

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA AMBIENTAL**

MARIJANE SILVA DA ROSA

**AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE COAGULANTES ORGÂNICO E
INORGÂNICO NO TRATAMENTO PRIMÁRIO DE EFLUENTE DE
ABATE E INDUSTRIALIZAÇÃO DE AVES.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2019

MARIJANE SILVA DA ROSA

**AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE COAGULANTES ORGÂNICO E
INORGÂNICO NO TRATAMENTO PRIMÁRIO DE EFLUENTE DE
ABATE E INDUSTRIALIZAÇÃO DE AVES.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheiro
Ambiental, da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Bortoli
Rodrigues Mees

MEDIANEIRA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE COAGULANTES ORGÂNICO E INORGÂNICO NO TRATAMENTO PRIMÁRIO DE EFLUENTE DE ABATE E INDUSTRIALIZAÇÃO DE AVES.

Por
MARIJANE SILVA DA ROSA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 09:00h do dia 15 de julho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profa. Dra. Juliana Bortoli R. Mees
Orientadora

Prof. Dr. Eduardo Eyng
Membro titular

Profa. Dra. Eliane Rodrigues dos S. Gomes
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

Quisera eu nestas poucas palavras expressar todo o sentimento de gratidão que tenho à Deus por todas as horas de companhia, apoio, inspiração e cuidado em relação a mim e a minha família no decorrer destes cinco anos. Agradeço à Ele simplesmente pelo que Ele é: Absoluto, Senhor, Fortaleza, Abrigo, Amigo, Repouso e Redentor de minha vida.

Ao meu esposo Enio e filho Samuel, pelo amor, compreensão pela minha ausência em incontáveis momentos, pelos beijos e sorrisos que me tornam feliz mesmo nos momentos mais difíceis, pelo indispensável incentivo e companheirismo, pela ajuda oferecida nestes cinco anos, por estarem ao meu lado em todas as horas.

À minha orientadora professora Dra. Juliana Bortoli R. Mees pela dedicação, incentivo e paciência neste trabalho.

Aos colegas acadêmicos por todas as horas de convivência e troca de experiências, que, com certeza, as levarei comigo, em especial à Eliana, Gabriel, Isabela e Ruan e à Amanda e Leticia que me ajudaram muito neste trabalho.

À empresa que concedeu material de pesquisa e assim, oportunidade de aprendizado.

Por fim, gostaria de deixar meus sinceros agradecimentos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná e todo corpo docente pelo aprendizado e desenvolvimento humano.

RESUMO

ROSA, Marijane S. Avaliação do emprego de coagulantes orgânico e inorgânico no tratamento primário de efluente de abate e industrialização de aves. 2019. 51 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2019.

As agroindústrias utilizam uma grande quantidade de água em seu processo e em consequência disso, geram um grande volume de efluentes líquidos industriais, o tratamento destes efluentes se dá por tratamento físico-químico e biológico. Este trabalho tem o objetivo de avaliar o emprego de coagulantes orgânico e inorgânico no tratamento primário de efluente de abate e industrialização de aves associado ao processo de sedimentação, bem como, a caracterização do efluente. Foram estudados os coagulantes Magnafloc LT 7990 e PAC, empregando a metodologia de planejamento experimental e otimização de processos, utilizando como variáveis independentes a concentração de coagulantes e floculantes, tendo como variável resposta a remoção de turbidez. Inicialmente, foi feito o planejamento fatorial 2^2 de sedimentação visando ajustar as faixas de aplicação, seguindo para um delineamento composto central rotacional - DCCR visando à otimização dos processos da sedimentação. Com coagulante PAC foi obtido uma remoção de turbidez em sedimentação de até 98,64%, com 390 ppm de coagulante e 6 ppm de floculante. Já com o coagulante com base orgânica Magnafloc LT 7990, a eficiência para sedimentação chegou até 97,73% com 78 ppm de coagulante e 8 ppm de floculante. Demonstrou-se neste trabalho que o coagulante inorgânico PAC apresentou melhor remoção de turbidez, bem como melhor custo-benefício, porém estudos adicionais devem ser feitos para a utilização do lodo gerado devido à retenção de íons metálicos. Também mostrou que, mantendo a utilização do coagulante orgânico Magnafloc LT 7990, existe a possibilidade de reduzir a concentração utilizada do coagulante e, conseqüentemente, o custo em torno de 10%.

Palavras-Chave: Sistema primário. ETE. Frigorífico aves.

ABSTRACT

ROSA, Marijane S. Evaluation of the use of organic and inorganic coagulants in the primary treatment of slaughter effluent and poultry industrialization. 2019. 51 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2019.

The agroindustries use a large amount of water in their process and as a consequence, generate a large volume of industrial liquid effluents, the treatment of these effluents is by physical-chemical and biological treatment. This work has the objective of evaluating the use of organic and inorganic coagulants in the primary treatment of slaughter effluent and the industrialization of birds associated to the sedimentation process, as well as the characterization of the effluent. Magnafloc LT 7990 and PAC coagulants were studied, using the methodology of experimental planning and optimization of processes, using as independent variables the concentration of coagulants and flocculants, with turbidity removal as response variable. Initially, the sedimentation factorial 2² was designed to adjust the application ranges, followed by a central rotational compound design - DCCR aiming at the optimization of the sedimentation processes. With coagulant PAC a sedimentation turbidity removal of up to 98.64% was obtained, with 390 ppm of coagulant and 6 ppm of flocculant. With the coagulant with organic base Magnafloc LT 7990, the efficiency for sedimentation reached up to 97.73% with 78 ppm of coagulant and 8 ppm of flocculant. It was demonstrated in this work that the inorganic coagulant PAC presented better turbidity removal, as well as better cost-benefit, but additional studies must be done for the sludge generated due to the metal ion retention. It has also been shown that, while maintaining the use of the organic coagulant Magnafloc LT 7990, there is a possibility of reducing the concentration of the coagulant used and, consequently, the cost around 10%.

Keywords: Primary system. ETE. Refrigerating Poultry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes da indústria.	19
Figura 2 – Equipamento Jar-Test.....	24
Figura 3 - Ensaio de Sedimentação no Jar-Test.	27
Figura 4 - Diagrama de Pareto para o Magnafloc LT 7990.	35
Figura 5 - Diagrama de Pareto para o PAC.....	36
Figura 6 - Remoção de turbidez (%) pelo Magnafloc LT 7990.	37
Figura 7- Remoção de turbidez (%) pelo PAC.	37
Figura 8 - Gráfico Probabilidade Normal Resíduos - Magnafloc LT 7990.	40
Figura 9 - Gráfico de Probabilidade Normal dos Resíduos - PAC.....	40
Figura 10 - Gráfico dos Resíduos pelos Valores Observados – Magnafloc LT 790.	41
Figura 11 - Gráfico dos Resíduos pelos Valores Observados – PAC.	41
Figura 12 - Gráfico de Superfície – Magnafloc LT 7990.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa de pH que os coagulantes são utilizados.	15
Tabela 2-Métodos e Protocolos para Caracterização do Efluente.	21
Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos analisados e respectivos métodos e protocolos.....	22
Tabela 4 - Concentrações utilizadas para a dosagem mínima de coagulante.	25
Tabela 5 - Planejamento experimental de sedimentação.....	27
Tabela 6 - Variáveis reais e codificadas.....	28
Tabela 7 - Níveis reais e codificados.....	29
Tabela 8 - Caracterização do Efluente pré-tratado.....	30
Tabela 9- Dosagem mínima de coagulante.....	31
Tabela 10 - pH de coagulação (Magnafloc LT 7990 e PAC).	32
Tabela 11 - Matriz do planejamento 2 ² com os fatores (codificados e reais) e respostas, quanto à remoção de turbidez em sedimentação do Coagulante Magnafloc LT 7990.....	34
Tabela 12 - Matriz do planejamento 2 ² com os fatores (codificados e reais) e respostas, quanto à remoção de turbidez em sedimentação do Coagulante PAC....	34
Tabela 13 - Análise de variância para remoção de turbidez.	36
Tabela 14 - Matriz do DCCR para Sedimentação (Níveis Reais e Codificados).	39
Tabela 15 - Análise de variância para remoção de turbidez.	42
Tabela 16 – Tabela de Efeitos para o Magnafloc LT 7990.....	42
Tabela 17 – Tabela de Efeitos para o PAC.....	43
Tabela 18 - Comparativo Valores.....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE EFLUENTES	11
3.2 COAGULAÇÃO	11
3.2.1 Mecanismos de coagulação	12
3.2.2 Coagulantes Inorgânicos	14
3.2.2.1 Policloreto de Alumínio	14
3.2.3 Coagulantes Orgânicos	15
3.3 FLOCULAÇÃO	16
3.3.1 Polímeros como auxiliares de floculação	16
4 METODOLOGIA	18
4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	18
4.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE	21
4.3 PREPARO DAS SOLUÇÕES.....	22
4.3.1 Magnafloc LT-7990	22
4.3.2 Policloreto de Alumínio – PAC	22
4.3.3 Polímero Catiônico BASF Zetag® 8185	23
4.3.4 Polímero Aniônico BASF Zetag® 4120	23
4.4 ENSAIOS PRELIMINARES DE COAGULAÇÃO.....	23
4.4.1 Descrição do equipamento Jar-Test.....	24
4.4.2 Dosagem Mínima de Coagulante	25
4.4.3 Determinação de pH	25
4.5 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO	26
4.5.1 Planejamento DCCR – Delineamento Composto Central Rotacional	28
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA E INTERPRETAÇÃO DE DADOS.....	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE	30
5.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS PRELIMINARES	31
5.2.1 Dosagem mínima de coagulante.....	31
5.2.2 pH de coagulação	32
5.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	33
5.4 DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL DE SEDIMENTAÇÃO 38	
6 CONCLUSÕES	46

1 INTRODUÇÃO

Há décadas que a agropecuária tem se destacado no cenário nacional como uma das áreas de negócio fundamental para o desenvolvimento do país. Neste cenário as agroindústrias são fundamentais para este destaque na agricultura de exportação e na industrialização. Um dos processos mais pujantes deste ramo são as agroindústrias de proteína animal que atuam em toda a cadeia agropecuária, desde o desenvolvimento genético das sementes e animais até a transformação das matérias primas em produtos alimentícios. Este processo utiliza grande quantidade de água durante o abate de animais e o processamento. Após a utilização desta água, são incorporados a ela resíduos do processo que altera suas características, devendo ser tratada antes de ser lançada no corpo receptor.

O tratamento de efluentes líquidos industriais ocorre com a aplicação de operações unitárias físicas, por processos químicos e biológicos. As operações físicas envolvem remoção de sólidos grosseiros, suspensos, sedimentáveis, óleos e graxas, tais como: peneiramento, gradeamento, sedimentação, flotação, entre outros. Já nos processos químicos são adicionados agentes coagulantes, polímeros, alcalinizantes ou acidificantes e nos físico-químicos ocorrem a combinação de ambos, físicos e químicos, geralmente de forma sequencial.

Na coagulação, processo químico, através da adição de coagulantes ocorre a desestabilização das partículas coloidais, que posteriormente são eliminadas na floculação, operação física, onde ocorre a formação de flocos maiores.

