

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

PAULA DERKSEN MACRUZ

**AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DO CHORUME DE ATERRO
SANITÁRIO POR PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO
COM O COAGULANTE TANINO E POLICLORETO DE ALUMINIO
(PAC)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2015

PAULA DERKSEN MACRUZ

**AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DO CHORUME DE ATERRO
SANITÁRIO POR PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO
COM O COAGULANTE TANINO E POLICLORETO DE ALUMÍNIO
(PAC)**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Me. Paula Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB
Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DO CHORUME DE ATERRO SANITÁRIO POR PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COM O COAGULANTE TANINO E POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC)

por

PAULA DERKSEN MACRUZ

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 13 de fevereiro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Me. Paula Cristina de Souza

Prof. Dr^a. Cristiane Kreutz

Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira

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

RESUMO

MACRUZ, P.D. **AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DO CHORUME DE ATERRO SANITÁRIO, POR PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COM O COAGULANTE TANINO E POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC)**. 2015. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o tratamento físico químico por coagulação/floculação do chorume do aterro sanitário de Campo Mourão, utilizando Tanino e Policloreto de Alumínio (PAC) como coagulantes. Os ensaios foram feitos em escala de bancada, utilizando o equipamento *Jar Test*. Foram avaliados parâmetros como pH, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais, sólidos suspensos do afluente e do efluente tratado. Os resultados indicaram que o tanino apresenta remoções de até 73% para cor aparente, 99% para turbidez, 32% para DQO, 68% para sólidos totais e 44% para sólidos suspensos, enquanto o PAC apresenta valores de até 80% para cor aparente, 94% para turbidez, 38% para DQO, 63% para sólidos totais e 28% para sólidos suspensos. As melhores dosagens para o coagulante Tanino encontram-se entre 1100 e 1500 mg/L e para o coagulante PAC encontram-se em 900 mg/L. Foi realizada a quantificação de lodo gerado em cada ensaio, sendo que o coagulante PAC produziu uma média de 40 ml/L, enquanto o tanino produziu 70 ml/L. Por final, o lodo gerado foi secado e foi feita a análise do teor de fósforo precipitado. O coagulante PAC obteve maiores valores de teor de fósforo que o Tanino, alcançando o valor $3,59^{-3} g/Kg$, enquanto o tanino alcançou $3,03^{-3}$, porém ambos são baixos comparados a resultados de outros autores. Concluiu-se que ambos os coagulantes apresentaram resultados finais satisfatórios para quase todos os parâmetros, porém, devido à complexidade do chorume, é necessário realizar a combinação de tratamentos para obtenção de resultados que estejam de acordo com o previsto nas legislações ambientais.

Palavras-chave: Chorume, *Jartest*, Tanino, Policloreto de Alumínio.

ABSTRACT

MACRUZ, P.D. **EVALUATION OF MANURE TREATMENT FROM SANITARY LANDFILL BY THE COAGULATION/FLOCCULATION PROCESS WITH TANNIN COAGULANT AND POLY ALUMINIUM CHLORIDE (PAC)**. 2015. 73 p. Course Conclusion Paper (Bachelor of Environmental Engineering), Federal Technological University of Paraná. Campo Mourao, 2015.

This study aims to evaluate the chemical physical treatment by coagulation / flocculation of manure from the sanitary landfill of Campo Mourao, using two different coagulants, Tannin and Poly Aluminum Chloride (PAC). The tests were carried out in a bench scale using the Jar Test equipment. It were evaluated parameters such as pH, turbidity, chemical oxygen demand (COD), total solids, suspended solids from the affluent and from the treated effluent. The tannin presents removal up to 73% for apparent color, 99% for turbidity, up to 32% for COD, 68% for total solids and 44% for suspended solids, while the PAC presented values of up to 80% for apparent color, 94% for turbidity, 38% for COD, 63% for total solids and 28% for suspended solids. The best coagulant dosages for tannin are found between 1100 and 1500 mg / L and for the PAC coagulant find themselves in 900 mg / L. It was performed a quantification of the generated sludge for each test, and it was noticed that PAC produces lesser amount. By the end, the generated sludge was dried up and was performed the analysis of the precipitate phosphorous content for further sludge recycling, aiming soils for agriculture. The PAC coagulant obtained higher phosphorous content values than the Tannin, but both are low compared to results of other authors. It was concluded that both coagulants presented satisfactory final results for almost all parameters, however, due to the complexity of manure, it is necessary to combine treatments to achieve results that are in accordance with the requirements in the environmental laws.

Keywords: manure, Jar test, Tannin, Poly Aluminum Chloride.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Criador que me mostrou o caminho para que com perseverança e dedicação eu chegasse até aqui.

Agradeço aos meus pais pela paciência e pelo apoio toda vez que precisei de um ombro amigo ou de algum empurrão na vida. Agradeço meu irmão pelas brigas, mas também pelas risadas. Agradeço todos os meus familiares, sempre presentes em cada conquista.

Agradeço a todos os meus amigos, por cada risada, experiência, choro, conversa, por tudo. Agradeço também aqueles amigos não tão próximos, mas que também estiveram presentes, seja nas horas de alegria como nas de dor.

Agradeço a toda coordenação de Ambiental pelo aprendizado que me mostrou a necessidade de fazer a diferença. Agradeço em especial a minha banca, Cristiane e Rafael, pela ajuda e sugestões.

Agradeço a minha orientadora, Paula, pela paciência e atenção ao me ajudar a desenvolver este trabalho.

Agradeço aos técnicos de laboratório, Marcelo e Kássia, pela ajuda durante a realização da parte experimental.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Coloração do chorume antes do tratamento..... | 25 |
| Figura 2. Equipamento <i>Jar Test</i> utilizado no tratamento | 27 |
| Figura 3. Redução do pH em função das concentrações adotadas e valor médio do pH do afluente para coagulante Tanino..... | 28 |
| Figura 4. Porcentagens de remoção dos parâmetros cor aparente, DQO e turbidez para cada concentração adotada para coagulante Tanino..... | 29 |
| Figura 5. Porcentagem de remoção para os parâmetros Sólidos Totais e Sólidos Suspensos obtidos em cada concentração para o coagulante Tanino | 30 |
| Figura 6. Redução do pH em função das concentrações adotadas e valor médio do pH do afluente para coagulante PAC | 32 |
| Figura 7. Porcentagens de remoção dos parâmetros cor aparente, DQO e turbidez para cada concentração adotada para coagulante PAC | 33 |
| Figura 8. Porcentagem de remoção para os parâmetros Sólidos Totais e Sólidos Suspensos obtidos em cada concentração para o coagulante PAC..... | 35 |
| Figura 9. Cones de Imhoff no ensaio de determinação do volume de lodo | 36 |
| Figura 10. Volume final de lodo gerado para cada concentração dos dois coagulantes testados..... | 37 |
| Figura 11. Média do volume em ml/L de lodo gerado para cada coagulante testado | 37 |
| Figura 12. Valores máximos obtidos da taxa de remoção para cada parâmetro, dos dois coagulantes estudados | 38 |
| Figura 13. Quantidade de fósforo presente no lodo para cada dosagem de tanino e PAC | 40 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Condições operacionais e dosagens utilizadas para o coagulante Tanino e Policloreto de Alumínio (PAC) | 20 |
| Tabela 2. Parâmetros analisados e seus respectivos métodos de análise | 20 |
| Tabela 3. Características do afluente | 24 |
| Tabela 4. Classificação do lixiviado de acordo com a idade do aterro | 26 |
| Tabela 5. Dados de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez e DQO obtidos por outros autores com o coagulante Tanino | 30 |
| Tabela 6. Resultados de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez e DQO obtidos por outros autores com o coagulante PAC | 34 |
| Tabela 7. Dados em relação à quantidade de fósforo presente no lodo obtido por outros autores | 41 |
| Tabela 8. Características físico química de esgotos sanitários | 41 |
| Tabela 9. Comparação da composição de lixiviados de aterros sanitários situados no Canadá..... | 41 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 OBJETIVOS | 11 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 11 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 11 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 12 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CHORUME E SEU IMPACTO NO MEIO AMBIENTE | 12 |
| 3.2 CHORUME FRENTE À LEGISLAÇÃO AMBIENTAL | 13 |
| 3.3 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE CHORUME | 14 |
| 3.3.1 Coagulação/Floculação | 15 |
| 3.4 TIPOS DE COAGULANTES | 15 |
| 3.5 ESTUDOS REALIZADOS COM TANINO E POLICLORETO DE ALUMÍNIO | 16 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 19 |
| 4.1 COLETA DO CHORUME | 19 |
| 4.2 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO | 19 |
| 4.3 CARACTERIZAÇÃO DO CHORUME | 20 |
| 4.3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH) | 21 |
| 4.3.2 Cor Aparente | 21 |
| 4.3.3 Turbidez | 21 |
| 4.3.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO) | 22 |
| 4.3.5 Sólidos | 22 |
| 4.4 QUANTIFICAÇÃO DO LODO GERADO | 22 |
| 4.5 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS COAGULANTES | 23 |
| 4.5.1 Análises estatísticas | 23 |
| 4.6 FÓSFORO | 23 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 24 |
| 5.1 CARACTERÍSTICAS DO AFLUENTE | 24 |
| 5.2 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO DO CHORUME | 27 |
| 5.2.1 Ensaio de coagulação floculação com o coagulante Tanino | 27 |
| 5.2.2 Ensaio de coagulação floculação com o coagulante Policloreto de Alumínio (PAC) | 32 |
| 5.2.3 Quantificação de lodo gerado em cada ensaio | 36 |
| 5.3 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DOS COAGULANTES | 38 |
| 5.4 TEOR DE FÓSFORO NO LODO | 40 |
| 6 CONCLUSÃO | 43 |
| REFERÊNCIAS | 45 |
| APÊNDICE A – Resultados do Afluente | 50 |
| APÊNDICE B – Resultados do efluente tratado com Tanino | 51 |
| APÊNDICE C – Resultado do efluente tratado com PAC | 52 |
| APÊNDICE D – Resultados do Teste de Tukey para o efluente tratado com Tanino | 55 |
| APÊNDICE E – Resultados do Teste de Tukey para o efluente tratado com PAC | 58 |
| APÊNDICE F – Teste estatístico T entre as melhores dosagens de Tanino e PAC | 68 |
| APÊNDICE G – Resultados do teor de fósforo gerados no lodo pós tratamento | 73 |

1 INTRODUÇÃO

A produção de resíduos é datada desde o começo da civilização. Porém, antes a sua composição era basicamente de resíduos orgânicos, portanto degradavam-se facilmente voltando a fazer parte da natureza. Com a revolução industrial que se iniciou na Inglaterra em meados do século XVIII e conseqüentemente o aumento da população mundial, os resíduos se tornaram mais diversificados, causando graves problemas para humanidade e para o meio ambiente.

Motivo este que tornou fundamental a criação de políticas ambientais com a finalidade de amenizar a degradação ambiental. O lixo urbano é uma das maiores preocupações sanitárias e ambientais do Brasil, pois praticamente todas as atividades humanas produzem lixo, sendo estimada uma produção média de 1,228 kg/habitante.dia no Brasil (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, 2014).

Visando minimizar os problemas ambientais foram criados os aterros sanitários para a destinação final e correta dos resíduos sólidos. Porém, por mais que esses empreendimentos sejam construídos de forma a não impactar o meio ambiente, os aterros continuam a gerar subprodutos perigosos ao meio ambiente, como a produção de gás metano e efluentes líquidos formados pela decomposição do lixo.

O chorume, mais conhecido por lixiviado ou líquido percolado, é um poluente altamente tóxico gerado através da decomposição da matéria orgânica. Sua remoção é determinada por lei com o intuito de impedir a infiltração nas camadas mais profundas do solo e conseqüentemente a contaminação dos aquíferos. Este efluente também não pode ser lançado diretamente nos rios, pois o mesmo também os contaminaria, causando impactos significativos.

O Aterro Sanitário de Campo Mourão teve sua operação iniciada em fevereiro de 2002, e localiza-se a 12 quilômetros da cidade (com acesso pela Estrada Boiadeira) em uma área de 6 alqueires, localizada a noroeste do município, em área rural, no lote A-1, subdivisão da Fazenda Indaiá. A área situa-se a 14 quilômetros do Rio do Campo, manancial de onde é captada cerca de 80% da água que a Companhia de Saneamento do Paraná fornece para a cidade. O Grupo

SELETA, empresa em operação o aterro, recebe em média de 57,4 toneladas de resíduos por dia. O aterro apresenta tratamento biológico, que é composto por quatro lagoas, duas de equalização que possuem manta especial de impermeabilização e duas de infiltração.

O tratamento apresentado neste trabalho difere do tratamento atual do aterro. O tratamento físico-químico através de coagulação/floculação é realizado através do emprego de agentes coagulantes. Sabe-se que os agentes coagulantes são responsáveis por desestabilizar o equilíbrio químico e gerar o floco, já os agentes floculantes são responsáveis pelo aumento do floco. Os agentes coagulantes mais utilizados geralmente são a base de alumínio e ferro, porém novos estudos estão sendo realizados para a substituição desses coagulantes químicos por coagulantes vegetais, como o tanino vegetal e a *Moringa oleífera*.

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a eficiência do tratamento físico-químico do chorume do aterro sanitário do município de Campo Mourão, Paraná, com dois diferentes tipos de coagulantes. Ainda com os resultados obtidos, comparar com resultados de outros autores e com a legislação pertinente para despejo final do efluente tratado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o processo de coagulação/floculação utilizando coagulante vegetal Tanino e coagulante químico Policloreto de Alumínio (PAC) para o tratamento de chorume.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Determinar as características físico-químicas do chorume gerado no aterro sanitário de Campo Mourão, Paraná;
- Tratar o afluente com dois coagulantes diferentes através do processo de coagulação/floculação;
- Determinar as características físico-químicas do efluente tratado;
- Quantificar o lodo gerado em cada ensaio de coagulação-floculação;
- Avaliar a eficiência de cada coagulante;
- Avaliar se o efluente tratado enquadra-se nos parâmetros estabelecidos pela legislação do CONAMA 357/2005, complementada e alterada pelo CONAMA 430/2011;
- Avaliar o teor de fósforo presente no lodo após o tratamento físico químico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CHORUME E SEU IMPACTO NO MEIO AMBIENTE

O chorume é um efluente líquido originado a partir da degradação dos resíduos e da percolação da água da chuva no lixo, a qual dissolve os compostos orgânicos e inorgânicos. A decomposição biológica do lixo governará a produção de gás e a composição do chorume, que dependerão, fundamentalmente, da qualidade do resíduo disposto e da fase em que o processo se encontra (RODRIGUES, 2004).

