2	3,0	1,0	8,03	1,45
3	0	1,5	6,81	1,40
4	1,5	1,5	7,19	1,41
5	3,0	1,5	8,02	1,51
6	4,5	1,5	9,18	1,62
7	6,0	1,5	9,27	1,65
8	7,5	1,5	9,37	1,89

Ensaio 48

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de S. A. (mg/L)	pH coagulação	Turbidez (NTU) – após filtração
1	0,0	2,5	6,72	1,31
2	1,5	2,5	7,16	1,15
3	3,0	2,5	7,85	1,22
4	4,5	2,5	8,97	1,29
5	6,0	2,5	9,35	1,39
6	7,5	2,5	9,62	1,38

Ensaio 49

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de S. A. (mg/L)	pH coagulação	Turbidez (NTU) – após filtração
1	0,0	5,0	6,69	0,750
2	1,5	5,0	7,02	1,13
3	3,0	5,0	7,33	1,03
4	4,5	5,0	7,93	1,28
5	6,0	5,0	8,78	1,46
6	7,5	5,0	9,17	1,34

Ensaio 50

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de S. A. (mg/L)	pH coagulação	Turbidez (NTU) – após filtração
1	0,0	10	6,25	0,465
2	1,5	10	6,59	0,618
3	3,0	10	6,68	0,701
4	4,5	10	7,02	0,853
5	6,0	10	7,49	0,942
6	7,5	10	8,35	1,22

Ensaio 51

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de S. A. (mg/L)	pH coagulação	Turbidez (NTU) – após filtração
1	0,0	15	5,63	0,243
2	1,5	15	6,10	0,320
3	3,0	15	6,37	0,342
4	4,5	15	6,65	0,401
5	6,0	15	6,90	0,513
6	7,5	15	7,14	0,750

Ensaio 52

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de S. A. (mg/L)	pH coagulação	Turbidez (NTU) – após filtração
1	0,0	20	5,29	0,308
2	1,5	20	5,60	0,288
3	3,0	20	5,95	0,478
4	4,5	20	6,22	0,296
5	6,0	20	6,31	0,432
6	7,5	20	6,58	0,623

Ensaio 53

Jarro	Dose de Cal (mg/L)	Dose de S. A. (mg/L)	pH coagulação	Turbidez (NTU) – após filtração
1	0,0	15	5,72	0,290
2	1,05	15	5,91	0,388
3	1,5	15	6,01	0,444

↳ Determinação do melhor Tempo de Mistura Rápida (TMR) e do melhor Gradiente de Velocidade (G)

Ensaio 54

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	TMR (s)	G (s ⁻¹)	Turbidez (NTU) – após filtração	Cor (uc) – após filtração
1	0	15	5	600	0,492	5
2	0	15	15	600	0,470	5
3	0	15	30	600	0,310	5
4	0	15	45	600	0,328	5
5	0	15	60	600	0,409	5
6	0	15	90	600	0,517	5

Ensaio 55

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	TMR (s)	G (s ⁻¹)	Turbidez (NTU) – após filtração	Cor (uc) – após filtração
1	0	15	5	900	0,425	5
2	0	15	15	900	0,383	5
3	0	15	30	900	0,318	5
4	0	15	45	900	0,329	5
5	0	15	60	900	0,403	5
6	0	15	90	900	0,496	5

Ensaio 56

Jarro	Dose de cal	Dose de	TMR (s)	G (s ⁻¹)	Turbidez	Cor (uc) –
-------	-------------	---------	---------	----------------------	----------	------------

	(mg/L)	S.A. (mg/L)			(NTU) – após filtração	após filtração
1	0	15	5	1200	0,268	5
2	0	15	15	1200	0,256	5
3	0	15	30	1200	0,250	5
4	0	15	45	1200	0,279	5
5	0	15	60	1200	0,390	5
6	0	15	90	1200	0,457	5

Ensaio 57

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	TMR (s)	G (s ⁻¹)	Turbidez (NTU) – após filtração	Cor (uc) – após filtração
1	0	15	5	1500	0,398	5
2	0	15	15	1500	0,360	5
3	0	15	30	1500	0,348	5
4	0	15	45	1500	0,356	5
5	0	15	60	1500	0,402	5
6	0	15	90	1500	0,493	5

ANEXO 4

QTS USADA COMO POLIELETRÓLITO AUXILIAR AO SULFATO DE ALUMÍNIO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE RIO DE BAIXA TURBIDEZ

(a) Ensaio para a construção dos diagramas de coagulação

Foram realizados ensaios de coagulação/floculação/decantação, com o objetivo de encontrar a dosagem ótima de S.A., cal e o ótimo pH de coagulação.