Os coagulantes podem ser compostos orgânicos ou inorgânicos, dentre os inorgânicos, os mais utilizados são: sulfato de alumínio, policloreto de alumínio (PAC) e cloreto férrico. Entre os orgânicos estão os a base de taninos e poliamidas. Geralmente, sob o ponto de vista econômico, são mais utilizados os inorgânicos, pois os mesmos apresentam alta eficiência e baixo custo. Ambientalmente falando, os mais adequados são os orgânicos, já que não carregam resquícios de sais de ferro e alumínio no lodo gerado. Neste estudo, buscou-se comparar um coagulante orgânico e um inorgânico, verificando a eficiência e o custo benefício dos mesmos no tratamento primário de efluente de abate e industrialização de aves.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o emprego de coagulantes orgânicos à base de poliamina e inorgânicos à base de alumínio no tratamento primário de efluente de abate e industrialização de aves.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar físico-quimicamente o efluente agroindustrial através dos parâmetros: pH, turbidez, sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF), sólidos suspensos voláteis (SSV), matéria orgânica (DQO e DBO) e óleos e graxas (OG);
- Verificar em ensaios preliminares a dosagem mínima de coagulante e o pH de coagulação no tratamento primário de efluente de abate e industrialização de aves;
- Determinar a dosagem ótima de cada coagulante no processo de coagulação/floculação seguido de sedimentação em Jar-test;
- Comparar o desempenho, com base nos parâmetros físico-químicos, do coagulante comercial Magnafloc (orgânico à base de poliamina) e do coagulante inorgânico policloreto de alumínio (PAC) no processo de coagulação/floculação seguido de sedimentação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE EFLUENTES

O tratamento físico-químico tem sido amplamente utilizado para a remoção de sólidos suspensos, parte da matéria orgânica e impurezas coloidais. O processo físico-químico de coagulação, floculação e sedimentação pode ser feito tanto na etapa primária, como nas etapas seguintes de um tratamento de efluentes. Tem a finalidade de remover partículas de dimensão coloidal, partículas em suspensão, matéria orgânica, remoção de cor e turbidez. Quando se trata de efluentes industriais, as eficiências das remoções são variáveis de acordo com as características de cada tipo de efluente (NUNES, 2012; CAVALCANTI, 2012).

Os processos físicos são aqueles onde atuam as forças físicas, derivadas de observações físicas, as mais utilizadas são: gradeamento, peneiramento, mistura, floculação, sedimentação, flotação e filtração. Foram os primeiros métodos a serem utilizados. Já os processos químicos são aqueles que envolvem reações do efluente com produtos químicos, como por exemplo, precipitação química, coagulação, desinfecção, entre outros; são comumente utilizados em conjunção com processos físicos (METCALF; EDDY, 2016).

3.2 COAGULAÇÃO

A coagulação é o processo de desestabilização das partículas coloidais, a fim de que possam agrupar-se e ser eliminadas por floculação. A dimensão dos coloides está entre 0,001 a 1 μ m, onde as forças atrativas entre partículas são menores do que as forças de repulsão das cargas elétricas. Na condição de estabilidade, o movimento Browniano mantém as partículas em suspensão. (METCALF; EDDY, 2016).

As propriedades elétricas dos coloides criam uma força de repulsão eletrostática, que os mantém separados, impedindo a aglomeração e sedimentação. Na maior parte dos efluentes industriais os coloides possuem carga negativa (carga primária) (ECKENFELDER, 2000). A carga usualmente negativa dos coloides, segundo Di Bernardo e Dantas (2005), decorre de três fenômenos: presença de grupos funcionais ionizáveis, reações com outros íons e interação/substituição isomórfica (METCALF; EDDY, 2016).

A coagulação inclui todas as reações e mecanismos envolvidos na desestabilização química das partículas coloidais, onde produtos químicos conhecidos como coagulantes são adicionados para desestabilizar as partículas coloidais, de forma a produzir flocos (METCALF; EDDY, 2016). Na etapa química do processo, que é a coagulação, as partículas/flocos apresentam tamanho variando entre 0,5 e 5 μm , na fase de floculação, etapa física do processo, há formação de flocos maiores que variam de 100 a 5.000 μm (BASSIN; DEZOTTI, 2008).

Após a formação de partículas de maiores dimensões, que são os flocos, estes podem posteriormente ser removidos de forma mais eficiente em processos como a filtração, sedimentação ou flotação (METCALFY; EDDY, 2003).

3.2.1 Mecanismos de coagulação

Di Bernardo e Dantas (2005) consideram a coagulação química como o resultado da ação combinada de quatro possíveis mecanismos distintos: compressão da camada difusa; adsorção e neutralização; varredura; adsorção e formação de ponte.

Na compressão da camada difusa, de acordo com Eckenfekder (2000) os coloides, em sua maioria, possuem carga elétrica negativa, atraindo cargas opostas positivas que estão na água. Altas concentrações de cargas positivas na camada difusa fazem com que o coloide reduza o volume para permanecer neutro, reduzindo o potencial elétrico (zeta) de modo que as forças de Van der Waals predominem, quebrando a estabilização eletrostática (DI BERNARDO; DI BERNARDO;

CENTURIONE, 2002). Em termo de redução do potencial zeta, a coagulação ótima ocorre quando o potencial zeta é zero, o que é definido como ponto isoelétrico (ECKENFEKDER, 2000). Devido às dimensões das superfícies, apenas parte das cargas opostas são adsorvidas, ficando rígidas na superfície, originando a camada compacta, as cargas adsorvidas trazem cargas opostas resultando na formação de outra camada, chamada de difusa (PAVANELLI, 2001). Sendo que a dupla camada (DCE) é formada pela camada compacta (CC) e camada difusa (CD).

O mecanismo de adsorção-neutralização de cargas é baseado na adição de íons com cargas elétricas opostas às das partículas coloidais, que adsorvem e neutralizam as mesmas (LIMA, 2007). A neutralização envolve a adsorção de um coagulante com carga diferente da carga do coloide, resultando uma carga líquida próxima a zero. Somente a neutralização não produz macro flocos necessários para a decantação, devendo ser adicionada uma dosagem maior de coagulante, ou ainda aplicar um auxiliar de floculação. A neutralização pode ser considerada o mecanismo predominante da desestabilização, é possível então estabelecer a relação estequiométrica entre a concentração de partícula e a dosagem ótima do coagulante. Uma dosagem muito alta de coagulante pode carregar positivamente as partículas, provocando a reestabilização das mesmas (LIMA, 2007).

No mecanismo de varredura, as concentrações de coagulante são elevadas, excedendo o limite de solubilidade da água. Ocorre a formação de precipitados formados a partir das reações do coagulante metálico com a alcalinidade da água (VIANNA, 1997). Os sólidos são removidos ao serem envolvidos pelo gel hidróxido (de alumínio ou de ferro), sendo posteriormente arrastados na precipitação. Os flocos formados são de maior densidade, portanto, de melhor sedimentação (NUNES, 2012).

No mecanismo de adsorção e formação de ponte, uma ampla variedade de compostos naturais e sintéticos com grandes cadeias moleculares e grupos com carga ao longo da cadeia e deste modo, apresentam capacidades para atuarem de modo eficaz como coagulantes. Estes compostos são conhecidos como polieletrólitos, podendo apresentar carga resultante negativa (aniônicos), positiva (catiônicos) ou ainda, apresentarem carga resultante nula (não-iônicos), o que irá depender das características de cada grupo que compõem a cadeia molecular. (DI BERNARDO, DI BERNARDO, CENTURIONE, 2002). As interações entre os sítios

ativos das macromoléculas e os coloides promove a sua aglomeração (pontes de hidrogênio ou forças de Van der Waals) (METCALF; EDDY, 2003).

3.2.2 Coagulantes Inorgânicos

Coagulantes inorgânicos geralmente a base de sais de ferro e alumínio, são amplamente utilizados em tratamento de efluentes, devido a vantagem de ter um baixo custo, facilidade de armazenamento e uma eficiência alta (DA SILVA, et al,2015).

Ferreira (2012) reforça que as desvantagens dos íons metálicos por mais baratos que sejam, são relevantes, podendo alterar a qualidade da água, gerar lodos tóxicos, estar relacionados a doenças carcinogênicas, assim a destinação final adequada do lodo pode acabar encarecendo o processo.

Os principais coagulantes inorgânicos utilizados no tratamento de efluentes são sais inorgânicos de ferro e alumínio (ex.: $Al_2(SO_4)_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$, $FeCl_3$, etc).

3.2.2.1 Policloreto de Alumínio

É um excelente coagulante inorgânico catiônico pré-polimerizado de alto peso molecular a base de policloreto de alumínio, é um líquido viscoso límpido, de cor âmbar a castanho, utilizado em processos de tratamento de águas, esgoto, petróleo, mineração e açúcar (CSM, 2019).

O policloreto de alumínio tem como característica química agregar em sua molécula original cadeias poliméricas hidroxiladas, fundamentais nos processos de coagulação e floculação em tratamento de água. Conhecido como PAC18 ou cloreto

de polialumínio proporciona ao entrar em contato com o líquido, núcleos de geração de incremento de floculação e sua hidrólise se desenvolve muito mais lentamente, facilitando assim o processo de neutralização das cargas (PUREWATER, 2019).

Na Tabela 1 são apresentadas as faixas de pH dos principais coagulantes inorgânicos, segundo Cavalcanti (2012).

Tabela 1 - Faixa de pH que os coagulantes são utilizados.

Coagulantes	Faixas de pH
Sulfato de alumínio	5 a 8
Policloreto de alumínio	6 a 8
Sulfato ferroso	8,5 a 11
Sulfato férrico	5 a 11
Cloreto férrico	5 a 11

Fonte: Cavalcanti (2012).

3.2.3 Coagulantes Orgânicos

O uso de coagulantes orgânicos apresenta-se como uma alternativa aos tratamentos com coagulantes convencionais (sais de alumínio e ferro), por apresentar algumas vantagens como a não-geração de subprodutos e precipitados de metal, não apresentam risco à saúde humana e animal (NOGUEIRA et al., 2010 apud RIBEIRO, 2015), o volume de lodo gerado pode ser de quatro a cinco vezes menor (FERREIRA, 2012), possui menor teor de substâncias tóxicas e metais, apresenta maior degradabilidade e pode ser utilizado como adubo no solo (VAZ et al., 2010 apud PETRY, 2017).

O coagulante orgânico, de nome comercial Magnafloc LT 7990, fornecido pela empresa BASF, é um coagulante catiônico, um líquido amarelo-incolor viscoso transparente da categoria da água potável. É uma solução aquosa de polímero de condensados de epícloridrina amina, utilizada em sua forma original ou diluída, com o pH variando entre 5 a 7. É utilizado como coagulante primário para clarificação de

água potável e ampla gama de efluentes industriais, pode ser utilizado em uma ampla faixa de pH, variando de 5 a 9 (BASF, 2019).

3.3 FLOCULAÇÃO

Após o processo de coagulação, que ocorre em mistura rápida, o efluente passa para a mistura lenta, onde ocorre o processo de floculação, com o intuito de fazer com que os coágulos, que são partículas desestabilizadas, tendam a formar agora partículas maiores denominadas flocos. Estes flocos poderão ser separados da água através da decantação, flotação ou filtração. A formação de bons flocos se dá quando empregado uma dosagem adequada de coagulante, que sofre influência do pH, entre outros (NUNES,2012).