O chorume gerado a partir de aterros municipais é considerado um efluente complexo e pode conter altas concentrações de compostos orgânicos, metais pesados, amônia, cloretos e muitos outros compostos solúveis (CABEZA et al., 2007).

De acordo com Kjeldsen et al. (2002), o chorume pode ser caracterizado como uma solução aquosa com quatro grupos de poluentes: material orgânico dissolvido (ácidos graxos voláteis e compostos orgânicos mais refratários como ácidos húmicos e fúlvicos); macro componentes inorgânicos tais como: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} ; metais pesados tais como: Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} ; e compostos orgânicos xenobióticos originários de resíduos domésticos e químicos presentes em baixas concentrações (hidrocarbonetos aromáticos, fenóis, pesticidas, entre outros).

A composição química e microbiológica do lixiviado é bastante complexa e variável, uma vez que, além de depender das características dos resíduos depositados, é influenciada pelas condições ambientais, pela forma de operação do aterro e, principalmente, pela dinâmica dos processos de decomposição que ocorrem no interior das células (FELICI, 2010).

O seu alto potencial poluidor, em função da sua elevada concentração de compostos orgânicos recalcitrantes e baixa biodegradabilidade, gera impactos ambientais relevantes (TELLES, 2010).

Os principais efeitos do lançamento do lixiviado nos corpos hídricos estão associados à diminuição do teor de oxigênio dissolvido, a toxicidade causada pela

amônia e a eutrofização, devido às elevadas concentrações de nitrogênio (KJELDSEN et al., 2002).

Para reduzir o impacto ambiental provocado pela degradação dos resíduos sólidos no ambiente (solo, subsolo, águas superficiais ou subterrâneas) requer mecanismos de tratamento eficazes para a remoção dos agentes contaminantes, a fim de não comprometer a qualidade dos sistemas biológicos, como a fauna e flora (CHERNICHARO, 1997).

3.2 CHORUME FRENTE À LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Quando o chorume é lançado em um corpo receptor, a elevada presença de matéria orgânica pode promover a redução do nível oxigênio dissolvido na água, dependendo do volume do efluente e das condições do corpo hídrico, provocando então um desequilíbrio no ecossistema aquático, podendo levar a morte de diversas espécies animais e vegetais. Segundo Felici (2010), altas concentrações de nitrogênio amoniacal no meio aquoso podem provocar o fenômeno de eutrofização, comprometendo a qualidade da água.

Não existe uma legislação federal específica para o despejo desse tipo de efluente nos corpos hídricos, porém os órgãos ambientais exigem um padrão para o lançamento dos efluentes. A resolução CONAMA 357 de 2005, alterada e complementada pela resolução CONAMA 430 de 2011, dispõe a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e os padrões de lançamento dos efluentes, dentre outras providências.

Em nível estadual devem-se delimitar os padrões para o lançamento dos efluentes, a partir de suas características regionais e locais. Geralmente os limites são os adotados pela resolução CONAMA 357 de 2005. Também existem outras normas, portarias, resoluções e instrumentos legais de fiscalização e controle para lançamento de cargas poluidoras. Encontram-se restrições nos documentos de implantação e/ou operação de obras que gerem efluentes líquidos de qualquer espécie, os quais devem ser seguidos sem exceções.

De acordo com o artigo 16 da resolução CONAMA 430/11, o efluente de qualquer fonte poluidora ao ser lançado em corpos receptores deverá obedecer algumas condições, dentre quais algumas são citadas: pH entre 5 e 9; temperatura inferior a 40°; a quantidade de sólidos sedimentáveis deve ser até 1 mL/L.

A Resolução CONAMA 357/05 também classifica os cursos d'água que poderão ser os corpos receptores do chorume após o tratamento. Essa classificação é dada não necessariamente considerando-se apenas o estado atual do corpo receptor, mas também o nível de qualidade que se pretende para o corpo hídrico. Para as águas doces, a classificação abrange as classes de rio de 1 a 4 e a classe especial, sendo a classe especial correspondente ao uso mais nobre, e a classe 4 ao uso menos nobre.

Jucá et al. (2009) dizem que a adequação do chorume tratado à legislação ambiental, torna-se uma difícil tarefa, ligada sobretudo à complexidade do lixiviado, principalmente devido a sua variabilidade, tanto de características intrínsecas quanto em função do dinamismo do próprio aterro sanitário, que pode originar diferentes lixiviados a cada período de tempo.

3.3 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE CHORUME

As tecnologias utilizadas para o tratamento de lixiviados podem ser classificadas em quatro grandes grupos: (a) lixiviados de transferência: reciclagem, lagoas e tratamento combinado com esgoto doméstico; (b) biodegradação: processos aeróbios e anaeróbios; (c) processos físicos químicos: oxidação química, adsorção, precipitação química, coagulação/floculação, sedimentação/flotação e (d) filtração por membrana: microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa (RENOU et al., 2007).

Uma vez que não existem processos economicamente viáveis, que permitam reduzir todos os parâmetros ambientalmente relevantes da matriz de chorume, vários trabalhos recentes têm proposto o uso de processos integrados (MORAIS et al., 2005). Alguns autores como Felici (2010) estudam o tratamento do chorume através do processo de coagulação/floculação/sedimentação associado ao

tratamento biológico e já outros autores como Pedroso (2012), estudam o tratamento de coagulação/floculação seguido por ozonização.

3.3.1 Coagulação/Floculação

O termo coagulação e floculação são citados na literatura por vários autores de maneira diferente. Como por exemplo, Pavanelli (2001) define a coagulação como um fator correspondente à desestabilização das cargas negativas por meio de produto químico apropriado, habitualmente sais de ferro ou alumínio ou de polímeros sintéticos, seguidos de agitação rápida, com intuito de homogeneizar a mistura. Devido à alta concentração de nitrogênio, principalmente na forma amoniacal, muitas vezes apenas o tratamento biológico não é suficiente para o tratamento do lixiviado sendo necessário à associação com processos físico-químicos (TELLES, 2010).

3.4 TIPOS DE COAGULANTES

Os Coagulantes tem a função de desestabilizar, agregar e aderir os colóides para transformá-los em flocos, para que sejam removidos por sedimentação, filtração ou flotação. A coagulação é diretamente influenciada pela espécie do coagulante e pela dosagem utilizada. Geralmente são utilizados coagulantes de ferro ou alumínio, como o cloreto férrico e o sulfato de alumínio, pois estes são capazes de produzir hidróxidos gelatinosos insolúveis e englobar as impurezas.

O uso de biopolímeros extraídos de vegetais no processo de coagulação tem várias vantagens em comparação com os sais químicos: (i) a natureza da alcalinidade da água não é consumida durante o processo de tratamento; (ii) O lodo gerado após tratamento apresenta tanto um menor volume como se encontra livre de metais pesados quando comparado com o lodo gerado com uso de constituintes químicos e, finalmente (iii) estes biopolímeros podem ser originários de plantas locais com fácil processamento dando um caráter potencial de baixos custos

operacionais quando comparados com reagentes químicos muitas vezes importados (SILVA et al., 2003).

Os taninos são amplamente distribuídos dentro do reino vegetal, sendo comuns tanto em espécies gimnospermas como angiospermas (BATTESTIN et al., 2004). Algumas madeiras apresentam teor de polifenóis acima de 35% como o cerne do Quebracho, a casca de Acácia Negra e as espécies provenientes de manguezal (GONÇALVES et al., 2001)

De acordo com a empresa TANAC/AS (2014) que é responsável pela industrialização de coagulantes naturais, o Tanino é um polímero orgânico-catiônico de baixo peso molecular, de origem essencialmente vegetal e que atua como: coagulante/floculante/auxiliar de coagulação no tratamento de águas em geral e de efluentes industriais. Atua em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre essas partículas, sendo este processo responsável pela formação de flocos e conseqüentemente, sedimentação.

A empresa StalgeSunsire (2014), afirma que opolicloreto de alumínio (PAC) é um coagulante químico muito recomendado, pois substitui com grande desempenho o sulfato de alumínio e cloreto férrico no tratamento de águas e efluentes, pois é efetivo em larga faixa de pH formando flocos grandes rígidos e pesados, elevando a velocidade de decantação. Também remove eficientemente a carga orgânica/inorgânica do líquido a ser tratado. Possui baixo custo, forma líquida e de fácil manuseio e estocagem.

De acordo com Cruz (2004) os sais de alumínio e os produtos convencionalmente empregados para a correção do pH, são agentes inorgânicos não biodegradáveis que acrescentam elementos químicos à água, ou ao lodo. Como principal dificuldade do processo destaca-se o lodo inorgânico gerado, de difícil manuseio por parte das empresas em função do volume gerado e do elevado teor de umidade.

3.5 ESTUDOS REALIZADOS COM TANINO E POLICLORETO DE ALUMÍNIO

No tratamento de lixiviados a coagulação-floculação pode ser utilizada como uma forma de pré-tratamento, seguida dos processos biológicos para lixiviados

jovens ou velhos, que possuem maior quantidade de compostos recalcitrantes. Diversos trabalhos vêm estudando o uso da técnica de coagulação/floculação para o tratamento dos lixiviados. Alguns desses estudos são citados a seguir.

Máximo (2007) estudou o lixiviado proveniente do Aterro Metropolitano da Grande Florianópolis em Biguaçu, SC, utilizando cloreto férrico e tanino para o tratamento por coagulação/floculação. Ambos apresentaram desempenhos semelhantes, sendo o tanino utilizado entre as dosagens 500 a 2300 mg/L e melhor removedor de nitrato (28%), DQO (38%) e COT(50%).

Felici (2010) trabalhou com lixiviado pré-tratado biologicamente proveniente do aterro de resíduos sólidos de Londrina, PR. Utilizou os coagulantes PAC e cloreto férrico, sendo a melhor dosagem para o PAC de 470 mg/L (50 a 500 mg/L) obtendo remoções satisfatórias de cor verdadeira (97%) e DQO (73%).

Gewehr (2012) utilizou o chorume do aterro da Central de Resíduos do Recreio-CRR, localizada no município de Minas do Leão, RS. Em seu estudo, testou para o processo de coagulação/floculação os coagulantes policloreto de alumínio (PAC), cloreto férrico, sulfato férrico e tanino. Foram elaboradas sucessivas etapas para determinação de dosagem e ajuste de pH ótimo para cada coagulante. O PAC apresentou ótimas remoções na dosagem 2200 mg/L (1000 a 6000 mg/L), onde obteve 94% de remoção de cor, 60% de remoção de DQO e 87% de remoção de turbidez. O tanino apresentou ótima dosagem em 14000 mg/L (500 a 6000 mg/L), obtendo 82% de remoção de cor, 92% de remoção de turbidez e apenas 20% para remoção de DQO.

Pedroso (2012) caracterizou o chorume gerado pelo Aterro Sanitário de Maringá, PR, com a finalidade de realizar pré-tratamentos de coagulação/floculação utilizando o coagulante tanino. Os melhores resultados foram obtidos com as dosagens de coagulante entre 1100 e 1500 mg/L (500 a 1500 mg/L), apresentando eficiência na remoção da cor em até 59,97% e da turbidez de até 94,87%.

Ghafariet al. (2009) trataram o lixiviado bruto do aterro de resíduos sólidos de Penand, Malásia, empregando o coagulante PAC nas dosagens entre 1000 e 3000 mg/L. Sua melhor dosagem foi de 2000 mg/L, onde obteve 43% de remoção de DQO, 94% de remoção de turbidez, 91% de remoção de cor e 92% de remoção de sólidos.

Castrillónet al. (2010), também empregaram o coagulante PAC nos lixiviados gerados no aterro La Zorera, Espanha. A dosagem utilizada foi de 1000 a 4000

mg/L, apresentando resultados de remoção de 62% para DQO, 97% para cor e 98% para turbidez.

Nagashima (2009) caracterizou e tratou o lixiviado gerado no aterro sanitário de Paranavaí, Paraná, e adotou o coagulante Tanino. Suas dosagens variaram de 500 a 4000 mg/L, obtendo remoções de 38% de cor aparente, 42% de turbidez e 38% de DQO.

Bassani (2010), estudou o aterro controlado de Maringá, Paraná, utilizando o Tanino como coagulante, na faixa de 30 a 100 mg/L. Suas maiores taxas de remoção foram 53% para cor aparente e 88% para turbidez.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A parte experimental foi realizada no Laboratório de Saneamento Ambiental da UTFPR, campus de Campo Mourão, durante os meses de agosto e setembro de 2014.

4.1 COLETA DO CHORUME

O efluente utilizado foi coletado do Aterro Sanitário Municipal de Campo Mourão-PR no mês de agosto de 2014. Foram coletados 40 litros de chorume na saída da primeira lagoa de equalização e armazenados em galões de 5 litros. As amostras foram resfriadas a uma temperatura de 4°C para garantir seu uso posterior, seguindo a descrição dos métodos de preservação e armazenagem das amostras líquidas estabelecidas na NBR 10007 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

4.2 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

As amostras foram conduzidas para o Laboratório de Saneamento Ambiental no qual foram realizados testes de coagulação-floculação no equipamento *jar-test*, Milan – Modelo JT 101/6, com regulador de rotação das hastes misturadoras, em temperatura ambiente. Foram utilizados dois coagulantes diferentes: Policloreto de alumínio (PAC) e o coagulante vegetal Tanino.

Os experimentos foram realizados em duplicata, e se houvesse discrepância dos resultados, seria realizada uma triplicata. Eles consistiram na adição de diferentes dosagens de Tanino e PAC em jarros de 500 mL de chorume, fundamentadas de acordo com Pedroso (2012) e Bilaet al. (2004), respectivamente. Foram fixadas as velocidades de mistura, fundamentada em Bilaet al. (2004) e adotadas as dosagens mostradas na tabela 1, totalizando 32 ensaios.

Tabela 1. Condições operacionais e dosagens utilizadas para o coagulante Tanino e Policloreto de Alumínio (PAC)

| Coagulante | Dosagens (mg/L) | Condições Operacionais |
|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Tanino | 500, 900, 1100, 1500 | 5 minutos – 150 RPM – VMR |
| Policloreto de Alumínio (PAC) | 400, 450, 500, 550, 600, | 15 minutos – 15 RPM – VML |
| | 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950 | 30 minutos – TS |

Legenda: Rotações por minuto (RPM); Velocidade de Mistura Rápida (VMR); Velocidade de Mistura Lenta (VML); Tempo de Sedimentação (TS).