Observações: A turbidez e a cor medida nos ensaios seguintes foram a remanescente e a aparente respectivamente

Ensaio 58

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	pH de coagulação	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	4,5	10	6,68	3,21	20	3,23	20
2	4,5	12,5	6,59	3,27	20	3,31	20
3	4,5	15	6,41	2,81	20	2,62	20
4	4,5	17,5	6,36	3,74	20	3,71	20
5	4,5	20	6,16	3,62	20	3,76	20

Ensaio 59

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	pH de coagulação	Turbidez (NTU) Td = 2',20"	Cor (uc) Td = 2',20"	Turbidez (NTU) Td = 4',40"	Cor (uc) Td = 4',40"
1	5,3	10	6,72	3,64	20	3,43	20
2	5,3	12,5	6,61	3,25	20	3,20	20
3	5,3	15	6,59	3,23	20	2,97	20
4	5,3	17,5	6,31	4,21	20	3,68	20
5	5,3	20	5,14	4,25	20	4,42	20

Ensaio 60

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	pH de coagulaçã o	Turbidez (NTU) Td = 2',20''	Cor (uc) Td = 2',20''	Turbidez (NTU) Td = 4',40''	Cor (uc) Td = 4',40''
1	6,0	10	7,04	3,11	20	3,06	20
2	6,0	12,5	7,00	3,28	20	3,07	20
3	6,0	15	6,84	3,36	20	2,55	20
4	6,0	17,5	6,69	2,26	20	2,73	20
5	6,0	20	6,50	2,75	20	3,50	20

Ensaio 61

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	pH de coagulaçã o	Turbidez (NTU) Td = 2',20''	Cor (uc) Td = 2',20''	Turbidez (NTU) Td = 4',40''	Cor (uc) Td = 4',40''
1	7,5	10	7,50	2,87	20	2,70	20
2	7,5	12,5	7,42	2,89	20	2,72	20
3	7,5	15	7,13	3,09	20	2,99	20
4	7,5	17,5	6,90	3,08	20	2,75	20
5	7,5	20	6,70	2,41	20	2,00	20

Ensaio 62

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	pH de coagulaçã o	Turbidez (NTU) Td = 2',20''	Cor (uc) Td = 2',20''	Turbidez (NTU) Td = 4',40''	Cor (uc) Td = 4',40''
1	3,8	15	6,38	3,67	20	3,35	20
2	3,8	17,5	6,26	3,40	20	3,34	20
3	9,0	17,5	7,13	3,08	20	2,93	20
4	9,0	20	7,02	2,61	20	2,81	20
5	10,5	20	7,26	3,05	20	2,85	20
6	10,5	17,5	7,43	2,69	20	2,63	20

(b) Quitosana adicionada após 3 minutos de floculação

Ensaio 63

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20''	Cor (uc) Td = 2',20''	Turbidez (NTU) Td = 4',40''	Cor (uc) Td = 4',40''	Turbidez (NTU) Td = 7',20''	Cor (uc) Td = 7',20''
1	7,5	0,05	14	3,00	20	3,05	20	2,97	20
2	7,5	0,05	16	3,50	20	3,62	20	3,37	20
3	7,5	0,05	18	2,92	20	2,30	20	2,05	20
4	7,5	0,05	19	3,64	20	2,96	20	2,89	20
5	7,5	0,05	20	3,70	20	3,45	20	3,30	20
6	7,5	0,05	22	3,55	20	3,52	20	3,43	20

Ensaio 64

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20''	Cor (uc) Td = 2',20''	Turbidez (NTU) Td = 4',40	Cor (uc) Td = 4',40	Turbidez (NTU) Td = 7',20	Cor (uc) Td = 7',20
1	7,5	0,07	14	2,67	20	2,16	20	1,77	15
2	7,5	0,07	16	3,77	20	2,27	20	2,17	20
3	7,5	0,07	18	2,60	20	2,49	20	1,34	10
4	7,5	0,07	19	2,99	20	2,78	20	2,68	20
5	7,5	0,07	20	3,42	20	2,54	20	2,30	20
6	7,5	0,07	22	3,40	20	2,62	20	2,09	20