3.3.1 Polímeros como auxiliares de floculação

Em efluentes industriais, verifica-se que os flocos formados necessitam de maior densidade para sedimentar, recorre-se, portanto, aos auxiliares de floculação, que são polieletrólitos que aumentam a velocidade de sedimentação dos flocos e a resistência às forças de cisalhamento (NUNES,2012).

Esses polímeros auxiliares de floculação são polieletrólitos de longa cadeia e de peso molecular elevado. Formados, normalmente, por grupos funcionais iônicos, conferem cargas elétricas na sua cadeia. Estas cargas iônicas podem apresentar um saldo final negativo, positivo ou neutro, classificando, portanto, esses polímeros em aniônicos, catiônicos e não-iônicos, respectivamente. Eles possuem capacidade para formar pontes interagindo com as partículas, após a desestabilização (METCALF: EDDY, 2016).

Assim, os polímeros promovem aumento no tamanho e resistência dos flocos (RICHTER, 2009), sendo que o uso combinado aos coagulantes permite reduzir a dosagem destes últimos (CRITTENDEN et al., 2012)

4 METODOLOGIA

4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido com efluente de uma agroindústria de abate e industrialização de aves, localizado no oeste do Paraná.

O efluente líquido gerado na empresa é submetido a um tratamento preliminar, composto por duas peneiras giratórias, seguindo para o tratamento primário, composto de um tanque de equalização e flotor físico-químico (coagulação/floculação/Flotação FAD), posteriormente o efluente líquido é encaminhado ao tratamento secundário composto por três lagoas anaeróbicas em série, lodo ativado, que é composto por tanque de aeração e dois decantadores secundários e por fim, encaminhado à quatro lagoas de fertirrigação, que são lagoas de armazenamento para posterior irrigação de área de eucaliptos (Figura 1).

A empresa abate aproximadamente 342.000 aves por dia, gerando um volume de efluente de 375 m³/h, 7500m³/dia, trabalhando de segunda à sábado

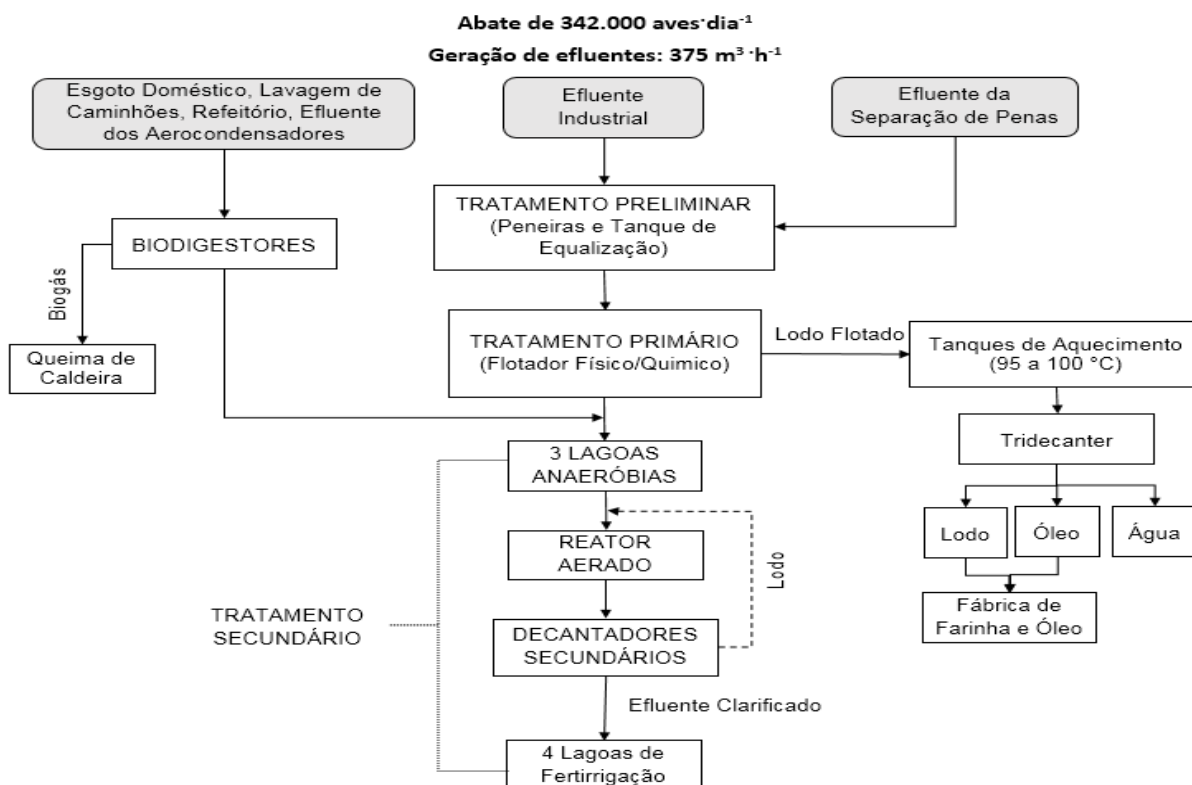


Figura 1 – Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes da indústria.
Fonte: Alves (2018)

O estudo foi efetuado em escala de bancada, no Laboratório de Biotecnologia e Saneamento Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, câmpus Medianeira, onde foi avaliada a otimização do uso de cada coagulante no processo de coagulação/floculação seguido de sedimentação em Jar-test.

Foram utilizados os coagulantes: orgânico Magnafloc LT 7990, à base de poliamina e inorgânico policloreto de alumínio.

O tratamento preliminar da indústria é composto por duas peneiras giratórias, que removem os sólidos grosseiros. O tratamento primário é constituído por um tanque de equalização que visa homogeneizar a carga orgânica e controlar a vazão do efluente, por um flotador físico-químico, que remove sólidos em suspensão e óleos e graxas do efluente através da flotação. O tratamento secundário é composto por três lagoas anaeróbias, que remove matéria orgânica, lodo ativado, que promove a nitrificação e quatro lagoas de fertilização que armazenam o efluente final para posterior irrigação de áreas de eucalipto (Quadro 1).

Nível de Tratamento	Operação / Processo	Descrição	
Preliminar	Peneiramento	Tem como objetivo principal a remoção de sólidos grosseiros com granulometria superior a 0,25 mm.	
Primário	Equalização	Visa minimizar ou controlar as variações na vazão e concentração de efluente para que se atinjam as condições ótimas para os processos de tratamento subsequentes.	
	Flotação	Utilizada na remoção de sólidos em suspensão e óleos e graxas de águas residuárias e na separação e concentração de lodos.	
Secundário	Lagoas anaeróbias	Objetiva remoção de matéria orgânica.	
	Lodo Ativado	Utilizado para o tratamento de despejos domésticos e industriais, em situações em que são necessários uma elevada qualidade do efluente tratado.	
	Lagoas Fertirrigação	Armazenamento para Fertirrigação	

Quadro 1 - Sistema de tratamento
Fonte: A autora (2019).

4.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O efluente utilizado para os ensaios experimentais, em escala de bancada, foi coletado na entrada do tratamento físico-químico (coagulação/floculação/flotação FAD), seguido de sedimentação, logo após o tanque de equalização, por meio de coleta simples, levando em consideração as observações da NBR 9897/ABNT1987, onde estão descritos os parâmetros, os tipos de frascos, o volume mínimo, a preservação e o prazo para análise de cada parâmetro estudado. Os lotes de efluentes líquidos utilizados nos ensaios experimentais foram armazenados em galões com capacidade de 20 litros e armazenados em refrigerador até o momento de sua utilização, respeitando-se as recomendações da referida Norma.

Para a caracterização do efluente, foram analisados os parâmetros físico-químicos pH, turbidez. Foram coletadas seis amostras, em seis dias diferentes, onde os resultados foram obtidos através da média aritmética destas seis amostras, seguindo os métodos descritos em Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA; AWWA; WEF,2012), que podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2-Métodos e Protocolos para Caracterização do Efluente.

Parâmetros	Unidades	Método	Protocolo
Turbidez	NTU	Nefelométrico	2130-B
pH	-	Potenciométrico	4500-H* - B

Fonte: APHA (2012).

Os demais parâmetros foram avaliados pelo próprio empreendimento em estudo, onde os resultados foram obtidos através da média aritmética de seis meses de ensaios, sendo quantificada a matéria orgânica através da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspenso fixos e voláteis (SSF e SSV) e óleos e graxas (OG), seguindo as recomendações para cada tipo de análise (Tabela 3).

Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos analisados e respectivos métodos e protocolos

Parâmetros	Unidades	Método APHA;AWA;WEF (2012)
DQO	mg.L ⁻¹	5220 D (Colorimétrico)
DBO	mg.L ⁻¹	5210 B (DBO 5 dias)
SST	mg.L ⁻¹	2540 D (Gravimétrico)
SSF e SSV	mg.L ⁻¹	2540 D e E (Gravimétrico)
OG	mg.L ⁻¹	5220 D (Extração Soxhlet)

Fonte: Fornecida pelo empreendimento em estudo.

4.3 PREPARO DAS SOLUÇÕES

4.3.1 Magnafloc LT-7990

Para o preparo da solução do coagulante orgânico de nome comercial Magnafloc LT-7990, foi feita a diluição de 1% a partir da solução comercial, utilizando 5 mL da solução em um balão de 500 mL, obtendo-se uma concentração de 10.000 ppm. Esta solução foi preparada e utilizada no mesmo dia.

4.3.2 Policloreto de Alumínio – PAC

O Policloreto de alumínio utilizado neste estudo possui nome comercial NHEELFLOC 1840, fabricado pela empresa CSM Produtos químicos. É uma solução líquida com concentração de 18%.

O preparo do coagulante foi feito com uma diluição de 50 mL do produto em um balão de 1000 mL, resultando uma concentração de 50.000 ppm.

4.3.3 Polímero Catiônico BASF Zetag® 8185

O Polímero Catiônico BASF Zetag® 8185 é um polímero auxiliar de floculação. É um polímero catiônico de alto peso molecular, sendo um produto em pó do tipo sólido granular esbranquiçado, com viscosidade de 2600 cP na concentração de 1%. Para seu preparo, pesou-se 0,60g em um becker e acrescentado 1000 mL de água destilada em um balão volumétrico, obtendo-se assim, uma concentração de 0,60 g.L⁻¹ ou 600 ppm.

4.3.4 Polímero Aniônico BASF Zetag® 4120

O Polímero Catiônico BASF Zetag® 4120 também é um polímero auxiliar de floculação. É um polímero de acrilamida e ácido acrílico, sendo um produto em pó do tipo sólido granular esbranquiçado, inorgânico e com carga aniônica média-baixa e peso molecular elevado e alta viscosidade (2000 cP na concentração de 1%). Para seu preparo, pesou-se 0,60 g em um becker e acrescentado 1000 mL de água destilada em um balão volumétrico, obtendo-se assim, uma concentração de 0,60 g.L⁻¹ ou 600 ppm.

4.4 ENSAIOS PRELIMINARES DE COAGULAÇÃO

Para os ensaios preliminares de coagulação, e ensaios finais de coagulação/floculação e sedimentação foi utilizado o equipamento de Jar-Test, marca PoliControl, modelo FlocControl III, com capacidade de 6 jarros de 2 litros cada, ou seja, 6 testes simultâneos (Figura 2). Com ele foram realizados os ensaios

preliminares de dosagem mínima de coagulante e de determinação do pH ótimo de coagulação, bem como os ensaios finais de coagulação/floculação.