Após o tratamento foi quantificado o lodo gerado através do cone de Imhoffe coletado cerca de 250 ml do sobrenadante de cada dosagem para análise dos parâmetros físicos químicos, a fim de verificar a eficiência de remoção de cada coagulante pela comparação dos resultados do efluentetratado com o afluente.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO CHORUME

Os parâmetros investigadosno estudo da caracterização do afluente e efluente tratado seguiram as metodologias descritas a seguir e os métodos apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros analisados e seus respectivos métodos de análise

| Parâmetro | Método de Análise |
|---|---------------------|
| Ph | Potenciométrico |
| Cor aparente | Espectrofotométrico |
| Turbidez (FAU) | Espectrofotométrico |
| DQO bruta (mg.L ⁻¹) | Espectrofotométrico |
| DQO filtrada (mg.L ⁻¹) | Espectrofotométrico |
| Sólidos totais (mg.L ⁻¹) | Gravimétrico |
| Sólidos suspensos (mg.L ⁻¹) | Gravimétrico |

Legenda: Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Fonte: APHA, 1998.

4.3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

A determinação de pH das amostras foi realizado pelo método potenciométrico a partir de um pHmetro digital da marca Digimed. Após o tratamento, o eletrodo é inserido no cone de Imhoff de maneira a ficar submerso e sua leitura foi feita quando o seu valor estabilizou.

4.3.2 Cor Aparente

A cor aparente foi determinada em espectrofotômetro HACH modelo DR/2010, de acordo com metodologia do equipamento, sendo seu resultado expresso em mg/LPtCo. O comprimento de onda foi de 455 nm. Foram utilizado 15 ml para leitura de cada alíquota.

4.3.3 Turbidez

A turbidez é uma redução na transparência da água causada pela presença de materiais em suspensão, tais como argila, sílica, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida e organismos microscópicos (PEDROSO, 2012). Para leitura da turbidez foi utilizado o espectrofotômetro HACH modelo DR/2010, com as amostras com 15 ml, manualmente agitadas para dispersão das partículas em suspensão. Os resultados foram expressos em FAU (Unidades de Atenuação de Formazina) e foi adotado o comprimento de onda de 860 nm.

4.3.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Para calcular a eficiência de remoção de matéria orgânica em termos de DQO de amostras brutas e filtradas do afluente e efluente foi utilizada a metodologia especificada no *Standard for the Examination of Water and Wastewater Methods* (APHA, 1998). Cada alíquota possuía 2,5 ml de amostra, 1,5 ml de solução oxidante e 3,5 ml de solução catálise. Utilizou-se como digestor o reator HACH e para a leitura posterior um espectrofotômetro HACH DR/5000, previamente calibrado e com comprimento de onda de 620 nm. As leituras das concentrações de DQO nas amostras foram realizadas em duplicatas, sendo utilizados valores médios para DQO final.

4.3.5 Sólidos

Os sólidos suspensos (SS) e os sólidos totais (ST) foram determinados de acordo com a metodologia especificada no *Standard for the Examination of Water and Wastewater Methods* (APHA, 1998). Os testes foram realizados em duplicatas utilizando alíquotas de 50 ml para cada dosagem.

4.4 QUANTIFICAÇÃO DO LODO GERADO

Para a quantificação do lodo, foi adotada a metodologia proposta pela NBR 10561 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), que estabelece o método para Determinação de Resíduo Sedimentável – Método do Cone de Imhoff. Logo após o término da Velocidade de Mistura Lenta, as amostras foram transferidas para um cone de Imhoff de 1000 ml, ficando em repouso por 30 minutos (Tempo de Sedimentação). A leitura do lodo sedimentado foi feita a cada hora no período de 6 horas, sendo reportado seu resultado final em ml/L.

4.5 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS COAGULANTES

A avaliação foi feita através da comparação da taxa de remoção apresentada por cada coagulante e através de consultas as tabelas apresentadas na Lei CONAMA 357/2005, alterada e complementada pela Lei CONAMA 430/2011, a fim de verificar se o efluente tratado apresentou os requisitos mínimos para ser despejado diretamente em corpos hídricos, ou se seria necessária a combinação de outro tipo de tratamento.

4.5.1 Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram analisados através do Teste estatístico de Tukey, realizado pelo software BioEstat 5.3 para a comparação das médias entre as dosagens fundamentadas para cada coagulante, utilizando-se um nível de significância de 5%. Também foi realizado o Teste T que consiste na avaliação da diferença entre os resultados obtidos para a melhor dosagem de cada coagulante.

4.6 FÓSFORO

A determinação do fósforo foi realizada segundo a metodologia proposta no Manual de Métodos de Análises Químicas para Avaliação da Fertilidade do Solo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1988), através do método da extração com solução de Mehlich1. A leitura foi realizada com o auxílio do Espectrofotômetro HACH DR/5000 calibrado para um comprimento de onda de 660 nm.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERÍSTICAS DO AFLUENTE

Os resultados dos parâmetros físicos químicos das amostras de chorume proveniente do aterro sanitário municipal de Campo Mourão e os valores estipulados para lançamento em corpos hídricos pela legislação são apresentados na tabela 3. Os resultados completos dos ensaios são encontrados no APÊNDICE A.

Tabela 3. Características do afluente

| Parâmetros | N | Mín | Máx | Média | Legislação |
|---|---|--------|--------|--------|------------|
| Temperatura (°C) | 2 | 24 | 26 | 25 | <40* |
| pH | 2 | 7,93 | 8,47 | 8,20 | 5-9* |
| Cor aparente (mg/LPtCo) | 2 | 750 | 750 | 750 | <75** |
| Turbidez (FAU) | 2 | 259 | 259 | 259 | <100** |
| Sólidos Totais (mg.L ⁻¹) | 4 | 7140 | 9288 | 8214 | - |
| Sólidos Suspensos (mg.L ⁻¹) | 4 | 78,31 | 89,17 | 83,74 | - |
| DQO (mg.L ⁻¹) | 4 | 183,34 | 208,59 | 199,15 | - |

Legenda: Número de amostras (N); Valor mínimo (Mín); Valor máximo (Máx).

***Valores referentes ao CONAMA 430/2011; ** Valores referentes ao CONAMA 357/2005.**

Pedroso (2012) coletou o chorume diretamente do tanque de armazenamento de lixiviado, obtendo valores diferentes dos obtidos neste trabalho (pH: 8,45; cor aparente: 2500 mg/LPtCO; turbidez: 1000 FAU; sólidos totais: 12260 mg/L; DQO: 3600 mg/L).

A partir da caracterização do afluente, foi possível reconhecer quais os principais parâmetros a serem melhorados para sua disposição final. De acordo com o que foi apresentado na Tabela 3, pode-se verificar que os valores de pH se encontram em taxas alcalinas. Segundo Souza (2005), esses valores determinam que o chorume se encontra em uma fase metanogênica, onde há decomposição dos produtos de fermentação ácida que são convertidos em metano (CH₄), substâncias

húmicas e água. Contudo, mesmo apresentando valores de pH elevado, o parâmetro se encontra dentro das faixas estipuladas pelo CONAMA 430/2011.

Conforme apresentado na Figura 1, a coloração escura, representada principalmente pela cor marrom e preta no chorume, é indicativa da presença de grande quantidade de compostos dissolvidos e em suspensão. A presença de substâncias húmicas também promove a coloração do chorume, além de ser responsável pela presença de matéria orgânica na massa líquida (PEDROSO, 2012). O valor obtido para esse parâmetro encontra-se muito elevado de acordo com o permitido pela legislação CONAMA 357/2005.



Figura 1. Coloração do chorume antes do tratamento

A relação turbidez/sólidos presentes no chorume é diretamente proporcional. Os sólidos correspondem aos resíduos que aparecem após evaporação, secagem ou calcinação de uma amostra, e a turbidez é definida como o grau de redução que a luz sofre ao atravessar uma amostra de água, devido aos sólidos que essa amostra contém. Quanto maior a quantidade de sólidos, maior será a turbidez, indicando a necessidade de um tratamento físico-químico com intuito de remover

parte dos sólidos passíveis de sedimentação. O valor obtido em relação ao parâmetro turbidez encontra-se elevado de acordo com o que é permitido por lei (CONAMA 357/2005). Segundo Kjeldsen et al. (2002), as concentrações de sólidos totais em lixiviados de aterros sanitários podem variar entre 2.000 mg/L e 60.000 mg/L.

Bassani (2010) diz que a Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um dos parâmetros mais importantes por tornar possível a medida de um resíduo orgânico em termos de quantidade de oxigênio requerida para sua oxidação até dióxido de carbono e água. A média encontrada para a DQO foi 199,15 mg/L, que confirma o dito acima por Souza (2005) em relação a fase metanogênica do chorume, onde as concentrações de DQO declinam.

Seguindo a classificação de chorumes de acordo com a idade do aterro elaborada por Renouet et al. (2007), apresentada na Tabela 4, pode-se comparar os resultados obtidos do afluente. Sabendo-se que o aterro está em operação há 12 anos, apresenta pH igual a 8,2 e DQO média 199,15 mg/L, pode-se classificar o lixiviado como velho.

Tabela 4. Classificação do lixiviado de acordo com a idade do aterro

| | Novo | Intermediário | Velho |
|---------------------|----------------------------|--|---------------------------|
| Idade (anos) | <5 | 5 – 10 | >10 |
| pH | 6.5 | 6.5 – 7.5 | >7.5 |
| DQO (mg/L) | >10000 | 4000 – 10000 | <4000 |
| Compostos Orgânicos | 80% ácidos graxos voláteis | 5 – 30% ácidos graxos voláteis e ácidos fúlvicos | Ácidos húmicos e fúlvicos |

Fonte: adaptado de Renou et al (2007).

Com base nos resultados obtidos, verifica-se a complexidade que o chorume de aterros sanitários pode apresentar, devido a inúmeras variáveis envolvidas, reforçando o fato de que é necessário conhecer todos seus parâmetros para serem adotados procedimentos metodológicos que resultem em tratamentos eficientes.

5.2 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO DO CHORUME

Os experimentos de coagulação e floculação foram executados utilizando um equipamento tipo Jarrest, ilustrado na Figura 2.

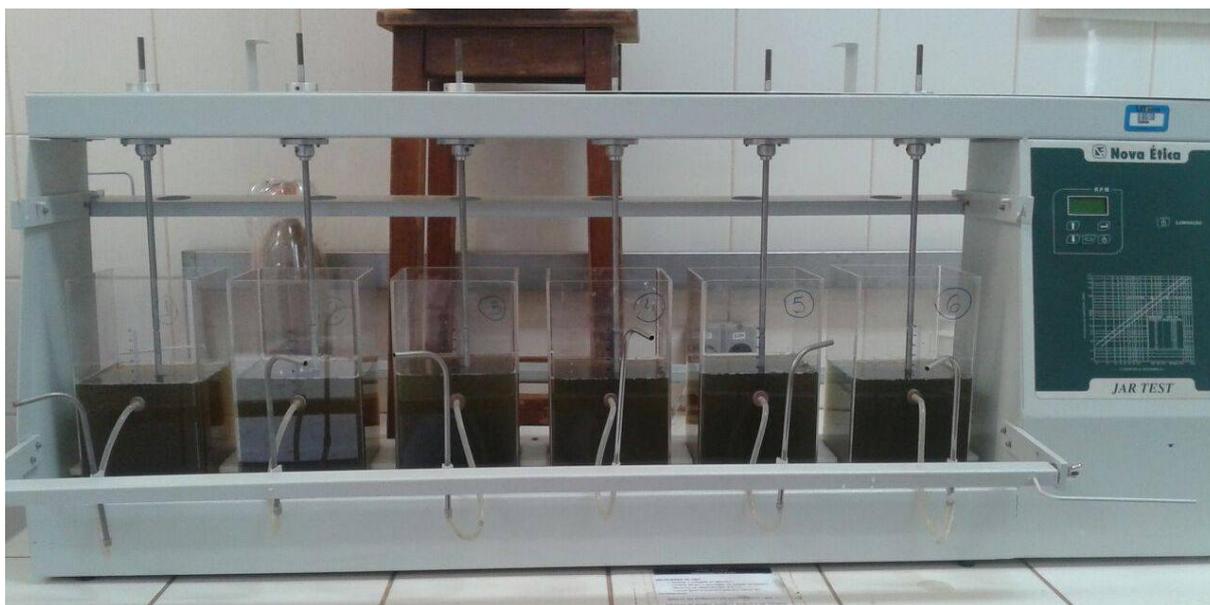


Figura 2. Equipamento *Jar Test* utilizado no tratamento

Nos experimentos foram determinados pH final, cor aparente, turbidez, DQO, sólidos totais e sólidos suspensos. Também foi quantificado o lodo gerado no final de cada ensaio, e por fim, realizada uma análise da quantidade de fósforo disponível no lodo para posterior aplicação do mesmo nos solos voltados a agricultura.

5.2.1 Ensaio de coagulação floculação com o coagulante Tanino

Conforme especificação do fabricante, o coagulante Tanfloc SG utilizado no estudo, à base de tanino, apresenta estado físico sólido (pó fino hidrocópico), umidade entre 4,5% e 6,5%, pH entre 1,8 e 2,7. O Tanfloc SG não altera o pH da

água tratada, por não consumir a alcalinidade do meio, ao mesmo tempo em que é efetivo para o tratamento de efluentes em uma faixa de pH de 4,5 a 8,0.

Para esse coagulante foram realizados 8 testes de jarros, variando sua dosagem de 500 – 1500 mg/L, fundamentada de acordo com Pedroso (2012), sem realizar correção de pH do afluente antes do início do tratamento. Os resultados completos para cada ensaio são apresentados no APÊNDICE B.

Em relação ao pH é apresentada a Figura 3 que indica o valor médio obtido para o afluente, os valores de pH obtidos para cada dosagem e os valores limite CONAMA 430/2011. Após o tratamento, o pH não apresentou muitas oscilações, sendo que as variações encontradas permaneceram na faixa limite da Resolução CONAMA 430/2011 (entre 5 e 9).