Ensaio 65

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20''	Cor (uc) Td = 2',20''	Turbidez (NTU) Td = 4',40	Cor (uc) Td = 4',40	Turbidez (NTU) Td = 7',20	Cor (uc) Td = 7',20
1	7,5	0,10	14	2,23	20	2,22	20	1,99	20
2	7,5	0,10	16	1,84	20	1,15	10	1,13	10
3	7,5	0,10	18	1,83	20	1,16	10	1,40	10
4	7,5	0,10	19	2,44	20	2,38	20	2,15	20
5	7,5	0,10	20	3,14	20	2,33	20	2,34	20
6	7,5	0,10	22	2,40	20	2,33	20	2,26	20

Ensaio 66

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20''	Cor (uc) Td = 2',20''	Turbidez (NTU) Td = 4',40	Cor (uc) Td = 4',40	Turbidez (NTU) Td = 7',20	Cor (uc) Td = 7',20
1	7,5	0,20	14	3,10	20	3,25	20	2,95	20
2	7,5	0,20	16	3,19	20	2,82	20	2,76	20
3	7,5	0,20	18	3,28	20	3,05	20	2,52	20
4	7,5	0,20	19	2,98	20	2,48	20	2,81	20
5	7,5	0,20	20	3,32	20	3,10	20	2,70	20
6	7,5	0,20	22	3,31	20	3,15	20	3,02	20

(c) Quitosana adicionada imediatamente após o sulfato de alumínio

Ensaio 67

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20''	Cor (uc) Td = 2',20''	Turbidez (NTU) Td = 4',40	Cor (uc) Td = 4',40	Turbidez (NTU) Td = 7',20	Cor (uc) Td = 7',20
1	7,5	0,05	14	3,29	20	2,91	20	2,72	20
2	7,5	0,05	16	3,35	20	3,32	20	3,89	20
3	7,5	0,05	18	3,70	20	3,23	20	3,35	20
4	7,5	0,05	19	3,41	20	3,18	20	3,58	20
5	7,5	0,05	20	3,59	20	3,36	20	3,66	20

6	7,5	0,05	22	3,19	20	2,74	20	2,40	20
---	-----	------	----	------	----	------	----	------	----

Ensaio 68

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20''	Cor (uc) Td = 2',20''	Turbidez (NTU) Td = 4',40	Cor (uc) Td = 4',40	Turbidez (NTU) Td = 7',20	Cor (uc) Td = 7',20
1	7,5	0,07	14	3,28	20	3,19	20	1,99	20
2	7,5	0,07	16	3,40	20	2,57	20	2,25	20
3	7,5	0,07	18	3,54	20	3,00	20	2,64	20
4	7,5	0,07	19	3,90	20	3,28	20	2,80	20
5	7,5	0,07	20	3,78	20	3,66	20	3,54	20
6	7,5	0,07	22	4,14	20	4,61	20	4,00	30

Ensaio 69

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	Turbidez (NTU) Td =	Cor (uc) Td =	Turbidez (NTU) Td = 4',40	Cor (uc) Td =	Turbidez (NTU) Td =	Cor (uc) Td =
-------	--------------------	--------------------	---------------------	------------------------	------------------	------------------------------	------------------	------------------------	------------------

				2',20''	2',20''		= 4',4 0	7',20	7',20
1	7,5	0,10	8	5,64	25	3,75	20	3,32	20
2	7,5	0,10	10	5,60	25	2,17	20	2,67	20
3	7,5	0,10	12	4,80	25	1,95	20	1,04	15
4	7,5	0,10	14	3,71	20	2,42	20	1,64	15
5	7,5	0,10	15	3,75	20	3,01	20	2,32	20
6	7,5	0,10	16	5,98	25	7,14	30	1,98	20

Ensaio 70

Jarro	Dose de cal (mg/L)	Dose de QTS (mg/L)	Dose de S.A. (mg/L)	Turbidez (NTU) Td = 2',20''	Cor (uc) Td = 2',20''	Turbidez (NTU) Td = 4',40	Cor (uc) Td = 4',40	Turbidez (NTU) Td = 7',20	Cor (uc) Td = 7',20
1	7,5	0,20	8	5,92	25	4,84	25	3,08	20
2	7,5	0,20	10	5,78	25	3,89	20	2,90	20
3	7,5	0,20	12	4,60	25	2,90	20	2,28	20
4	7,5	0,20	14	3,23	20	2,70	20	2,07	20
5	7,5	0,20	15	3,07	20	3,03	20	2,02	20
6	7,5	0,20	16	5,40	25	5,30	25	3,40	20