4.4.1 Descrição do equipamento Jar-Test

O equipamento Jar-Test (Figura 2), é um equipamento que permite fazer a verificação das condições de tratamento de águas e efluentes, este equipamento serve como uma ferramenta para a otimização e análises preliminares (POLICONTROL INSTRUMENTOS DE CONTROLE AMBIENTAL, 2013).

A linha FlocControl possui de 3 a 6 agitadores que possuem sistemas de controle de rotação, permitindo assim a simulação da mistura rápida e da floculação, podendo programar ciclos independentes em cada ensaio. O equipamento utilizado possui 6 agitadores.



Figura 2 – Equipamento Jar-Test
Fonte: A autora (2019).

4.4.2 Dosagem Mínima de Coagulante

O teste de dosagem mínima é uma análise qualitativa que objetiva verificar a menor dosagem necessária de solução coagulante para que ocorra a formação de flocos, mesmo que pequenos. O teste foi aplicado para os coagulantes orgânico (Magnafloc) e para o inorgânico (Policloreto de alumínio).

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

Os valores de concentrações utilizadas nos ensaios de dosagem mínima, para o coagulante orgânico, foram tomados como base as concentrações utilizadas pela empresa e para o coagulante inorgânico, foram direcionados por trabalhos similares que utilizaram o PAC em seus estudos, seguem na Tabela 4. Analisaram-se seis concentrações em beckers de 600 mL, com 500 mL de efluente, onde os beckers foram submetidos à agitação lenta de (30 rpm) no equipamento Jar-Test até a visualização da aparição de pequenos flocos, caracterizando esta visualização como dosagem mínima.

Tabela 4 - Concentrações utilizadas para a dosagem mínima de coagulante.

Coagulantes Ensaio	Concentrações utilizadas nos testes (ppm)					
	1	2	3	4	5	6
Magnafloc LT 7990	10	20	30	40	50	60
PAC	70	80	90	100	110	120

Fonte: A autora (2019).

4.4.3 Determinação de pH

Na etapa seguinte, após o ensaio de dosagem mínima, ocorreu o ensaio da determinação do pH de coagulação, onde foi utilizada a concentração mínima, estabelecida no primeiro ensaio, em uma faixa de valores de pH: 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5. Os valores estão dentro da faixa recomendada dos coagulantes. Para a correção do pH, foi feita a adição de HCl 1 e 0,1 mol.L⁻¹, e NaOH 1 e 0,1 mol.L⁻¹. Os ensaios ocorreram em becker de 600 mL, com 500 mL de efluente, onde os testes foram submetidos à agitação rápida de 100 rpm por 20 segundos, agitação lenta de 30 rpm por 15 minutos e sedimentação por 30 minutos, utilizando sempre a mesma concentração de cada coagulante.

A partir desses testes, foram avaliadas as faixas de pH que apresentaram a maior eficiência de coagulação com relação à redução de turbidez. Os testes foram feitos e analisados na amostra inicial (efluente com o pH ajustado) e na amostra final (efluente clarificado) retirado com pipeta aproximadamente na metade do becker, imediatamente após o término do tempo de sedimentação. Este ensaio foi feito em triplicata. O teste de pH ótimo também serve para avaliar a necessidade de ajuste do pH para a utilização do coagulante, observando a diferença das eficiências em cada ensaio.

4.5 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO

Os ensaios de coagulação/floculação e sedimentação foram realizados no equipamento Jar-Test. Os ensaios ocorreram nos jarros de 2000 mL (Figura 3), contendo 1500 mL de efluente em cada jarro. As condições do teste foram adotadas para ensaio padrão em água: para coagulação agitação rápida de 100 rpm por 20 segundos, para floculação agitação lenta de 30 rpm por 15 minutos e 30 minutos para sedimentação.



Figura 3 - Ensaio de Sedimentação no Jar-Test.
Fonte: A autora (2019).

As variáveis independentes nos 2 planejamentos foram as concentrações de coagulantes e de floculantes (Tabela 5). Tendo como variável resposta a remoção de turbidez (%).

Tabela 5 - Planejamento experimental de sedimentação.

	Tratamentos	Coagulante	Floculante
Ensaio fatorial	1	-1	-1
	2	+1	-1
	3	-1	+1
	4	+1	+1
Repetições no ponto central	5	0	0
	6	0	0
	7	0	0
	8	0	0

Fonte: A autora (2019).

A metodologia empregada para a realização dos ensaios foi o planejamento experimental e a otimização de processos caracterizada como DCC, delineamento composto central. Como planejamento inicial foram realizados 4 planejamentos iniciais fatoriais 2^2 com 4 pontos fatoriais, 4 pontos centrais. As concentrações estudadas com os valores codificados utilizando os 2 tipos de coagulantes e mistura de floculantes encontram-se na Tabela 6. O floculante utilizado foi uma mistura de

dois flocculantes, sendo: 50% de polímero catiônico Zetag® 8185 e 50% de polímero aniônico Zetag® 4120.

Tabela 6 - Variáveis reais e codificadas.

Níveis	Magnafloc (ppm)	PAC (ppm)	Floculante (ppm)
-1	36	120	6
0	63	210	8
+1	90	300	10

Fonte: A autora (2019).

Após a sedimentação foram retiradas alíquotas do sobrenadante para as análises.

4.5.1 Planejamento DCCR – Delineamento Composto Central Rotacional

Antes do planejamento de otimização foi realizado um planejamento inicial fatorial 2^2 que serviu para observar o comportamento das respostas dentro das faixas de estudo. Após os ensaios iniciais, seguiram-se os ensaios seguindo metodologia de um planejamento experimental do tipo DCCR (Delineamento Composto Central Rotacional), onde pôde-se verificar as faixas ótimas de utilização das soluções coagulantes e flocculantes por meio da geração de equações de segundo grau e gráficos de superfície. Neste planejamento foram experimentadas as variações dos níveis -1 para os níveis +1 de todos os fatores envolvidos, ou seja, foram verificadas todas as combinações possíveis de fatores, com o objetivo de examinar o comportamento das respostas dentro das faixas de estudo. E, além desses ensaios foram adicionados os pontos axiais (-1,41 e +1,41) proporcionando uma rotação dos pontos, que permite a visualização das faixas ótimas, dentro das superfícies de resposta e das equações de segundo grau formadas.

O DCCR contou com 4 pontos fatoriais, 3 pontos centrais e 4 pontos axiais. A Tabela 7 mostra os níveis codificados e reais das variáveis independentes do delineamento composto.

Tabela 7 - Níveis reais e codificados

Variáveis independentes	Níveis reais e codificados das variáveis independentes				
	-1,41	-1	0	1	+1,41
Magnafloc (ppm)	22	30	50	70	78
Mistura Floculante (ppm)	5,2	6	8	10	10,8
	-1,41	-1	0	1	+1,41
PAC (ppm)	173	210	300	390	427
Mistura Floculante (ppm)	5,2	6	8	10	10,8

Fonte: A autora (2019).

Foi utilizado o software STATISTICA, versão 10.0 (StatsoftTM, USA) para a determinação dos efeitos das variáveis independentes, análise de variância (ANOVA), o cálculo dos coeficientes da regressão e para obtenção dos gráficos de superfícies de resposta e de contorno, todos ao nível de 5% de significância.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

Os dados dos ensaios de coagulação/floculação seguidos de sedimentação do Planejamento Fatorial e do DCCR foram analisados no software STATÍSTICA, versão 10.0 (StatsoftTM, USA), onde foram utilizadas as variáveis independentes dos fatores concentração de coagulante e concentração de floculante, para verificar a influência na eficiência de remoção de turbidez como variável resposta. Este software permite a realização da ANOVA, com os coeficientes do modelo linear e quadrático, o fator de ajuste do modelo, o dos coeficientes, o Gráfico de Pareto, os Gráficos de Superfície e as Curvas de Contorno, afim de verificar a validade do modelo e as faixas ótimas. O nível de confiança adotado foi de 95%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

A caracterização do efluente se deu pela análise dos parâmetros físico-químicos pH e turbidez, constituída por uma média aritmética de 6 ensaios. Os demais parâmetros foram avaliados pelo próprio empreendimento em estudo, sendo constituída pela média aritmética de seis meses de ensaios, foi quantificada a matéria orgânica através da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO e Demanda Química de Oxigênio – DQO, sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspenso fixos e voláteis (SSF e SSV) e óleos e graxas (OG) (Tabela 8).

Tabela 8 - Caracterização do Efluente pré-tratado

Parâmetro	Unidade	Média Aritmética ± desvio padrão
pH		6,32 ± 0,25
Turbidez	NTU	1101,00 ± 0,01
DQO	mgO ₂ .L ⁻¹	8334,00 ± 1501,77
DBO	mgO ₂ .L ⁻¹	5940,85 ± 1411,97
SST	mg.L ⁻¹	3770,77 ± 539,05
SSF	mg.L ⁻¹	350,38 ± 283,70
SSV	mg.L ⁻¹	3366,54 ± 652,69
OG	mg.L ⁻¹	2511,71 ± 1925,82

Fonte: A autora (2019).

O efluente foi caracterizado após o pré-tratamento, composto por peneiramento para remoção de sólidos grosseiros, possuindo, portanto características similares a um efluente bruto. A caracterização apresentou valores similares aos encontrados por Damasceno et al.(2009), onde foi caracterizado o efluente bruto de um frigorífico e abatedouro de aves em Santa Catarina que abate aproximadamente a mesma quantidade de aves, do empreendimento em estudo, aproximadamente 340.000 aves/dia, onde apresentou pH 6,40, DQO de 7264 mg.L⁻¹

¹, DBO 5448 mg.L⁻¹, OG 2900 mg.L⁻¹.

Da mesma forma, Magnam (2010) encontrou valores de pH 5,95, Turbidez 984 NTU, DQO de 6718 mg.L⁻¹, SST 1740 mg.L⁻¹, OG 983 mg.L⁻¹ em seu trabalho com efluente de um abatedouro de aves em Passo Fundo, no Rio Grande do Sul.

Já Rodrigues et al (2016), em um trabalho em Belo Horizonte em um abatedouro avícola que abate aproximadamente um por cento das aves do empreendimento em estudo, encontrou os seguintes valores no efluente bruto: pH 6,94 ± 0,53, DQO de 3626 ± 1554 mg.L⁻¹, DBO 1903 ± 672 mg.L⁻¹, SST 841 ± 349 mg.L⁻¹, SSV 562 ± 297 mg.L⁻¹.

5.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS PRELIMINARES

5.2.1 Dosagem mínima de coagulante

A Tabela 9, apresenta as concentrações, expressos em ppm, de dosagem mínima obtida por cada coagulante testado

Tabela 9- Dosagem mínima de coagulante.

Coagulante	Dosagem Mínima (ppm)
Magnafloc LT 7990	30
PAC	100

Fonte: A autora (2019).

O coagulante PAC apresentou a dosagem necessária para início da formação de flocos de 100 ppm, enquanto o Magnafloc LT 7990 iniciou a formação de flocos com dosagens de 30 ppm, 70% inferior ao PAC.