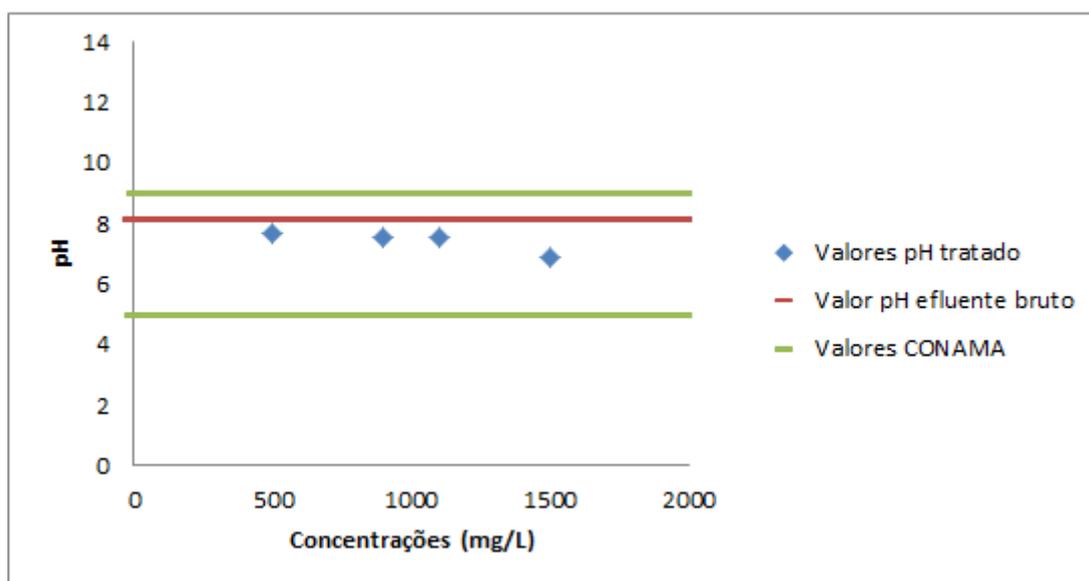


Figura 3. Redução do pH em função das concentrações adotadas, valor médio do pH do afluente e valores limites CONAMA para coagulante Tanino

Nota-se que conforme aumenta a dosagem do coagulante, o pH diminui, passando da faixa alcalina para o pH neutro (7). Bassani (2010), diz que em pH alcalino a quantidade de bactérias tende a diminuir, o que compromete a ação decompositora microbiológica, sendo considerada então a redução obtida um ponto positivo.

Máximo (2007), manteve o pH do afluente (9,01) para a realização do tratamento de coagulação e floculação e obteve uma porcentagem de remoção de

apenas 2% para o efluente tratado (8,86). Pedroso (2012), optou por realizar a correção do pH, mantendo-o em faixas alcalinas (9) ou faixas ácidas (4), para posterior realização do tratamento, obtendo melhores resultados quando o pH foi igual a 9.

Para demonstrar a taxa de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez e DQO em função das dosagens utilizadas, é apresentada a Figura 4.

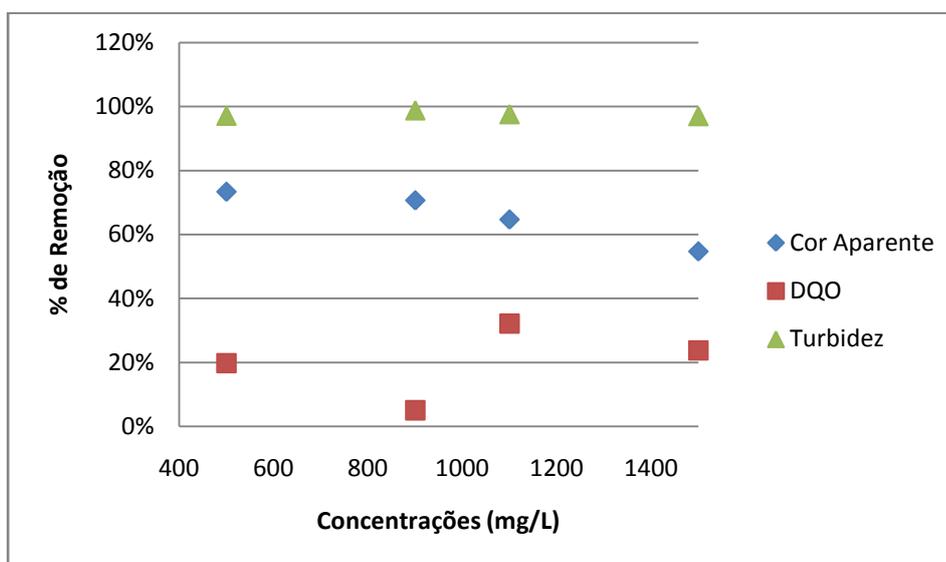


Figura 4. Porcentagens de remoção dos parâmetros cor aparente, DQO e turbidez para cada concentração adotada para coagulante Tanino

No que concerne ao parâmetro cor aparente, a taxa de remoção obtida variou de 53% até 75% (190 a 350 mg/LPtCo), o que ainda se encontra acima da taxa permitida pelo CONAMA 357/2005 (75 mg/LPtCo).

Em relação à turbidez, em todos os ensaios realizados com Tanino a taxa de remoção apresentada foi em torno de 97% a 99% (3 a 8 FAU), chegando a valores bem abaixo do especificado pelo CONAMA 357/2005 (100 FAU).

Já para o parâmetro DQO, obtiveram-se taxas de remoções variando de 5% até 32% (132,15 a 196,51 mg/L). A dosagem ótima para remoção de DQO encontra-se em 1100 mg/L.

Dados obtidos por outros autores são apresentados na Tabela 5, onde é possível visualizar as porcentagens de remoção para os mesmos parâmetros descritos acima. É possível verificar que os valores máximos obtidos nesse trabalho,

assim como os valores máximos obtidos pelos outros autores são diferentes, porém sem apresentar grandes oscilações. Isso pode ser explicado devido ao fato da particularidade da composição de cada afluente, bem como as condições operacionais adotadas para cada tratamento.

Tabela 5. Dados de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez e DQO obtidos por outros autores com o coagulante Tanino

| Autor | % de Remoção | | |
|------------------|--------------|----------|-----|
| | Cor Aparente | Turbidez | DQO |
| Máximo (2007) | 68% | 67% | 38% |
| Gewher (2012) | 82% | 92% | 20% |
| Pedroso (2012) | 59,97% | 94,87% | - |
| Nagashima (2009) | 38% | 42% | 38% |
| Bassani (2010) | 53% | 88% | - |
| Macruz (2015) | 73% | 99% | 32% |

Para demonstrar a porcentagem de remoção dos sólidos totais e sólidos suspensos apresenta-se a Figura 5, onde é possível observar que a melhor porcentagem de remoção é obtida na concentração de 900 mg/L.

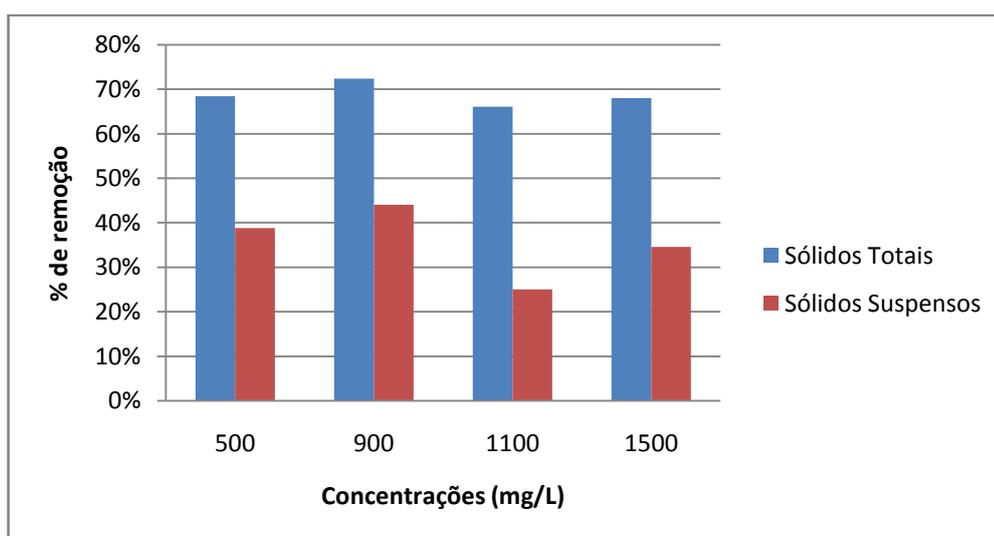


Figura 5. Porcentagem de remoção para os parâmetros Sólidos Totais e Sólidos Suspensos obtidos em cada concentração para o coagulante Tanino

Para os sólidos suspensos as remoções obtidas variaram em torno de 25% a 45%, próximo do encontrado por Nagashima (2009) que foi de 41% e menor do que o encontrado por Máximo (2007) que foi 69%. Já os sólidos totais apresentaram remoções entre 68% e 72%, também próximo à taxa de remoção encontrada por Nagashima (2009) de 73%. Em relação à taxa de remoção de ambos sólidos, a dosagem 1100 mg/L é a mais baixa para ambos, porém, dentro dos resultados, ainda apresentam valores aceitáveis.

Para a obtenção de uma avaliação mais abrangente em relação aos custos, deve-se levar em conta a quantidade de chorume a ser tratado, o desenvolvimento da unidade em escala real para dimensionamento dos equipamentos, quantificação de consumo de energia elétrica e custos operacionais de funcionamento. Como os ensaios realizados foram em nível de bancada, os custos são baseados somente no consumo de reagentes. Tendo em vista que a melhor dosagem de tanino é 1100 mg/L e o valor atual é R\$ 2,70/kg de acordo com a empresa TANAC/AS (2014), o valor final será de R\$ 2,97/m³.

Realizando-se o Teste estatístico de Tukey, foi obtido um p-valor menor que 0,05 para o comparativo entre as médias dos parâmetros: cor aparente, turbidez, DQO, sólidos suspensos e sólidos totais. Sendo assim, é possível afirmar, com 95% de confiança, que as médias para cada dosagem diferem entre si, rejeitando a hipótese de que as dosagens apresentam resultados similares. Resultados completos do teste estatístico de Tukey são encontrados no APÊNDICE D.

Para o parâmetro DQO, a dosagem 1100 mg/L apresentou melhor taxa de remoção, sendo que sua média é significativamente diferente das outras dosagens apresentadas (500, 900 e 1500 mg/L). Apesar do declínio do parâmetro cor aparente, o parâmetro turbidez também mostrou uma taxa de remoção ótima na dosagem 1100 mg/L.

5.2.2 Ensaio de coagulação floculação com o coagulante Policloreto de Alumínio (PAC)

O Policloreto de Alumínio (PAC) se apresenta no estado líquido, e de acordo com seu fabricante, pode ser efetivo em uma larga escala de pH. Sua densidade varia de 1,250 a 1,270g/cm³.

Foram realizados 24 testes de jarros para esse coagulante, variando sua dosagem de 400 – 950 mg/L, fundamentada de acordo com Bila et al. (2004), sem realizar correção de pH do afluente antes do início do tratamento. Como a dosagem fundamentada se encontrava em mg/L, dividiu-se o valor de cada dosagem pela densidade do coagulante e assim obteve-se o resultado em mL/L. Os resultados completos para cada ensaio são apresentados no APÊNDICE C.

Diferente do apresentado para o coagulante tanino, o PAC apresentou grande redução no nível do pH, tornando o efluente tratado ácido com oscilações entre 4 e 5, como mostra a Figura 6. Os resultados obtidos não se encontram na faixa limite da Resolução CONAMA 430/2011 (entre 5 e 9).

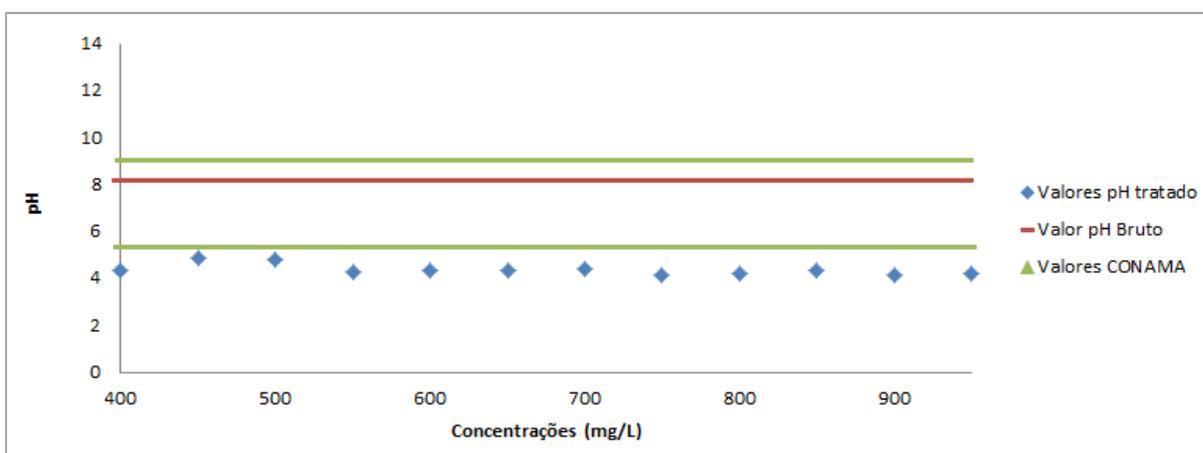


Figura 6. Redução do pH em função das concentrações adotadas, valor médio do pH do afluente e faixa de valores CONAMA para coagulante PAC

Diversos autores optaram por fixar o valor do pH igual a 6,0 (GEWHER, 2012; FELICI, 2010; GHAFARI et al., 2010; CASTRILLÓN, 2010) para o tratamento com esse tipo de coagulante químico, pois estudos anteriores demonstram que essa

é a faixa ótima para obter maior taxa de remoção de DQO, cor aparente, turbidez e sólidos.

Para coagulantes químicos, o pH se torna um fator importante no processo de coagulação e floculação, sendo que a faixa ótima de pH de coagulação pode variar para cada tipo de coagulante utilizado. Segundo Richter (2009) a coagulação com sais de alumínio ou de ferro só se realiza satisfatoriamente a um determinado pH, denominado pH ótimo de coagulação, e em presença de alcalinidade em uma quantidade mínima para que ocorram as reações químicas.

A fim de demonstrar a taxa de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez e DQO para cada concentração adotada do coagulante PAC, é apresentada a Figura 7.