A dosagem de PAC foi a mesma obtida por Papp (2017) que trabalhou com

efluente de laticínio e obteve valores de dosagem mínima de 100 ppm para o PAC, porém o coagulante orgânico utilizado por Papp (2017), o Novfloc, apresentou dosagem mínima de 100ppm, bem acima do encontrado neste estudo.

Os resultados também foram similares aos testados por Petry (2017), que trabalhou com efluente gerado por um laboratório de análises físico-químicas, microbiológicas e sorológicas, análises sensoriais e testes de sementes, ele encontrou dosagens de 100 ppm e 90 ppm para o PAC e Novfloc, respectivamente.

5.2.2 pH de coagulação

Como na dosagem mínima de coagulante, o ensaio de pH também foi efetuado com volumes de 500 mL de efluente para os dois coagulantes, sendo realizado com as dosagens encontradas no ensaio anterior. Cada coagulante tem uma faixa de atuação de pH, portanto, foi avaliado uma faixa de pH entre 5,0 a 7,5, conforme Tabela 10, esta faixa está dentro da recomendada para ambos os coagulantes, tendo como parâmetro de resposta a remoção de turbidez.

Tabela 10 - pH de coagulação (Magnafloc LT 7990 e PAC).

Ensaio	pH do ensaio	Magnafloc LT 7990	PAC
		Remoção Turbidez (%)	Remoção Turbidez (%)
1	5,0	56,40	76,02
2	5,5	75,75	56,31
3	6,0	84,11	35,88
4	6,5	86,92	68,66
5	7,0	85,74	90,92
6	7,5	54,04	82,74

Fonte: A autora (2019).

Os ensaios que apresentaram melhor remoção de turbidez para o coagulante Magnafloc foram os ensaios 4, pH 6,5, com remoção de 86,92% e 5, pH

7,0, com 85,74%. Em relação ao coagulante PAC foram os ensaios 5, pH 7,0 e 6, pH 7,5, com remoções de 90,92% e 82,74% respectivamente. Assim, para os planejamentos experimentais foi feito o ajuste de pH do efluente para a faixa que se teve maior eficiência na remoção de turbidez, isto é, com pH 6,5 para o Magnafloc e pH 7,0 para o PAC.

Ambos os coagulantes apresentaram valores de pH ótimo similares ao encontrado por Petry (2017), que encontrou pH ótimo de 6,5 tanto para o PAC, quanto para o orgânico estudado, o Novfloc.

5.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

5.3.1 Planejamento inicial: Fatorial 2² - Sedimentação

A matriz experimental para o planejamento fatorial dos dois tipos de coagulantes estão ilustrados nas Tabelas 11 e Tabela 12, com os níveis dos fatores e as eficiências de remoção de turbidez no tratamento físico-químico (coagulação/floculação/sedimentação), no decorrer dos 8 ensaios executados aleatoriamente com o coagulante Magnafloc e a mistura de floculantes (Catiônico 8185 e Aniônico 4120) e com o coagulante PAC e a mistura de floculantes (Catiônico 8185 e Aniônico 4120), respectivamente.

Tabela 11 - Matriz do planejamento 2² com os fatores (codificados e reais) e respostas, quanto à remoção de turbidez em sedimentação do Coagulante Magnafloc LT 7990.

Coagulante Magnafloc LT 7990	Tratamentos	Fatores		Variável Resposta
		Coagulante (ppm)	Mistura de Flocculantes Catiônico e Aniônico (ppm)	Remoção Turbidez (%)
Ensaio fatoriais	1	-1 (36)	-1 (6)	98,09
	2	1 (90)	-1 (6)	96,73
	3	-1 (36)	1 (10)	98,27
	4	1 (90)	1 (10)	96,64
Repetições no ponto central	5	0 (63)	0 (8)	97,55
	6	0 (63)	0 (8)	97,37
	7	0 (63)	0 (8)	98,00
	8	0 (63)	0 (8)	97,37

Fonte: A autora (2019).

Tabela 12 - Matriz do planejamento 2² com os fatores (codificados e reais) e respostas, quanto à remoção de turbidez em sedimentação do Coagulante PAC.

Coagulante PAC	Tratamentos	Fatores		Variável Resposta
		Coagulante (ppm)	Mistura de Flocculantes Catiônico e Aniônico (ppm)	Remoção Turbidez (%)
Ensaio fatoriais	1	-1 (120)	-1 (6)	95,10
	2	1 (300)	-1 (6)	99,18
	3	-1 (120)	1 (10)	93,37
	4	1 (300)	1 (10)	98,55
	5	0 (210)	0 (8)	96,91
Repetições no ponto central	6	0 (210)	0 (8)	95,91
	7	0 (210)	0 (8)	96,73
	8	0 (210)	0 (8)	97,46

Fonte: A autora (2019).

Como o foco não era o modelo no planejamento inicial foi avaliado o erro padrão SS residual. Com base nos resultados obtidos (Tabela 11 e Tabela 12), os modelos lineares apresentaram $R^2 = 0,88061$ e $R^2 = 0,94641$, respectivamente para Magnafloc LT 7990 e PAC, significando que 88,06% e 94,64% da variação na eficiência de remoção de turbidez é explicada pelo modelo. Foram considerados apenas os fatores significativos, ou seja, com o $p\text{-valor} < 0,05$. As estimativas dos efeitos relacionados à eficiência de remoção são ilustradas nos diagramas de Pareto (Figura 4), obtidas no software STATISTICA. Os efeitos além da linha tracejada são

considerados significativos em um intervalo de 95% de confiança.

Pôde-se observar na Figura 4 que a variável Coagulante Magnafloc LT 7990 apresentou-se significativa, porém com valor negativo, significando que a remoção de turbidez foi favorecida com menores concentrações de coagulante, indicando uma possível redução na concentração do coagulante.

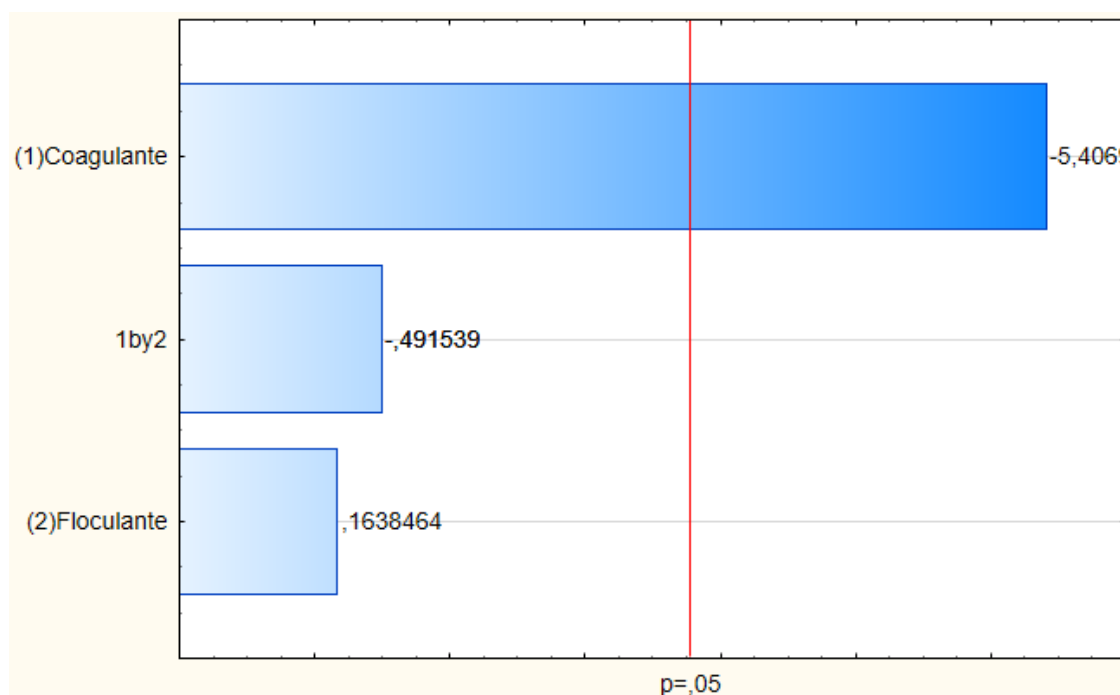


Figura 4 - Diagrama de Pareto para o Magnafloc LT 7990.
Fonte: A autora (2019)

Na Figura 5, observa-se que o efeito normalizado da variável Coagulante PAC foi significativo e apresentou valor positivo, significando que a remoção de turbidez foi favorecida com as maiores concentrações de coagulantes aplicadas, ou seja, a remoção de turbidez no sistema em estudo tende a aumentar com o aumento da concentração do coagulante.

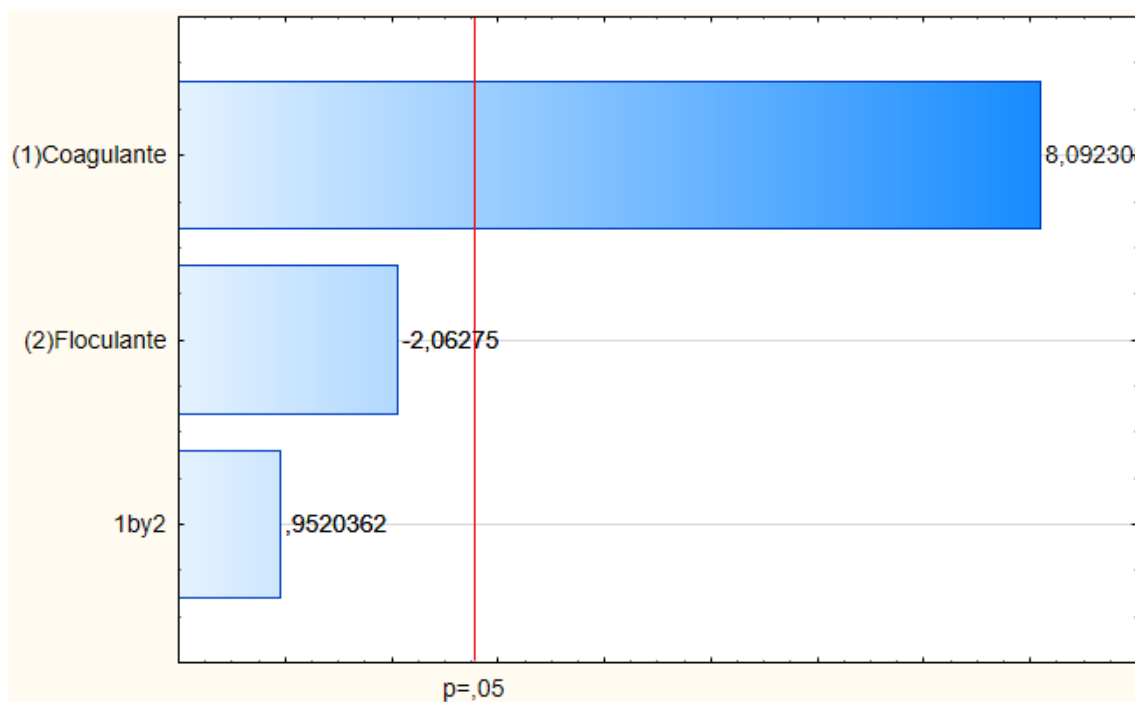


Figura 5 - Diagrama de Pareto para o PAC.
Fonte: A autora (2019).