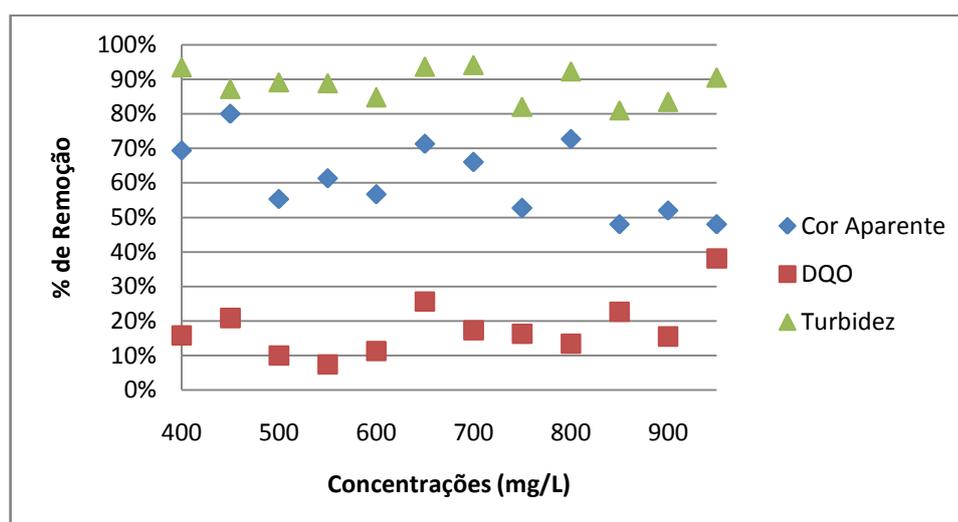


Figura 7. Porcentagens de remoção dos parâmetros cor aparente, DQO e turbidez para cada concentração adotada para coagulante PAC

Para o parâmetro cor aparente, obteve-se taxa de remoção entre 48% e 80% (140 a 430 mg/LPtCo), ainda muito acima da taxa permitida pelo CONAMA 357/2005 (75 mg/LPtCo). É possível analisar que a variação das taxas de remoção obtida com o aumento da dosagem do PAC não segue um padrão típico.

Para parâmetro turbidez, os ensaios com PAC apresentaram alta remoção de turbidez, em torno de 81% a 94% (15 a 50 FAU). Apesar de os valores obtidos com esse coagulante serem maiores que os obtidos com o tanino, os resultados ainda encontram-se abaixo do permitido pelo CONAMA 357/2005 (100 FAU).

O Parâmetro DQO mostra que as taxas de remoção variaram de 7% até 38% (187,69 a 120,87mg/L). Conforme é mostrado na Figura 7, o aumento da dosagem de PAC promove o aumento da remoção da DQO, sendo que algumas dosagens intermediárias sofrem quedas de pico.

Os resultados obtidos por outros autores são apresentados na Tabela 6, onde é possível visualizar as porcentagens de remoção para os três parâmetros descritos acima.

Tabela 6. Resultados de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez e DQO obtidos por outros autores com o coagulante PAC

| Autor | % de Remoção | | |
|-------------------------|--------------|----------|-------|
| | Cor Aparente | Turbidez | DQO |
| Gewher (2012) | 95% | 91% | 49% |
| Felici (2010) | 86,9% | - | 52,4% |
| Castrillónet al. (2010) | 97% | 98% | 62% |
| Ghafariet al. (2009) | 91% | 94% | 43% |
| Macruz (2015) | 80% | 94% | 38% |

Verifica-se que os valores obtidos neste trabalho encontram-se um pouco abaixo dos obtidos pelos outros autores, para os parâmetros cor aparente e DQO. Para a turbidez, os valores neste trabalho encontram-se dentro da faixa de valores obtidos por outros autores. As diferenças de resultados podem ser explicadas devido ao fato da particularidade da composição de cada afluente, bem como as condições operacionais adotadas para cada tratamento tanto para o PAC como para o coagulante Tanino.

Para a análise da porcentagem de remoção dos sólidos totais e sólidos suspensos é apresentada a Figura 8.

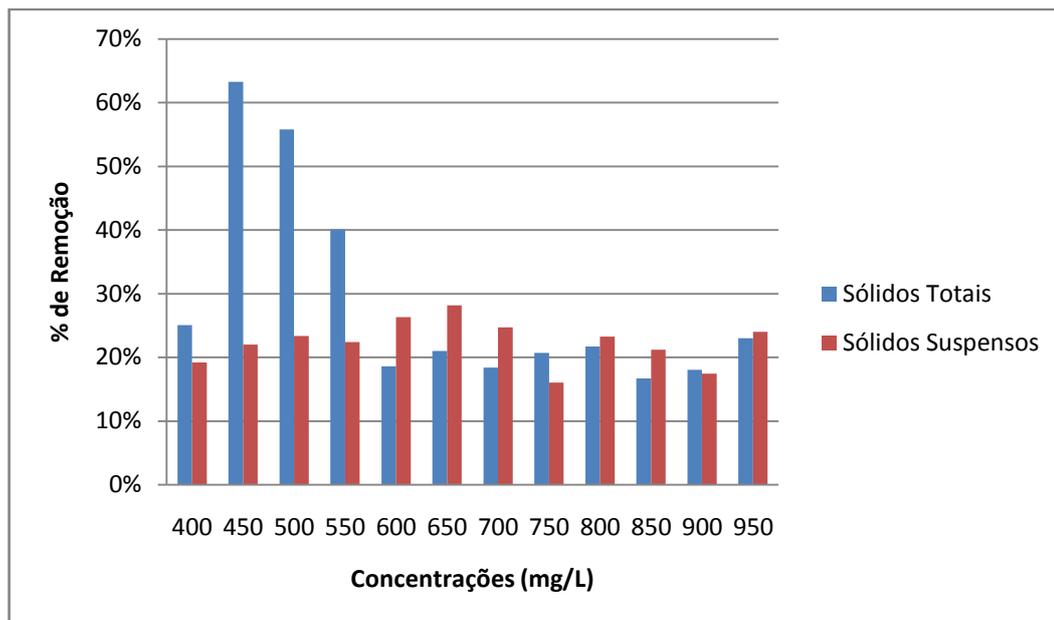


Figura 8. Porcentagem de remoção para os parâmetros Sólidos Totais e Sólidos Suspensos obtidos em cada concentração para o coagulante PAC

Para os sólidos suspensos a remoção obtida varia em torno de 16% a 28%, muito menor do que os valores encontrados por Ghafari (2010) que foi de 92%. O resultado obtido pelo autor pode ser explicado devido a concentração e ao pH adotado para o tratamento, que foi de 2 g/L e 7,5 respectivamente.

A taxa de remoção apresentada pelos sólidos totais foi entre 17% e 63%, quase o dobro dos sólidos suspensos, sendo analisado um alto pico de remoção nas dosagens iniciais de 450 a 500 mg/L, e depois mantendo uma faixa entre praticamente 10% e 20% de remoção. Para os sólidos totais, não foram encontrados dados de outros autores sobre taxas de remoção utilizando o coagulante PAC.

Tendo em vista que o custo unitário do PAC é R\$ 0,80/ kg, de acordo com a empresa StalgeSunsire (2014), o valor final de investimento seria de R\$ 0,52/m³ na dosagem ótima considerada neste trabalho (650 mg/L).

Realizando-se o Teste estatístico de Tukey, foi obtido um p-valor menor que 0,05 para o comparativo entre as médias dos parâmetros: cor aparente, turbidez, DQO, sólidos suspensos e sólidos totais. Sendo assim, é possível afirmar, com 95% de confiança, que as médias para cada dosagem diferem entre si. Resultados completos do teste estatístico de Tukey são encontrados no APÊNDICE E.

Em relação ao parâmetro DQO, observa-se que a dosagem que obteve a melhor taxa de remoção encontra-se em 950 mg/L, porém é possível verificar que a

taxa de remoção dos outros parâmetros (cor aparente e turbidez) não é satisfatória. Ainda em relação à remoção de matéria orgânica em termos de DQO, observam-se três outras dosagens (450, 650 e 850 mg/L) que são significativamente iguais segundo o teste estatístico de Tukey. Porém, entre elas, observa-se que a dosagem de 650 mg/L também apresenta um melhor resultado para os parâmetros cor aparente e turbidez, podendo então, ser considerada a melhor dosagem de PAC encontrada neste estudo.

É importante salientar que conforme se aumenta a dosagem do coagulante químico há um maior impacto ambiental, por isso são necessárias alternativas que apresentem resultados satisfatórios, com um mínimo de impacto ambiental.

5.2.3 Quantificação de lodo gerado em cada ensaio

Após o processo de coagulação e floculação, o efluente tratado foi transferido para o cone de Imhoff de 1000 ml (Figura 9). A leitura do lodo sedimentado foi feita a cada hora no período de 6 horas, sendo reportado o seu resultado final em ml/L.



Figura 9. Cones de Imhoff no ensaio de determinação do volume de lodo. A direita o coagulante PAC e à esquerda o coagulante Tanino

É apresentado na Figura 10, o volume final obtido para cada concentração, dos dois coagulantes testados neste trabalho.

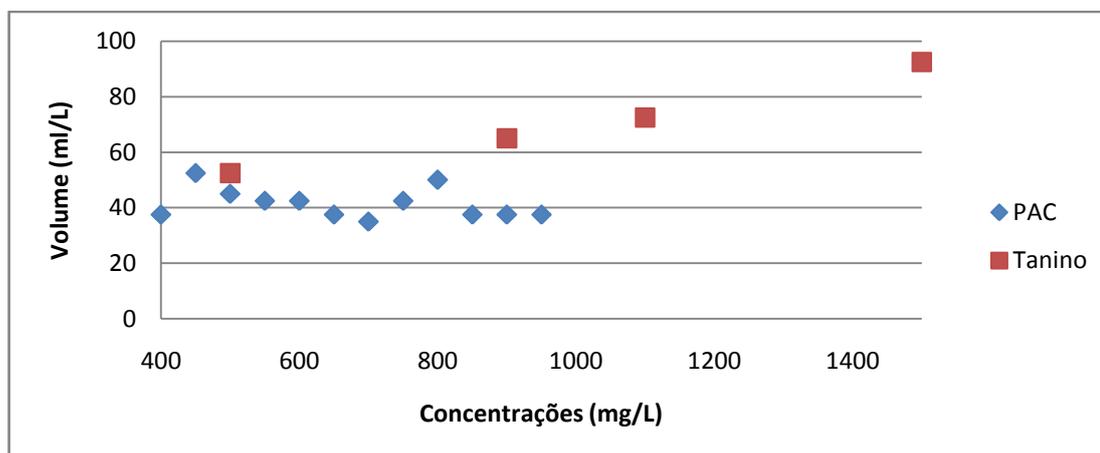


Figura 10. Volume final de lodo gerado para cada concentração dos dois coagulantes testados

É visível que para o coagulante Tanino, conforme se aumentou a dosagem, o volume final de lodo também aumentou. Já o coagulante PAC sofreu algumas oscilações, mas sempre se mantendo entre 30 e 60 ml/L. O volume de lodo gerado no processo de coagulação-floculação é função da dosagem de coagulante utilizado no tratamento (MAXIMO, 2007).

Foi realizada a média do volume de lodo gerado de todas as concentrações testadas para cada coagulante e apresentado na Figura 11.

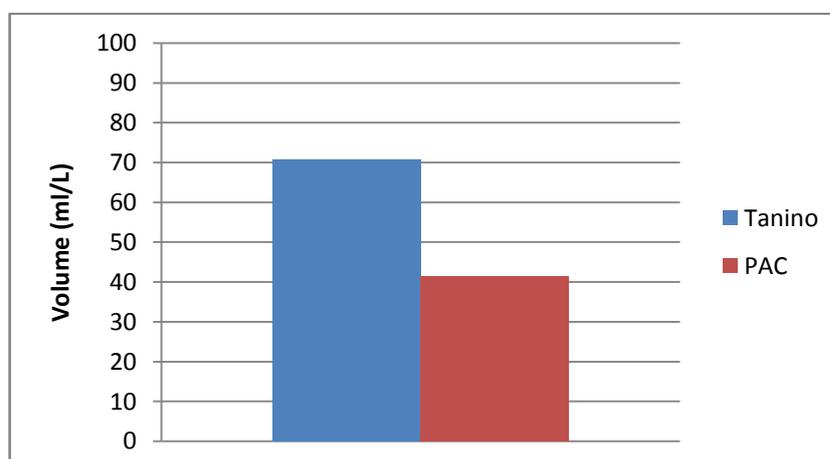


Figura 11. Média do volume em ml/L de lodo gerado para cada coagulante testado

Comparando os coagulantes, o tanino gerou uma quantidade próxima de 70 ml/L de lodo, enquanto o PAC gerou em torno de 40 ml/L, quase a metade do tanino. Máximo (2007) encontrou valores de lodo gerado para o tanino próximo de 355 ml/L, e Gewher (2012) obteve valores de lodo gerado próximo a 485 ml/L. Para o coagulante PAC, Gewher (2012) encontrou 295 ml/L. Vale ressaltar que as concentrações adotadas pelos autores são bem mais altas do que as concentrações adotadas neste trabalho.

5.3 COMPARAÇÃO DA EFICIENCIA DE REMOÇÃO DOS COAGULANTES

Após a realização dos ensaios e a obtenção dos resultados de todos os parâmetros, foram realizadas análises com o objetivo de avaliar a eficiência de remoção entre os dois coagulantes estudados no presente trabalho. As taxas de remoção máximas obtidas para cada parâmetro são apresentadas na figura 12.

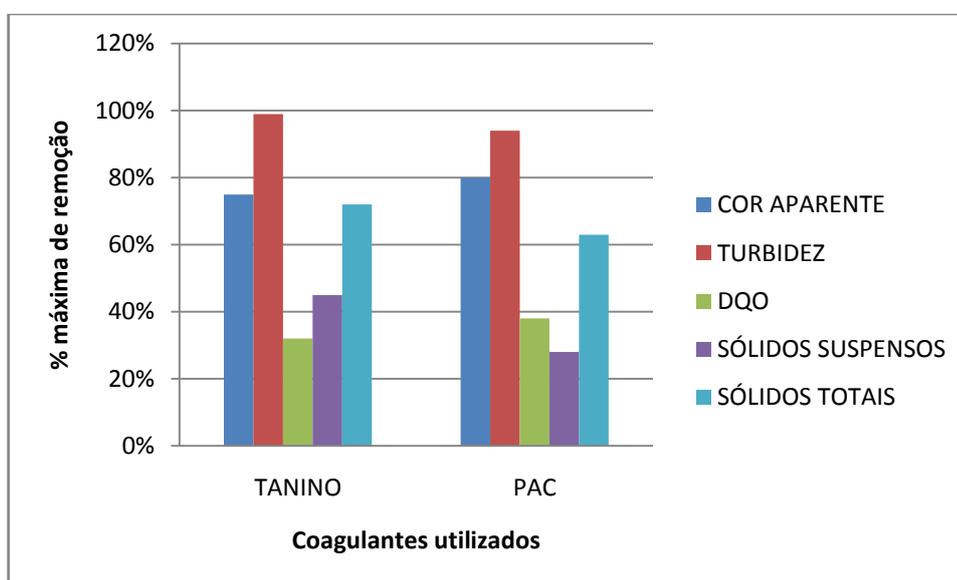


Figura 12. Valores máximos obtidos da taxa de remoção para cada parâmetro, dos dois coagulantes estudados

Como se pode observar, ambos os coagulantes apresentaram desempenho parecido, sendo que o PAC se mostra melhor em termos de remoção de Cor aparente e DQO. A cor aparente mostra-se como um parâmetro importante

na indicação do desempenho dos coagulantes, pois sua redução pode ser correlacionada com a remoção de compostos dissolvidos que são potencialmente tóxicos (PEDROSO, 2012).