O efeito normalizado da variável Floculante, não se apresentou significativo para nenhum dos casos, ou seja, não favoreceu a remoção de turbidez. A interação entre coagulante e floculante também não se apresentou significativa para nenhum dos casos

Foi efetuada uma análise de variância para ajuste do modelo aos dados obtidos. Com a ANOVA, o modelo linear pode ser usado para mostrar o comportamento do processo, ao nível de 95% de confiança, visto que o F calculado para ambos os casos de sedimentação foi maior do que o F tabelado (3;4;0,05) = 6,59 (Tabela 13).

Tabela 13 - Análise de variância para remoção de turbidez.

	Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}	F _{alc./F_{tab}}	p-valor
Sedimentação Magnafloc + Mistura Coagulantes	Regressão	2,3	3	0,8	9,9	6,59	1,502	0,02545
	Resíduos	0,3	4	0,1				
	Total	2,6	7					
Sedimentação PAC + Mistura Coagulantes	Regressão	23,1	3	7,7	23,4	6,59	3,551	0,00535
	Resíduos	1,3	4	0,3				
	Total	24,4	7					

Fonte: A autora (2019).

Nas Figuras 6 e 7, mostra-se o comportamento do processo de remoção de turbidez pelos gráfico de contorno, pelo Magnafloc LT 7990 e PAC respectivamente.

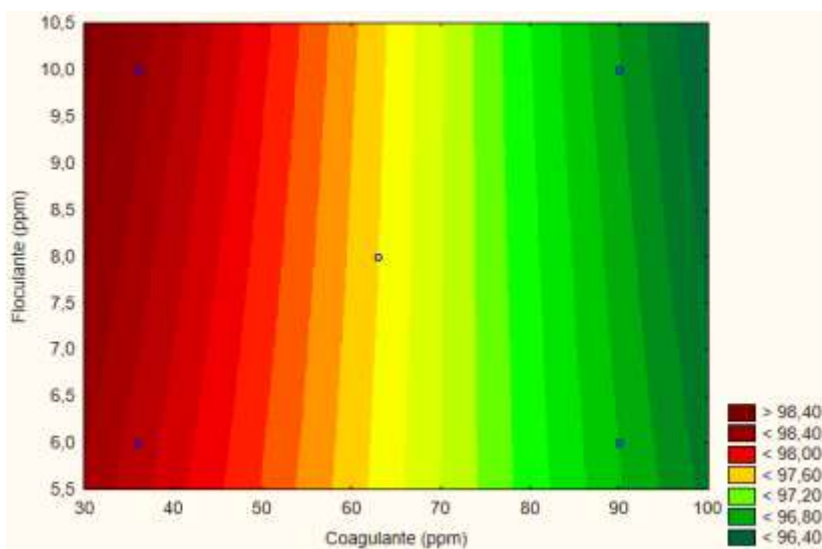


Figura 6 - Remoção de turbidez (%) pelo Magnafloc LT 7990.
Fonte: A autora (2019).

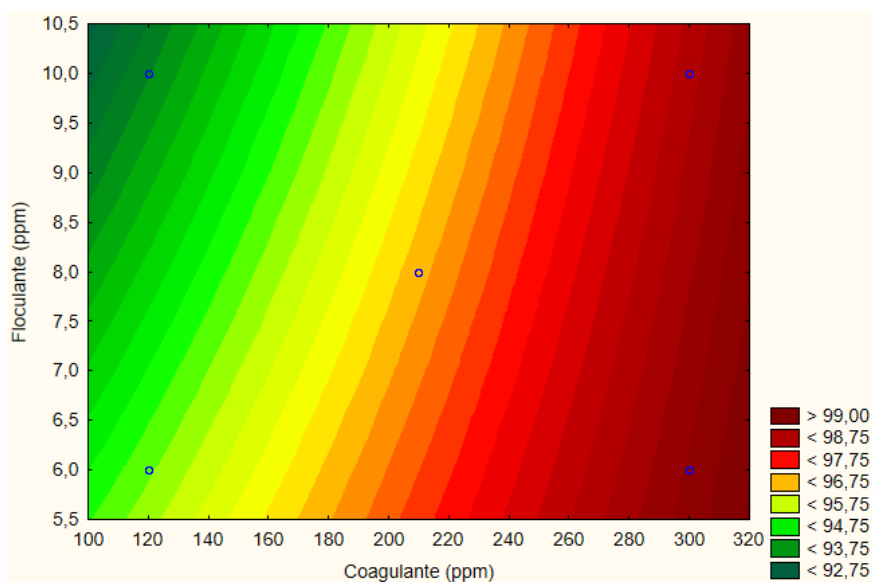


Figura 7- Remoção de turbidez (%) pelo PAC.
Fonte: A autora (2019).

Na Figura 6 observa-se que a eficiência de remoção de turbidez (%) pelo

coagulante Magnafloc LT 7990 apresentou valores médios entre 96,64 e 98,27%. Os melhores valores de eficiências de remoção foram obtidos com menores concentrações de coagulante. Para o coagulante PAC, na Figura 7, observa-se valores médios de remoção entre 93,37 e 99,18%, mostrando que os melhores resultados foram obtidos com maiores aplicações de coagulante.

As faixas foram deslocadas no sentido de diminuir a concentração do coagulante orgânico e aumentar a concentração do coagulante inorgânico, de acordo com os efeitos observados. Entretanto, a amplitude das faixas foi ampliada pela inserção dos pontos axiais.

Em relação ao fator floculante para a sedimentação, para efeito de ensaios laboratoriais, não foi feita uma alteração em sua concentração no planejamento de ambos os coagulantes, pois este fator não foi significativo. Porém, sob o ponto de vista econômico, seria interessante reduzir a concentração do floculante.

5.4 DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL DE SEDIMENTAÇÃO

Para a execução do delineamento composto, a faixa de estudo dos coagulantes foi deslocada de acordo com o mencionado anteriormente, com base nos resultados dos planejamentos iniciais e em busca de uma representatividade maior dos resultados encontrados. Em relação ao floculante, a faixa não foi deslocada. A matriz experimental para o DCCR é ilustrada na Tabela 14, com os níveis e a variável resposta, nos 11 ensaios.

Tabela 14 - Matriz do DCCR para Sedimentação (Níveis Reais e Codificados).

Tratamentos		Magnafloc	Mistura	Remoção	PAC	Mistura	Remoção
		LT 7990 (ppm)	Floculantes (ppm)	Turbidez (%)		Floculantes (ppm)	Turbidez (%)
Ensaio fatoriais	1	-1 (30)	-1 (6)	95,55	-1 (210)	-1 (6)	93,55
	2	1 (70)	-1 (6)	96,82	1 (390)	-1 (6)	98,64
	3	-1 (30)	1 (10)	95,64	-1 (210)	1 (10)	93,55
	4	1 (70)	1 (10)	96,91	1 (390)	1 (10)	97,91
Repetições no ponto central	5	0 (50)	0 (8)	95,28	0 (300)	0 (8)	93,82
	6	0 (50)	0 (8)	95,28	0 (300)	0 (8)	93,91
	7	0 (50)	0 (8)	95,37	0 (300)	0 (8)	94,01
Pontos axiais	8	-1,41 (22)	0 (8)	96,28	-1,41 (173)	0 (8)	89,55
	9	+1,41 (78)	0 (8)	97,73	+1,41 (427)	0 (8)	97,55
	10	0 (50)	-1,41 (5)	96,37	0 (300)	-1,41 (5)	93,19
	11	0 (50)	+1,41 (11)	95,10	0 (300)	+1,41 (11)	93,73

Fonte: A autora (2019).

Como pode ser observado acima, a maior remoção de turbidez se deu no tratamento 9, ou seja, no ponto axial +1,41 para o coagulante Magnafloc LT 7990 e para o PAC, foi observado maior remoção de turbidez nos tratamentos 2 e 4, ou seja, no nível +1, chegando a remoções de 97,73% e 98,64% com o Magnafloc e PAC respectivamente.

Nas Figuras 8 e 9, pode-se visualizar os gráficos da probabilidade normal dos resíduos para ambos os casos, que apresentam ajuste satisfatório, pois nos dois casos todos os resíduos estão distribuídos ao redor da reta.

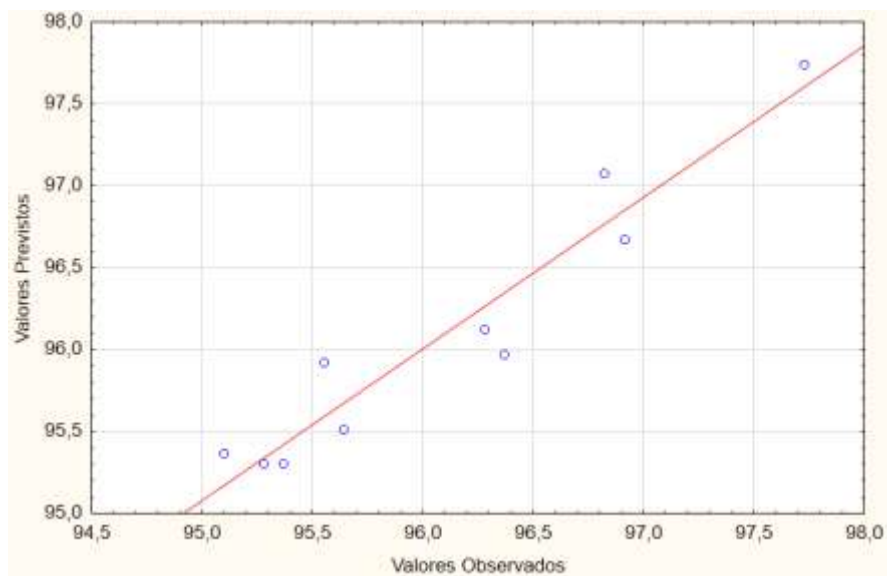


Figura 8 - Gráfico Probabilidade Normal Resíduos - Magnafloc LT 7990.
Fonte: A autora (2019).

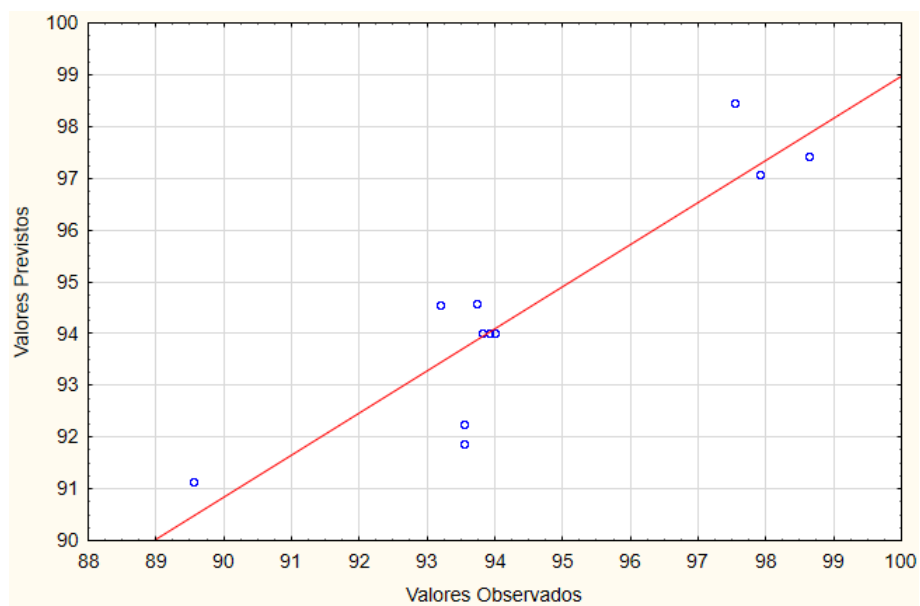


Figura 9 - Gráfico de Probabilidade Normal dos Resíduos - PAC.
Fonte: A autora (2019).

Já as Figuras 10 e 11, apresentam os gráficos dos resíduos pelos valores observados, onde, pode-se visualizar que os valores se apresentam de forma aleatória, sem qualquer tendência, para os dois coagulantes.

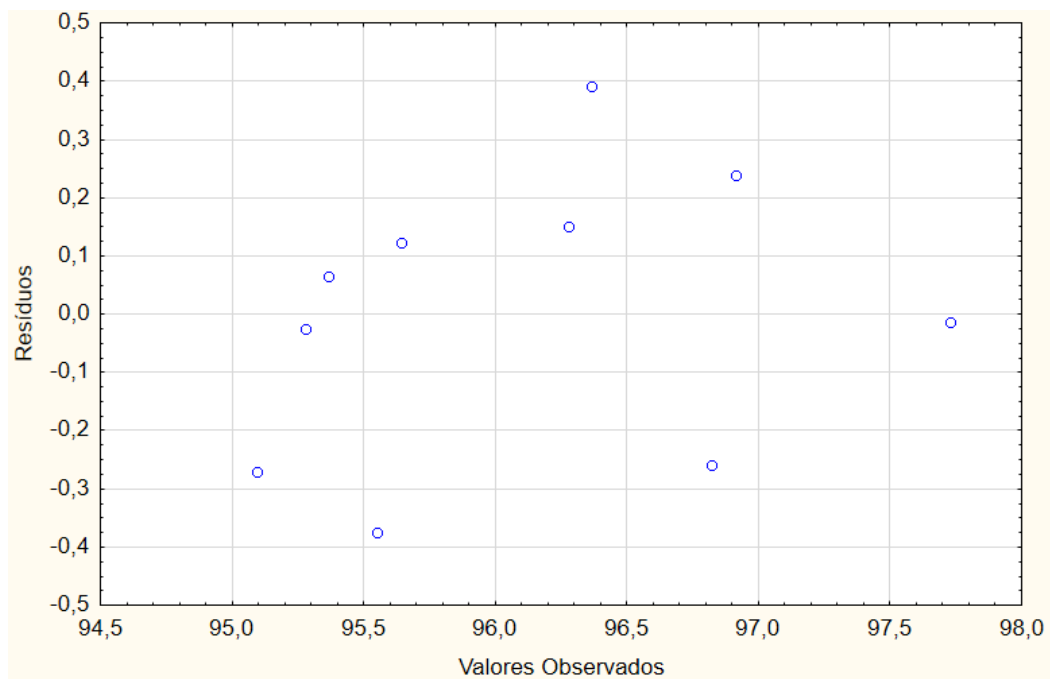


Figura 10 - Gráfico dos Resíduos pelos Valores Observados – Magnafloc LT 790.
Fonte: A autora (2019).

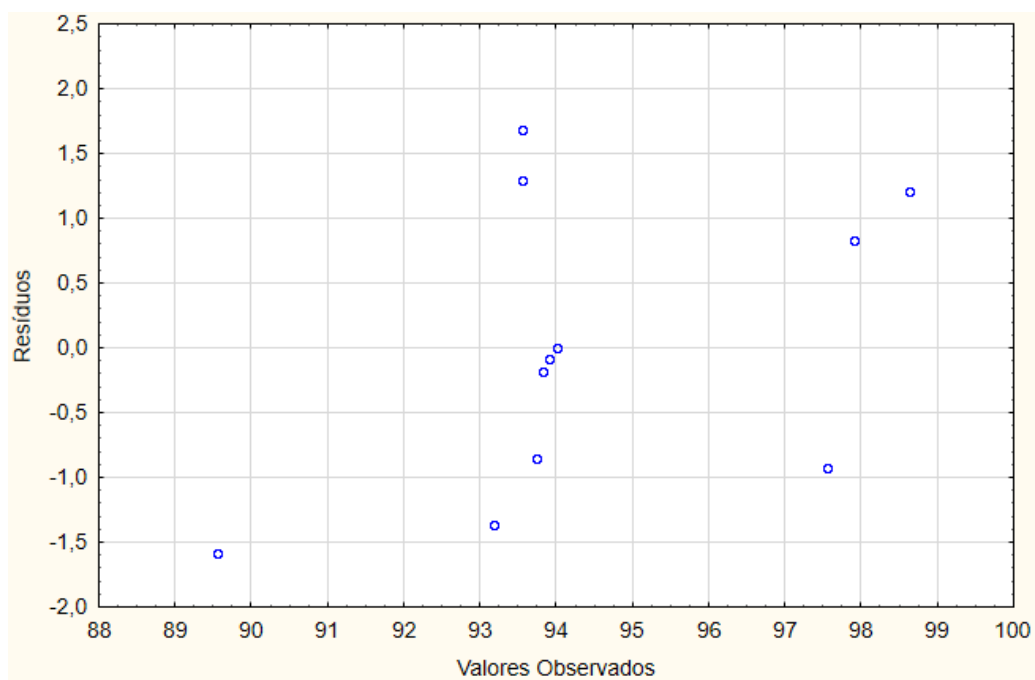


Figura 11 - Gráfico dos Resíduos pelos Valores Observados – PAC.
Fonte: A autora (2019).

Para se verificar a qualidade de ajuste do modelo, utilizou-se a análise de

variância (ANOVA), analisando o coeficiente de determinação e o teste F.

Tabela 15 - Análise de variância para remoção de turbidez.

	Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}	F _{alc./F_{tab}}	p-valor
Sedimentação Magnafloc + Mistura Coagulantes	Regressão	6,37	5	1,27	11,9	5,05	2,3564356	0,0061
	Resíduos	0,6	5	0,1				
	Falta de Ajuste	0,6	3	0,2	68,8	19,2	3,5833333	0,01436
	Erro	0,1	2	0,05				
	Total	6,9	10					
Sedimentação PAC + Mistura Coagulantes	Regressão	53,8	5	10,76	4,5	5,05	0,8910891	0,0057
	Resíduos	12,3	5	2,5				
	Falta de Ajuste	12,3	3	4,1	454,1	19,2	23,651042	0,0022
	Erro	2,53	2	1,25				
	Total	66,1	10					

Fonte: A autora (2019).

Avaliando a regressão para os coagulantes (Tabela 15), o valor do Magnafloc LT 7990 apresentou $F_{\text{calculado}}=11,9$ maior que o $F_{\text{tabelado}}=5,05$, sendo significativo, com $p<0,05$. Porém o PAC o $F_{\text{calculado}}=4,5$ foi menor que o $F_{\text{tabelado}}=5,05$, não sendo significativo. Foram considerados apenas os valores significativos.

As Tabelas 16 e 17 apresentam as tabelas de efeitos, obtidas no software STATÍSTICA, para cada um dos coagulante.

Tabela 16 – Tabela de Efeitos para o Magnafloc LT 7990

Fator	Efeito	Std. Err	t(5))	p	-0,95, % Cnf. Limt	+0,95, % Cnf. Limt	Coefficiente	STd. Err Coeff	-0,95, % Cnf. Limt	+0,95, % Cnf. Limt
Mean/Interc	95,30320	0,188557	505,4352	0,000000	94,81850	95,78790	95,30320	0,188557	94,81850	95,78790
Coagulante L	1,15597	0,232263	4,9770	0,004187	0,55892	1,75303	0,57799	0,116132	0,27946	0,87651
Coagulante Q	1,66366	0,281649	5,9068	0,001980	0,93965	2,38766	0,83183	0,140824	0,46983	1,19383
Floculante I	-0,40605	0,224199	-1,8111	0,129888	-0,98237	0,17027	-0,20302	0,112100	-0,49119	0,08514
Floculante Q	0,32687	0,250564	1,3045	0,248872	-0,31723	0,97096	0,16343	0,125282	-0,15861	0,48548
1 by 2	0,00000	0,326824	0,0000	1,000000	-0,84013	0,84013	0,00000	0,163412	-0,42006	0,42006

Fonte: STATISTICA (2019).

Tabela 17 – Tabela de Efeitos para o PAC

Fator	Efeito	Std. Err	t(5)	p	-0,95, % Cnf. Limt	+0,95, % Cnf. Limt	Coefficiente	STd. Err Coeff	-0,95, % Cnf. Limt	+0,95, % Cnf. Limt
Mean/Interc	94,00367	0,918041	102,3959	0,000000	91,64377	96,36357	94,00367	0,918041	91,64377	96,36357
Coagulante	5,19253	1,126724	4,6085	0,005795	2,29619	8,08886	2,59626	0,563362	1,14810	4,04443
Coagulante	0,80848	1,355521	0,5964	0,576862	-2,67600	4,29295	0,40424	0,677761	-1,33800	2,14648
Floculante I	0,02137	1,091885	0,0196	0,985141	-2,78541	2,82815	0,01069	0,545942	-1,39270	1,41407
Floculante C	0,50623	1,221592	0,4144	0,695758	-2,63397	3,64643	0,25312	0,610796	-1,31699	1,82322
1 by 2	-0,36331	1,591682	-0,2283	0,828491	-4,45485	3,72824	-0,18165	0,795841	-2,22743	1,86412

Fonte: STATISTICA (2019).

No Quadro 2 observa-se as equações obtidas pelo modelo. As equações matemáticas foram obtidas a partir dos valores significativos.

	Equação
Remoção de Turbidez pelo Magnafloc (%)	$95,30 + 0,57\text{Coag} + 0,83 (\text{Coag})^2$
Remoção de Turbidez pelo PAC (%)	$94,00 + 2,59 \text{Coag}$

Quadro 2 – Equações obtidas pelo modelo.

Fonte: A autora (2019).

Com base no gráfico de superfície de resposta, pode-se observar que não foi encontrada uma faixa de aplicação ótima, e sim uma tendência de uma região que com maiores concentrações de coagulante e floculante irá se obter uma maior eficiência com relação a remoção de turbidez.

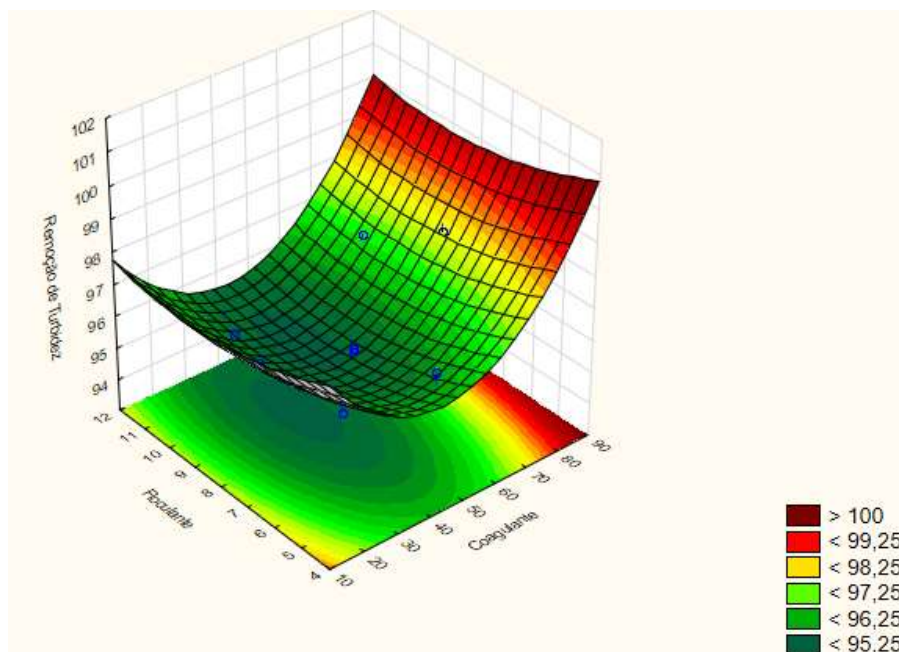


Figura 12 - Gráfico de Superfície – Magnafloc LT 7990.
Fonte: A autora (2019).