A turbidez é outro parâmetro importante na demonstração de tal desempenho, pois sua redução indica a remoção dos sólidos em suspensão. Como pode ser visualizado na Figura 12, o Tanino apresentou maior remoção de turbidez, alcançando 99%, porém o PAC não obteve resultados insatisfatórios, alcançando 94%, apenas 5% a menos que o primeiro coagulante. A elevada remoção de turbidez na utilização do tanino deve-se principalmente ao fato de que a coagulação resultou na decantação dos flocos formados. Observa-se ainda que com relação aos sólidos suspensos e sólidos totais, o tanino apresenta uma eficiência de remoção superior aos demais coagulantes, alcançando 45% e 72%, respectivamente. Pode ser explicado devido ao fato de que os sólidos suspensos presentes no chorume foram efetivamente removidos no processo de coagulação e floculação.

Com relação a DQO, os melhores resultados são apresentados pelo PAC com 38%, porém, não muito superior ao valor obtido pelo tanino, 32%.

Realizando-se o teste estatístico T para as melhores dosagens de tanino e PAC, 1100 e 650 mg/L, respectivamente, obtemos um p-valor maior que 0,05 para os parâmetros cor aparente e sólidos suspensos, aceitando então a hipótese de que as médias das melhores dosagens se equivalem, e obteve-se um p-valor menor que 0,05 para os parâmetros turbidez, DQO e sólidos totais, o que demonstra que essas médias são significativamente diferentes. Resultados completos e gráficos podem ser encontrados no Apêndice F.

Ambos coagulantes apresentaram desempenho similar, sendo que a dosagem ideal do coagulante Tanino (1100 mg/L) é superior a dosagem ideal do coagulante PAC (650 mg/L). Apesar de o Tanino possuir um valor de mercado maior que o PAC, ele pode substituir os coagulantes químicos, a fim de impactar menos o meio ambiente, se for combinado com outros pré-tratamentos, como o biológico, ou pós-tratamentos, como a ozonização.

Através da análise desses resultados, é visto que o tratamento físico químico alcançou o objetivo de reduzir parâmetros como cor aparente, turbidez, DQO e sólidos, porém para melhores resultados é necessário à realização de tratamentos combinados.

5.4 TEOR DE FÓSFORO NO LODO

Após a realização do tratamento de coagulação e floculação, o lodo gerado em cada ensaio foi secado em estufa por 72 horas a 80°C. Quando seco, através da solução extratora de Mehlich1, foi possível realizar a leitura da quantidade de fósforo precipitada no lodo gerado com o auxílio do Espectrofotômetro HACH DR/2010 calibrado para um comprimento de onda de 660 nm. A quantidade de fósforo presente no lodo para cada dosagem de tanino e PAC é mostrado na figura 13. Os resultados completos podem ser vistos no Apêndice G.

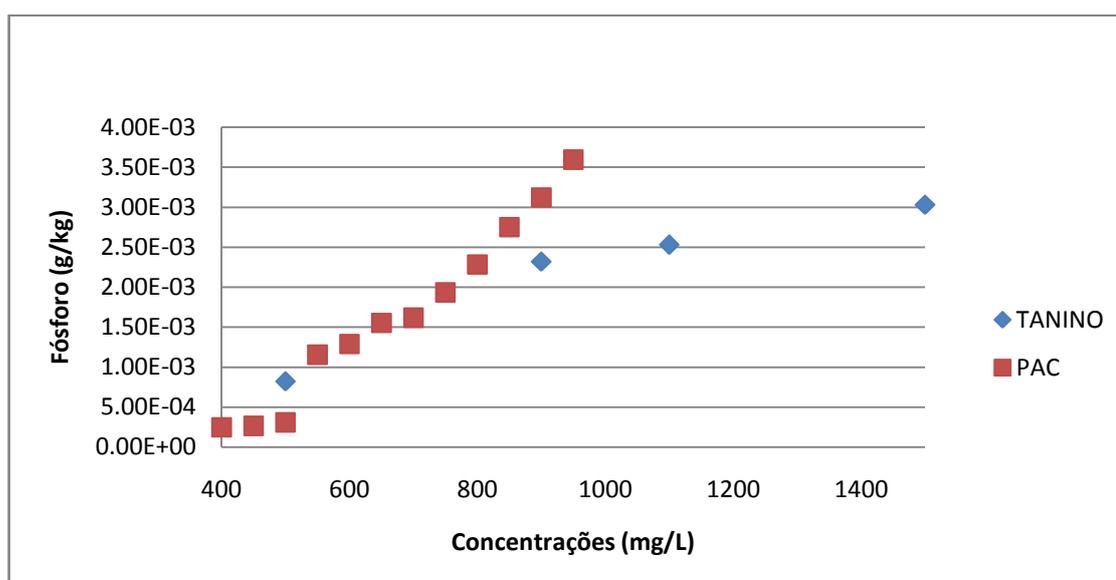


Figura 13. Quantidade de fósforo presente no lodo para cada dosagem de tanino e PAC

É possível verificar que conforme a dosagem de coagulante foi aumentando, a quantidade de fósforo presente no lodo também aumentou. Para as dosagens de Tanino, os resultados ficaram na faixa de $8,21 \cdot 10^{-4}$ e $3,03 \cdot 10^{-3}$ g/kg. O lodo gerado do tratamento com PAC apresentou maiores quantidades que o do tanino, alcançando valores de $2,48 \cdot 10^{-4}$ e $3,59 \cdot 10^{-3}$ g/kg.

Trabalhos nessa área são, quando encontrados, relacionados às características químicas de lodos gerados em Estações de Tratamento de Esgoto sanitário. Alguns autores obtiveram os resultados que são apresentados na tabela 7.

Tabela 7. Dados em relação à quantidade de fósforo presente no lodo obtido por outros autores

| Autores | ETE | Quantidade de fósforo |
|----------------------|--|------------------------------|
| Chiba (2005) | Companhia Saneamento de Jundiaí (CSJ) | 7 g/kg |
| Gomes et al. (2007) | Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) | 4,7 g/kg |
| Pérez (2008) | Estação de Tratamento de Esgoto da Vila Shalon – Foz do Iguaçu | 2,73 g/kg |
| Vieira et al. (2004) | Estação de Tratamento de Lodo de Barueri (SP) | 11,5 g/kg |

Os valores encontrados no presente estudo e os valores obtidos por outros autores apresentam diferenças. Esgotos sanitários apresentam valores variados em função de diversas variáveis, desde o clima até os hábitos culturais. Metcalf&Eddy (1991) classificam os esgotos em forte, médio e fraco, conforme as características apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Características físico química de esgotos sanitários

| Característica | Forte | Médio | Fraco |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|
| DBO (mg/L) | 400 | 220 | 110 |
| DQO (mg/L) | 1000 | 500 | 250 |
| Fósforo Total (mg/L) | 15 | 08 | 04 |

Fonte: adaptado de Metcalf&Eddy (1991).

Christensen et al. (2001) apresenta um valor de faixa para o fósforo total que varia de 0,1 a 23 mg/L. Porém, de acordo com os resultados apresentados na Tabela 9 de composição de chorume de aterros sanitários do Canadá, é possível verificar que quanto mais velho o aterro, menos fósforo total o efluente possui.

Tabela 9. Comparação da composição de lixiviados de aterros sanitários situados no Canadá

| Parâmetro | Keele Valley | Brock North | Beare Road |
|-----------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| Idade (anos) | 1,5 | 8 | 18 |
| DQO (mg/L) | 13780 | 3750 | 1870 |
| Fósforo Total (mg/L) | 0,77 | 0,11 | 0,05 |

Fonte: adaptado de Contrera (2008).

Como citado anteriormente por Maguire et al. (2000), as moléculas de fósforo atraem moléculas de alumínio, presentes no PAC. Essa imobilização de fósforo-alumínio pode ser o resultado de um valor tão baixo obtido de fósforo precipitado no lodo com o tratamento realizado com o coagulante PAC apresentado neste trabalho.

Além das análises de fósforo, o CONAMA 375/06 exige a caracterização de outros parâmetros físicos, químicos e biológicos, que não constam neste trabalho para a adequada utilização do lodo na agricultura.

6 CONCLUSÃO

A eficiência para a remoção dos parâmetros avaliados neste trabalho é dependente da variação das características do chorume e das condições operacionais adotadas. Conclui-se que o chorume gerado no aterro sanitário de Campo Mourão é considerado velho, pois possui DQO 199,15 mg/L, pH 8,2, cor aparente 750 mg/LPtCo e turbidez 259 FAU, estando em operação por mais de 12 anos.

O pH é um dos fatores mais importantes no processo de coagulação-floculação, sendo necessária uma correção e fixação para o coagulante PAC, visto que a redução apresentada neste trabalho foi significativa, tornando o pH ácido demais para disposição em corpos hídricos. Para o coagulante Tanino, não foi necessária a correção de valores, visto que após o tratamento ele se manteve dentro da faixa exigida pelo CONAMA 357/05 (entre 5 e 9).

Constatou-se que o processo físico-químico de coagulação/floculação utilizando coagulante natural tanino apresentou valores satisfatórios de redução da cor, turbidez, DQO, sólidos totais e sólidos suspensos, alcançando as taxas de 73%, 99%, 32%, 68% e 44%, respectivamente, sendo sua dosagem ótima encontrada em 1100 mg/L. Já a utilização do coagulante químico PAC, alcançou os valores satisfatórios de redução da cor, turbidez, DQO, sólidos totais e sólidos suspensos, chegando as taxas de 80%, 94%, 38%, 63% e 28%, respectivamente. Sua dosagem ótima encontra-se em 650mg/L.

Através das análises estatísticas, pode-se concluir que em geral, as médias apresentada pelo Tanino são melhores das que apresentada para o PAC, exceto para o parâmetro cor aparente. Porém, como observado, nenhum resultado de cor aparente atingiu o padrão mínimo exigido pelo CONAMA 430/11.

Em relação à quantidade de lodo gerado por cada coagulante, é visível que o PAC se destaca gerando somente 40 ml/L, enquanto o Tanino gerou quase o dobro, 70 ml/L.

Quanto ao teor de fósforo encontrado no lodo, o PAC também se destaca por ter precipitado um valor maior que o Tanino, porém ambos não apresentam valores significativos. Para concluir se é viável a utilização pela agricultura dolodo

gerado no tratamento do chorume, é necessária a análise de mais parâmetros físicos, químicos e biológicos exigidos pelo CONAMA 375/06.

Pode-se concluir que ambos os coagulantes apresentaram eficiência satisfatória na remoção dos parâmetros (pH, cor aparente, turbidez, DQO, sólidos totais e sólidos suspensos). Porém, alguns parâmetros não atingiram o padrão de lançamento de efluentes em corpos hídricos exigido pela legislação vigente. Para a obtenção de melhores resultados é necessária a utilização de tratamentos combinados.

REFERÊNCIAS

APHA **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 20th ed. Washington D.C.: American Public Health, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama do Resíduo Sólido no Brasil**: 2012. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10561**: Águas - Determinação de Resíduo Sedimentável (Sólidos Sedimentáveis) – Método do Cone de Imhoff. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

BASSANI, Fabiana. **Monitoramento do lixiviado do aterro controlado de Maringá, Paraná, e avaliação da tratabilidade com coagulantes naturais, radiação ultravioleta (UV) e ozônio**. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

BATTESTIN, Vania; MATSUDA, Luis K.; MACEDO, Gabriela A. Fontes e Aplicações de Taninos e Tanases em Alimentos. **Alim. Nutr.**, Araraquara, 2004. v. 15, n.1, p. 63-72.

BILA, Daniele M.; MONTALVAO, Filipe; SILVA, Alessandra C.; DEZOTTI, Marcia. Ozonation of a landfill leachate: evaluation of toxicity removal and biodegradability improvement. **Journal of Hazardous Materials**, Nova Iguaçu, 08 dez. 2004. B117, p. 235-242.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, v.53, p.58-63, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e

procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, v.167, p.141-146, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, v.92, p.89, 2011.

CABEZA, Adelaida; URTIAGA, Ane; RIVERO, Maria J.; ORTIZ, Inmaculada. Ammonium removal from landfill leachate by anodic oxidation. **Journal of Hazardous Materials**, Santander, 30 jan. 2007. p. 715-719.

CASTRILLÓN, L.; FERNÁNDEZ, N.Y.; ULMANU, M.; ANGER, I.; MARAÑÓN E. Physico-chemical and biological treatment of MSW landfill leachate. **Waste Management**, 2010, v. 30 p. 228-235.

CHERNICHARO, Carlos A. de L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias** (Reatores anaeróbios). 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997.

CHIBA, Marcio K. **Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura**. 2005. 143 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CHRISTENSEN, Thomas H.; et al. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Applied Geochemistry**, 2001, v. 16, p. 659-618.

CONTRERA, Ronan C. **Tratamento de lixiviados de aterros sanitários em reatores anaeróbio e aeróbio operados em batelada sequencial**. 2008. 789 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

CRUZ, João G. H. **Alternativas para a aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial**. 2004. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análises Químicas para Avaliação da Fertilidade do Solo**.3ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1988.

FELICI, Elson M. **Coagulação-floculação-sedimentação como pós tratamento de efluente de sistema biológico em batelada aplicado a lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos**. 2010. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

GHAFFARI, Shahin; AZIZ, Hamidi A.; ISA, Mohamed H.; ZINATIZADEH, Ali A. Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation-flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (PAC) and alum. **Journal of Hazardous Materials**. 2009, p. 650-656.

GEWEHR, André G. **Tratamento por coagulação-floculação de lixiviado bruto de aterro sanitário com e sem pré-tratamento biológico em reator seqüencial em batelada**. 2012. 163 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

GOMES, Samuel B.V.; NASCIMENTO, Clístenes W.A.; BIONDI, Caroline M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.5, p,459-465, 2007.

GONÇALVES, Celso de A.; LELIS, Roberto C.C. Teores de Tanino da Casca e da Madeira de Cinco Leguminosas Arbóreas. **Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, dez 2001. V. 8, n. 1, p. 167-173.