Observa-se na Figura 12 que o melhor valor de remoção de turbidez foi nas concentrações de 78 ppm de coagulante e 8 ppm de floculante, assim foi obtido 97,73%. Em relação PAC, não foi possível apresentar o gráfico de superfície de resposta devido o modelo não ter sido válido estatisticamente.

Papp (2017) trabalhou com o coagulante inorgânico PAC e com um orgânico (Novfloc) em efluente de laticínio. As concentrações encontradas para a maior remoção de turbidez para o PAC encontrada de 427 ppm ficou próxima à encontradas no presente estudo, 390 ppm. Já com relação ao coagulante orgânico utilizado, para uma maior remoção de turbidez, Papp (2017) utilizou também 427ppm e este trabalho encontrou melhor remoção com 78ppm.

Hanauer (2017) trabalhou com efluente de abatedouro de aves, coletado após a etapa de tratamento preliminar composta por peneira rotativa, assim como no presente estudo. Utilizou coagulante orgânico a base de Tanino e inorgânico a base de alumínio, sendo que as melhores eficiências de remoção de turbidez foram obtidas com o uso orgânico na concentração de 150ppm, com valores de 98,55 e 99,43%, similar ao encontrado neste trabalho que alcançou as melhores eficiências, no coagulante orgânico, com valores de 96,82% e 97,73%, porém com uma

concentração de 78ppm de coagulante.

A Tabela 18 apresenta as concentrações que obtiveram melhor percentual de remoção de Turbidez para cada coagulante, bem como o consumo para um volume de 191.497 m³ de efluente tratado e os valores gastos com cada coagulante. Os preços por quilograma de coagulante são os praticados no mercado, fornecido pelo empreendimento em estudo

Tabela 18 - Comparativo Valores

	Volume efluente: 191.497m ³			
	Coagulante (ppm)	Consumo (kg)	Preço por Kg (R\$)	Valor gasto(R\$)
Magnafloc LT 7990 (ppm)	78	14.936	12,92	192.973,12
PAC (ppm)	390	74.683	1,95	145.633,46

Fonte: A autora (2019).

Atualmente o empreendimento estudado utiliza o coagulante Magnafloc LT 7990 em seu tratamento primário, trabalha com uma concentração de 87ppm do referido coagulante. Considerando o volume de 191,497 m³, que é a média do volume de efluente tratado nos meses de abril, maio e junho, obteve-se uma média de consumo mensal de 16.660 Kg de coagulante, com um custo médio de R\$ 215.250,28/mês, ou seja, somente ajustando a concentração do coagulante, já teria um ganho econômico de 10,34%.

6 CONCLUSÕES

Como proposto neste trabalho, foi caracterizado físico-quimicamente o efluente agroindustrial através dos parâmetros: pH, turbidez, sólidos suspensos totais, sólidos suspenso fixos e voláteis, matéria orgânica (DQO e DBO) e óleos e graxas e constatado que os valores apresentados estão próximos aos encontrados em outros frigoríficos que abatem a mesma quantidade aproximada de aves.

Verificado em ensaios preliminares a dosagem mínima e o pH ótimo de coagulação de cada coagulante proposto, bem como determinado a dosagem ótima de cada coagulante no processo de coagulação/floculação seguido de sedimentação em Jar-test. Para o coagulante inorgânico, a dosagem mínima ficou na mesma faixa de trabalhos similares, porém o coagulante orgânico, apresentou dosagens mínimas inferiores à trabalhos na mesma linha. Quanto à faixa de pH ótimo, ambos os coagulantes apresentaram a mesma faixa de pH encontrados em outros estudos

Analisando resultados obtidos neste estudo e considerando a condição dos ensaios, pode-se concluir que os coagulantes Magnafloc LT 7990 e PAC apresentaram resultados similares no processo da sedimentação, ambos mostrando ser eficientes na formação de flocos com características apropriadas para o processo de sedimentação, sendo que o coagulante PAC apresentou uma maior redução de turbidez. Para o Magnafloc LT 7990, os melhores resultados apresentaram uma remoção de turbidez na sedimentação de até 97,73%, com 78 ppm de coagulante e 8 ppm de floculante, para o PAC em sedimentação, os melhores resultados obtiveram remoções de até 98,64%, com 390 ppm de coagulante e 6 ppm de floculante.

Na rápida análise econômica efetuada, percebeu-se que mesmo o PAC tendo um consumo muito maior de coagulante, o custo com o mesmo é bem menor, se comparado com o coagulante orgânico, além de ter a possibilidade reduzir um pouco o consumo do floculante. Deve-se levar em consideração, que, para utilização do PAC, tem-se o custo adicional de ajuste de pH. Porém, o coagulante orgânico, apesar de apresentar maior custo, é empregado na indústria porque proporciona um

destino mais nobre para o lodo, pois é utilizado na fabricação de ração, o que não seria possível com o coagulante inorgânico.

Com relação aos delineamentos compostos de sedimentação, não foi possível alcançar a faixa ótima da aplicação dos coagulantes na faixa de estudo, apenas uma tendência à melhor dosagem de aplicação, até porque o efluente em questão, por ser industrial tem muita variação de um dia para outro, tornando o estudo mais trabalhoso.

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se efetuar estudos com o lodo gerado para utilização do mesmo, visando fazer uso do coagulante PAC sem prejuízos com relação à retenção de metais, por exemplo. Sugere-se ainda, estudos como poder calorífico do lodo, utilização para geração de biogás, entre outros.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22 ed., Washington, DC: APHA, 2012.

ALVES, Jhonatan de J. Diagnóstico e proposição de melhorias no sistema de tratamento de EFLUENTES DE um abatedouro e frigorífico de aves. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 9897/87 - Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.

BASSIN, J. P.; DEZOTTI, M. Tratamento primário, secundário e terciário de efluentes. In: DEZOTTI, M. Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos. Série Escola Piloto de Engenharia Química COPPE/URRJ. Rio de Janeiro: E-papers, 2008.

BASF, Water Solutions. Disponível em:<
[http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/Magnafloc_LT7990\(HT\).pdf](http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/Magnafloc_LT7990(HT).pdf)> Acesso em: 01 julho 2019.

CAVALCANTI, J. E. W. A. Manual de Tratamento de Efluentes Industriais. 2 ed ampliada. São Paulo: Engenho Editora técnica Ltda., 2012, 499 p.

CRITTENDEN, J. C.; TRUSSELL, R. R.; HAND, D. W.; HOWE, K. J.; TCHOBANOGLOUS, G. MWH's water treatment: principles and design. 3rd ed. 62 Hoboken: J. Wiley & Sons, 2012.

CSM, Produtos Químicos. Disponível em:<
<http://csmmq.com.br/produtos/policloreto-de-aluminio-pac-18>> Acesso em: 01 julho 2019.

DA SILVA, T. E. M.; SILVA, L. F.; LIMA, R. B. C.; LEITE, Y. F. M. M. Avaliação do uso de coagulantes orgânicos no tratamento de efluentes de galvanoplastia: UM ESTUDO DE CASO. Blucher Chemistry Proceedings, v. 3, n. 1, p. 1122-1128, 2015.

DAMASCENO, S et al. Caracterização e readequação de sistema de tratamento de efluentes de frigorífico de aves. I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais – Florianópolis, SC – 2009

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. São Paulo: Rima, 2002.

DI BERNARDO, L; DANTAS, A.DB. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2. ed. São Carlos, SP: RiMa, 2005. 2 v. ISBN 8576560666 (v.1).

ECKENFELDER JR, W. W. Industrial Water Pollution Control. 3.ed, EUA: cGraw-Hill, 2000.

FERREIRA, R. P. Uso de coagulantes naturais como pré-tratamento de efluente de laticínio. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012.

HANAUER, Taís. V. Aplicação de coagulantes químico e orgânico para o tratamento de efluente de abatedouro avícola. 6º Simpósio de Biotecnologia na Agroindústria, 2017.

JESUS, J.A. Diagnóstico e proposição de melhorias no sistema de tratamento de efluentes de um abatedouro e frigorífico de aves. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2018.

LIMA. G. J. de A. Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2007.

MAGNAM, R.B. Análise da viabilidade técnica e financeira da substituição do coagulante cloreto férrico por policloreto de alumínio durante o processo físico-químico no tratamento de efluente de abatedouro avícola. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Passo Fundo, 2010.

METCALF, G., EDDY, H. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. McGraw-Hill. 4 ed. 2003.

METCALF & EDDY. AECOM. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

NUNES, J. A. Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais. 6. ed. Aracaju: J. Andrade, 2012.

PAPP, Gabriel T. Pós-Tratamento físico-químico por flotação FAD em efluentes de laticínios. 2017. 84 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2017.

PAVANELLI, G. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor e turbidez elevada. 233 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos/SP, 2001.

PELEGRINO, E. C. F. Emprego de Coagulante a Base de Tanino em Sistema de Pós-tratamento de Efluente de reator UASB por Flotação. 155 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo (USP). Escola de Engenharia de São Carlos, 2011.

PETRY, Jean C. Tratamento Físico-Químico por Flotação FAD de Efluente Laboratorial. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2017.

POLICONTROL INSTRUMENTOS DE CONTROLE AMBIENTAL. Manual FlocControl III: 10 a 600 rpm. 16. ed. Diadema, 2013. (Versão 2.24).

PUREWATER. Propriedades do Policloreto de Alumínio. Disponível em: <http://purewaterrefluentes.com.br/produtos/policloreto-de-aluminio.html>. Acesso em: 01 julho 2019.

RIBEIRO, Iuri. Aplicação de coagulantes e floculantes orgânicos alternativos no pós-tratamento de efluente de laticínio. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2015

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

RODRIGUES, L.S. et al. Tratamento de efluentes de abatedouro de frangos por meio de reator UASB seguido de filtro anaeróbio. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.68, n.1, p.97-103, 2016.

SOLANA, Isabela. Estudo da viabilidade de utilização de um polímero de base orgânica em substituição ao cloreto férrico no tratamento de efluente industrial. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2014.

VIANNA, Marcos Rocha. Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água. 3a edição. Belo Horizonte/MG: Imprimatur, 1997.

TRUGUILHO, P.F. CAIXETA R. P. LIMA, J. T. MENDES, L. M. Avaliação do conteúdo em taninos condensados de algumas espécies típicas do cerrado mineiro. Cerne 1997; 3(1): 1-13.