JUCÁ, J.F.T. et al. Tratamentos não convencionais: Estudos iniciais em barreiras, banhados e camadas de cobertura superficial. **Projeto Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB)**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

KJELDSEN, Peter I.; BARLAZ, Morton A.; ROOKER, Alix P.; BAUN, Anders; LEDIN, Ana; CHRISTENSEN, Thomas H. Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, 2002, v. 32, n. 4, p 297-336.

MAGUIRE, R.O.; SIMS, J.T.; COALE, F.J. Phosphorus solubility in biosolids amended soils in the Mid-Atlantic region of the USA. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.29, p.1225-1233, 2000.

MÁXIMO, Vivian A. **Tratamento por coagulação-floculação dos lixiviados do aterro sanitário da região metropolitana de Florianópolis**. 2007. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

METCALF & EDDY. **Wastewaterengineering: treatment, disposal and reuse**. 3 ed. New York. McGraw-Hill, 1991.

MORAIS, Josmaria L. de; ZAMORA, Carla S. e P. G. P. Tratamento de chorume de aterro sanitário por fotocatalise heterogênea integrada a processo biológico convencional. **Quim. Nova**, Curitiba, v. 29, n. 1, p. 20-23, ago. 2005.

NAGASHIMA, Lucila A. **Monitoramento de lixiviado em lagoa de estabilização e estudo da aplicabilidade do reagente fenton e do coagulante vegetal tanino como formas de tratamento**. 2009. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com turbidez elevada**. 2001. 233 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia São Carlos, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2001.

PEDROSO, Keylla. **Avaliação do tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Maringá, Paraná, por processo de coagulação/floculação e ozonização**. 2012. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia do departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

PÉREZ, Paula V. **Efeitos da adição de biossólido no crescimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook**. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2008.

RENOU, S; GIVAUDAN, J. G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. Landfill Leachate Treatment: Review and Opportunities. **Journal of Hazardous Materials**, France, 26 set. 2007. 150, p. 468-493

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

RODRIGUES, Flávia S. F. **Aplicação da ozonização e do reativo de fenton como pré-tratamento de chorume com os objetivos de redução da toxicidade e do impacto no processo biológico.** 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, Fernando J. A. da; SOUZA, Liliane M. M. de; MAGALHÃES, Sávio L. Uso potencial de biopolímeros de origem vegetal na descolorização de efluentes têxtil índigo. **In:** Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** 22, 2003, Joinville. Joinville, Santa Catarina, 2003.

SOUZA, Gisele de. **Monitoramento dos parâmetros qualitativos e quantitativos de líquidos percolados de aterros sanitários – estudo em piloto experimental.** 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

STALGE SUNRISE. **PAC – POLICLORETO DE ALUMÍNIO:** Coagulante//FloculanteQuímico. 2008. Disponível em: <www.stalgesunrise.com.br/conteudo/item/pac---policloreto-de-alumnio>. Acesso em 15 jun.2014.

TANAC S.A. **Tanfloc:** Coagulante/floculante de origem vegetal. Disponível em: <<http://www.tanac.com.br/pt-br/produtos/aguas>>. Acesso em: 13 mai. 2014.

TELLES, C. A. S. **Processos combinados para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário.** 2010. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

VIEIRA, Rosana F.; SILVA, Célia M.M.S. Utilização do lodo de esgoto como fonte de fósforo na cultura de soja. **Circular Técnica 6 – EMBRAPA.** Jaguariúna, São Paulo. Jun 2004.

APÊNDICE A – Resultados do Afluente

| BRUTO | | | |
|--------------------------|------------------|--------------------------|------------------|
| pH | 8,47 | pH | 7,93 |
| Cor aparente (mg/LPtCO) | 750 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 750 |
| Turbidez (FAU) | 259 | Turbidez (FAU) | 259 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 7140 9288 | Sólidos Totais (mg/L) | 7980 8290 |
| Sólidos Suspensos (mg/L) | 78,31 80,29 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 89,17 85,23 |
| DQO (mg/L) | 199,01 183,34 | DQO (mg/L) | 205,68 208,59 |

APÊNDICE B – Resultados do efluente tratado com Tanino

| 1ª SÉRIE | | | | | | | |
|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
| Tanino 1 = 500 mg | | Tanino 2 = 900mg | | Tanino 3 = 1100mg | | Tanino 4 = 1500mg | |
| pH | 7,63 | pH | 7,59 | pH | 7,15 | pH | 6,85 |
| Cor aparente (mg/LPtCO) | 210 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 220 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 240 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 330 |
| Turbidez (FAU) | 7,2 | Turbidez (FAU) | 3,14 | Turbidez (FAU) | 6,18 | Turbidez (FAU) | 7,5 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 2340 2340 | Sólidos Totais (mg/L) | 2080 2440 | Sólidos Totais (mg/L) | 2760 2750 | Sólidos Totais (mg/L) | 2654 2614 |
| Sólidos Suspensos (mg/L) | 52,73 41,57 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 44,27 44,42 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 58,65 56,62 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 54,03 48,25 |
| DQO (mg/L) | 165,62 150,17 | DQO (mg/L) | 181,07 196,51 | DQO (mg/L) | 139,88 132,15 | DQO (mg/L) | 150,17 155,32 |
| Quantidade de Lodo (ml/L) | 50 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 65 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 70 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 90 |
| 2ª SÉRIE | | | | | | | |
| Tanino 1 = 500 mg | | Tanino 2 = 900mg | | Tanino 3 = 1100mg | | Tanino 4 = 1500mg | |
| pH | 7,67 | pH | 7,47 | pH | 7,03 | pH | 6,93 |
| Cor aparente (mg/LPtCO) | 190 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 220 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 290 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 350 |
| Turbidez (FAU) | 7,7 | Turbidez (FAU) | 3,17 | Turbidez (FAU) | 6,2 | Turbidez (FAU) | 8 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 2760 2880 | Sólidos Totais (mg/L) | 2156 2348 | Sólidos Totais (mg/L) | 2780 2810 | Sólidos Totais (mg/L) | 2534 2660 |
| Sólidos Suspensos (mg/L) | 45,79 51,46 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 44,28 42,33 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 59,93 59,69 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 51,08 51,57 |
| DQO (mg/L) | 167,89 155,27 | DQO (mg/L) | 190,18 188,74 | DQO (mg/L) | 135,23 133,43 | DQO (mg/L) | 148,67 153,24 |
| Quantidade de Lodo (ml/L) | 55 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 65 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 75 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 95 |

APÊNDICE C – Resultado do efluente tratado com PAC

| 1ª SÉRIE | | | | | | | |
|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
| PAC 1 = 400 mg | | PAC 2 = 450 mg | | PAC 3 = 500 mg | | PAC 4 = 550 mg | |
| pH | 4,32 | pH | 4,82 | pH | 4,87 | pH | 4,25 |
| Cor aparente (mg/LPtCO) | 230 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 140 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 350 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 290 |
| Turbidez (FAU) | 17,5 | Turbidez (FAU) | 27,5 | Turbidez (FAU) | 45,8 | Turbidez (FAU) | 29,8 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 6170 6029 | Sólidos Totais (mg/L) | 3100 2840 | Sólidos Totais (mg/L) | 3390 3460 | Sólidos Totais (mg/L) | 4654 4838 |
| Sólidos Suspensos (mg/L) | 68,64 66,91 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 64,19 69,78 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 61,9 64,3 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 66,62 64,3 |
| DQO (mg/L) | 165,62 181,07 | DQO (mg/L) | 160,47 156,71 | DQO (mg/L) | 181,07 183,05 | DQO (mg/L) | 183,64 185,02 |
| Quantidade de Lodo (ml/L) | 40 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 155 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 150 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 40 |
| PAC 5 = 600 mg | | PAC 6 = 650 mg | | PAC = 700 mg | | PAC 8 = 750 mg | |
| pH | 4,37 | pH | 4,38 | pH | 4,38 | pH | 4,17 |
| Cor aparente (mg/LPtCO) | 350 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 230 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 260 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 360 |
| Turbidez (FAU) | 38,9 | Turbidez (FAU) | 18 | Turbidez (FAU) | 15,2 | Turbidez (FAU) | 48,1 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 6844 6748 | Sólidos Totais (mg/L) | 6454 6314 | Sólidos Totais (mg/L) | 6649 6760 | Sólidos Totais (mg/L) | 6480 6432 |
| Sólidos Suspensos (mg/L) | 61,6 60,7 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 60,65 59,61 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 62,45 60,04 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 69,9 69,24 |
| DQO (mg/L) | 178,49 172,41 | DQO (mg/L) | 147,6 150,17 | DQO (mg/L) | 160,47 168,62 | DQO (mg/L) | 163,64 168,19 |
| Quantidade de Lodo (ml/L) | 45 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 40 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 35 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 45 |

| PAC 9 = 800 mg | | PAC 10 = 850 mg | | PAC 11 = 900 mg | | PAC 12 = 950 mg | |
|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
| pH | 4,2 | pH | 4,33 | pH | 4,16 | pH | 4,21 |
| Cor aparente (mg/LPtCO) | 210 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 430 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 370 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 410 |
| Turbidez (FAU) | 21,3 | Turbidez (FAU) | 48,2 | Turbidez (FAU) | 45,7 | Turbidez (FAU) | 24,3 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 6308 6306 | Sólidos Totais (mg/L) | 6957 6822 | Sólidos Totais (mg/L) | 6625 6618 | Sólidos Totais (mg/L) | 6258 6231 |
| Sólidos Suspensos (mg/L) | 64,19 65,26 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 64,03 66,86 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 68,81 69,08 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 62,85 63,03 |
| DQO (mg/L) | 173,79 177,34 | DQO (mg/L) | 151,77 151,77 | DQO (mg/L) | 168,19 165,92 | DQO (mg/L) | 122,26 124,80 |
| Quantidade de Lodo (ml/L) | 50 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 40 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 35 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 35 |
| 2ª SÉRIE | | | | | | | |
| PAC 1 = 400 mg | | PAC 2 = 450 mg | | PAC 3 = 500 mg | | PAC 4 = 550 mg | |
| pH | 4,34 | pH | 4,86 | pH | 4,77 | pH | 4,27 |
| Cor aparente (mg/LPtCO) | 230 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 160 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 320 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 290 |
| Turbidez (FAU) | 16,5 | Turbidez (FAU) | 20,5 | Turbidez (FAU) | 10,5 | Turbidez (FAU) | 27,8 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 6010 6294 | Sólidos Totais (mg/L) | 3089 2980 | Sólidos Totais (mg/L) | 3930 3670 | Sólidos Totais (mg/L) | 5084 4998 |
| Sólidos Suspensos (mg/L) | 66,82 66,64 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 62,14 63,57 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 64,12 64,84 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 65,32 62,17 |
| DQO (mg/L) | 162,62 161,17 | DQO (mg/L) | 154,87 158,43 | DQO (mg/L) | 179,45 171,23 | DQO (mg/L) | 187,69 181,32 |
| Quantidade de Lodo (ml/L) | 35 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 140 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 140 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 45 |

| PAC 5 = 600 mg | | PAC 6 = 650 mg | | PAC = 700 mg | | PAC 8 = 750 mg | |
|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
| pH | 4,35 | pH | 4,35 | pH | 4,45 | pH | 4,15 |
| Cor aparente (mg/LPtCO) | 300 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 200 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 250 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 350 |
| Turbidez (FAU) | 40,1 | Turbidez (FAU) | 15 | Turbidez (FAU) | 15 | Turbidez (FAU) | 45 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 6453 6578 | Sólidos Totais (mg/L) | 6545 6513 | Sólidos Totais (mg/L) | 6598 6670 | Sólidos Totais (mg/L) | 6520 6492 |
| Sólidos Suspensos (mg/L) | 61,89 61,08 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 59,83 59,08 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 64,28 63,89 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 70,05 70,39 |
| DQO (mg/L) | 176,32 179,43 | DQO (mg/L) | 148,2 146,36 | DQO (mg/L) | 165,98 163,64 | DQO (mg/L) | 165,19 169,8 |
| Quantidade de Lodo (ml/L) | 40 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 35 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 35 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 40 |
| PAC 9 = 800 mg | | PAC 10 = 850 mg | | PAC 11 = 900 mg | | PAC 12 = 950 mg | |
| pH | 4,19 | pH | 4,35 | pH | 4,13 | pH | 4,17 |
| Cor aparente (mg/LPtCO) | 200 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 350 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 350 | Cor aparente (mg/LPtCO) | 370 |
| Turbidez (FAU) | 18,5 | Turbidez (FAU) | 50 | Turbidez (FAU) | 40 | Turbidez (FAU) | 25 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 6576 6424 | Sólidos Totais (mg/L) | 6759 6686 | Sólidos Totais (mg/L) | 6750 6798 | Sólidos Totais (mg/L) | 6318 6297 |
| Sólidos Suspensos (mg/L) | 62,99 63,57 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 65,03 66,59 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 67,89 68,89 | Sólidos Suspensos (mg/L) | 63,39 63,14 |
| DQO (mg/L) | 170,19 168,45 | DQO (mg/L) | 155,45 157,23 | DQO (mg/L) | 165,42 173,6 | DQO (mg/L) | 120,87 125,38 |
| Quantidade de Lodo (ml/L) | 50 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 35 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 40 | Quantidade de Lodo (ml/L) | 40 |

APÊNDICE D – Resultados do Teste de Tukey para o efluente tratado com Tanino

| FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| Tratamentos | 3 | 23.1 e+03 | 77.1 e+02 |
| Erro | 4 | 16.5 e+02 | 412.500 |
| F = | 18.6970 | | |
| (p) = | 0.0103 | | |
| Média (Coluna 1) = | 200.0000 | | |
| Média (Coluna 2) = | 220.0000 | | |
| Média (Coluna 3) = | 265.0000 | | |
| Média (Coluna 4) = | 340.0000 | | |
| Tukey: | Diferença | Q | (p) |
| Médias (1 a 2) = | 20.0000 | 1.3926 | ns |
| Médias (1 a 3) = | 65.0000 | 4.5260 | ns |
| Médias (1 a 4) = | 140.0000 | 9.7483 | < 0.01 |
| Médias (2 a 3) = | 45.0000 | 3.1334 | ns |
| Médias (2 a 4) = | 120.0000 | 8.3557 | < 0.05 |
| Médias (3 a 4) = | 75.0000 | 5.2223 | ns |

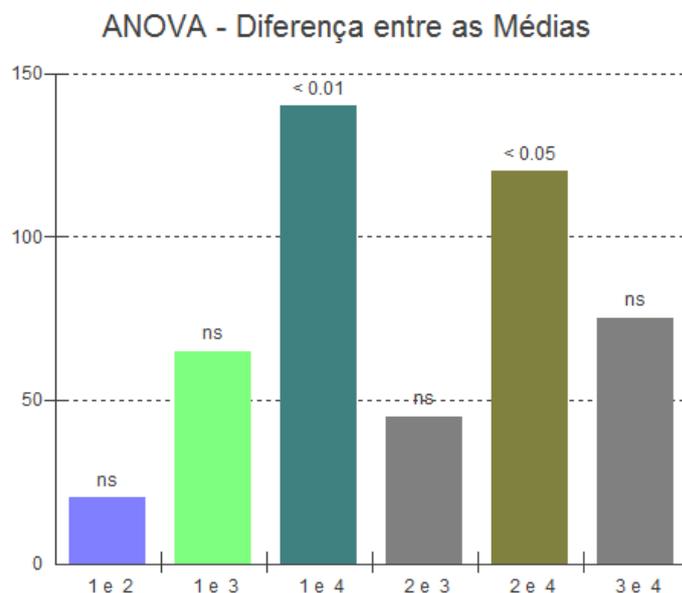


Figura 1. Resultados do parâmetro cor aparente

| FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM |
|--------------------|-----------|---------|--------|
| Tratamentos | 3 | 26.442 | 8.814 |
| Erro | 4 | 0.251 | 0.063 |
| F = | 140.6569 | | |
| (p) = | 0.0010 | | |
| Média (Coluna 1) = | 7.4500 | | |
| Média (Coluna 2) = | 3.1550 | | |
| Média (Coluna 3) = | 6.1900 | | |
| Média (Coluna 4) = | 7.7500 | | |
| Tukey: | Diferença | Q | (p) |
| Médias (1 a 2) = | 4.2950 | 24.2648 | < 0.01 |
| Médias (1 a 3) = | 1.2600 | 7.1184 | < 0.05 |
| Médias (1 a 4) = | 0.3000 | 1.6949 | ns |
| Médias (2 a 3) = | 3.0350 | 17.1463 | < 0.01 |
| Médias (2 a 4) = | 4.5950 | 25.9596 | < 0.01 |
| Médias (3 a 4) = | 1.5600 | 8.8133 | < 0.05 |

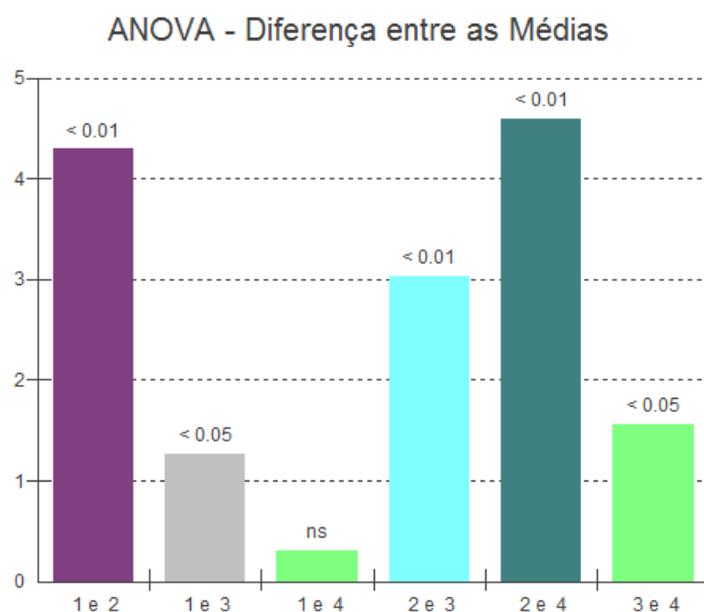


Figura 2. Resultados do parâmetro turbidez

| FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| Tratamentos | 3 | 61.1 e+02 | 20.4 e+02 |
| Erro | 12 | 394.489 | 32.874 |
| F = | 61.9304 | | |
| (p) = | < 0.0001 | | |
| Média (Coluna 1) = | 159.7375 | | |
| Média (Coluna 2) = | 189.1250 | | |
| Média (Coluna 3) = | 135.1725 | | |
| Média (Coluna 4) = | 151.8500 | | |
| Tukey: | Diferença | Q | (p) |
| Médias (1 a 2) = | 29.3875 | 10.2510 | < 0.01 |
| Médias (1 a 3) = | 24.5650 | 8.5688 | < 0.01 |
| Médias (1 a 4) = | 7.8875 | 2.7513 | ns |
| Médias (2 a 3) = | 53.9525 | 18.8198 | < 0.01 |
| Médias (2 a 4) = | 37.2750 | 13.0023 | < 0.01 |
| Médias (3 a 4) = | 16.6775 | 5.8175 | < 0.01 |

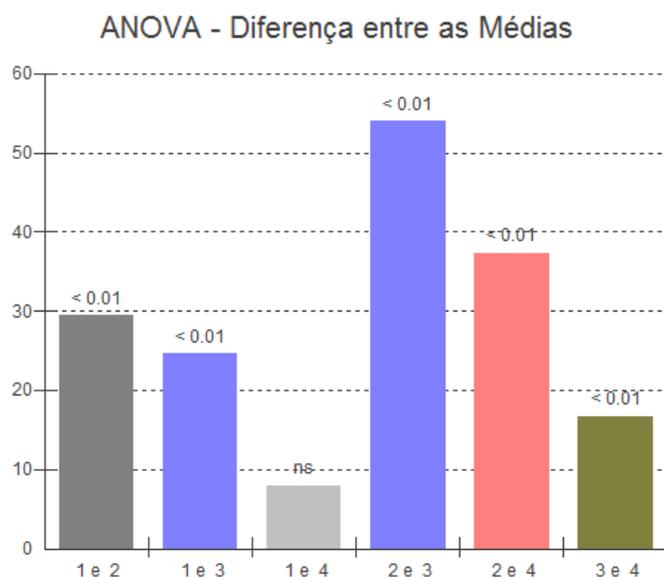


Figura 3. Resultados do parâmetro DQO

| FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM |
|--------------------|-----------|---------|---------|
| Tratamentos | 3 | 477.997 | 159.332 |
| Erro | 12 | 107.195 | 8.933 |
| F = | 17.8365 | | |
| (p) = | 0.0002 | | |
| Média (Coluna 1) = | 47.8875 | | |
| Média (Coluna 2) = | 43.8250 | | |
| Média (Coluna 3) = | 58.7225 | | |
| Média (Coluna 4) = | 51.2325 | | |
| Tukey: | Diferença | Q | (p) |
| Médias (1 a 2) = | 4.0625 | 2.7185 | ns |
| Médias (1 a 3) = | 10.8350 | 7.2504 | < 0.01 |
| Médias (1 a 4) = | 3.3450 | 2.2384 | ns |
| Médias (2 a 3) = | 14.8975 | 9.9689 | < 0.01 |
| Médias (2 a 4) = | 7.4075 | 4.9568 | < 0.05 |
| Médias (3 a 4) = | 7.4900 | 5.0120 | < 0.05 |

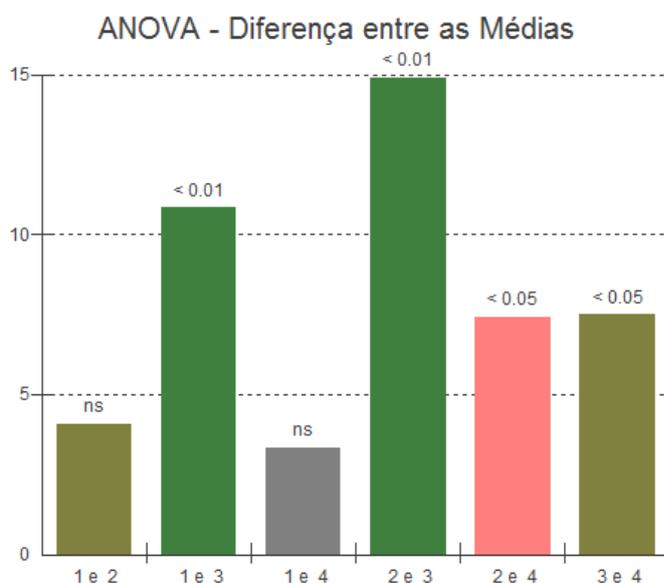


Figura 4. Resultados do parâmetro sólidos suspensos

| FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| Tratamentos | 3 | 56.8 e+04 | 18.9 e+04 |
| Erro | 12 | 33.3 e+04 | 27.8 e+03 |
| F = | 6.8243 | | |
| (p) = | 0.0064 | | |
| Média (Coluna 1) = | 2580.0000 | | |
| Média (Coluna 2) = | 2256.0000 | | |
| Média (Coluna 3) = | 2775.0000 | | |
| Média (Coluna 4) = | 2615.5000 | | |
| Tukey: | Diferença | Q | (p) |
| Médias (1 a 2) = | 324.0000 | 3.8893 | ns |
| Médias (1 a 3) = | 195.0000 | 2.3408 | ns |
| Médias (1 a 4) = | 35.5000 | 0.4261 | ns |
| Médias (2 a 3) = | 519.0000 | 6.2302 | < 0.01 |
| Médias (2 a 4) = | 359.5000 | 4.3155 | < 0.05 |
| Médias (3 a 4) = | 159.5000 | 1.9147 | ns |

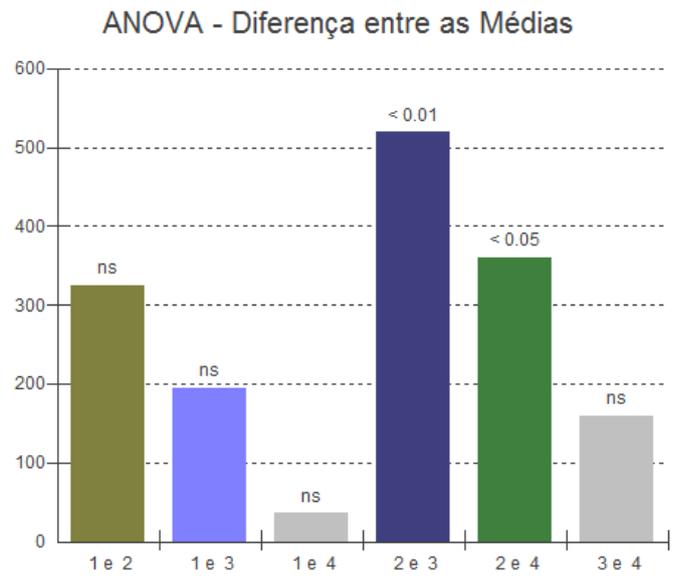


Figura 5. Resultados do parâmetro sólidos totais

APÊNDICE E – Resultados do Teste de Tukey para o efluente tratado com PAC.

| FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM | FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM | FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|----------|---------|--------|---------------------|----------|---------|--------|
| Tratamentos | 11 | 13.9 e+04 | 12.7 e+03 | Médias (2 a 7) = | 105.0000 | 6.2843 | < 0.05 | Médias (6 a 9) = | 10.0000 | 0.5985 | ns |
| Erro | 12 | 67.0 e+02 | 558.333 | Médias (2 a 8) = | 205.0000 | 12.2694 | < 0.01 | Médias (6 a 10) = | 175.0000 | 10.4738 | < 0.01 |
| F = | 22.6703 | | | Médias (2 a 9) = | 55.0000 | 3.2918 | ns | Médias (6 a 11) = | 145.0000 | 8.6783 | < 0.01 |
| (p) = | < 0.0001 | | | Médias (2 a 10) = | 240.0000 | 14.3641 | < 0.01 | Médias (6 a 12) = | 175.0000 | 10.4738 | < 0.01 |
| Média (Coluna 1) = | 230.0000 | | | Médias (2 a 11) = | 210.0000 | 12.5686 | < 0.01 | Médias (7 a 8) = | 100.0000 | 5.9851 | < 0.05 |
| Média (Coluna 2) = | 150.0000 | | | Médias (2 a 12) = | 240.0000 | 14.3641 | < 0.01 | Médias (7 a 9) = | 50.0000 | 2.9925 | ns |
| Média (Coluna 3) = | 335.0000 | | | Médias (3 a 4) = | 45.0000 | 2.6933 | ns | Médias (7 a 10) = | 135.0000 | 8.0798 | < 0.01 |
| Média (Coluna 4) = | 290.0000 | | | Médias (3 a 5) = | 10.0000 | 0.5985 | ns | Médias (7 a 11) = | 105.0000 | 6.2843 | < 0.05 |
| Média (Coluna 5) = | 325.0000 | | | Médias (3 a 6) = | 120.0000 | 7.1821 | < 0.01 | Médias (7 a 12) = | 135.0000 | 8.0798 | < 0.01 |
| Média (Coluna 6) = | 215.0000 | | | Médias (3 a 7) = | 80.0000 | 4.7880 | ns | Médias (8 a 9) = | 150.0000 | 8.9776 | < 0.01 |
| Média (Coluna 7) = | 255.0000 | | | Médias (3 a 8) = | 20.0000 | 1.1970 | ns | Médias (8 a 10) = | 35.0000 | 2.0948 | ns |
| Média (Coluna 8) = | 355.0000 | | | Médias (3 a 9) = | 130.0000 | 7.7806 | < 0.01 | Médias (8 a 11) = | 5.0000 | 0.2993 | ns |
| Média (Coluna 9) = | 205.0000 | | | Médias (3 a 10) = | 55.0000 | 3.2918 | ns | Médias (8 a 12) = | 35.0000 | 2.0948 | ns |
| Média (Coluna 10) = | 390.0000 | | | Médias (3 a 11) = | 25.0000 | 1.4963 | ns | Médias (9 a 10) = | 185.0000 | 11.0724 | < 0.01 |
| Média (Coluna 11) = | 360.0000 | | | Médias (3 a 12) = | 55.0000 | 3.2918 | ns | Médias (9 a 11) = | 155.0000 | 9.2768 | < 0.01 |
| Média (Coluna 12) = | 390.0000 | | | Médias (4 a 5) = | 35.0000 | 2.0948 | ns | Médias (9 a 12) = | 185.0000 | 11.0724 | < 0.01 |
| Tukey: | Diferença | Q | (p) | Médias (4 a 6) = | 75.0000 | 4.4888 | ns | Médias (10 a 11) = | 30.0000 | 1.7955 | ns |
| Médias (1 a 2) = | 80.0000 | 4.7880 | ns | Médias (4 a 7) = | 35.0000 | 2.0948 | ns | Médias (10 a 12) = | 0.0000 | 0.0000 | ns |
| Médias (1 a 3) = | 105.0000 | 6.2843 | < 0.05 | Médias (4 a 8) = | 65.0000 | 3.8903 | ns | Médias (11 a 12) = | 30.0000 | 1.7955 | ns |
| Médias (1 a 4) = | 60.0000 | 3.5910 | ns | Médias (4 a 9) = | 85.0000 | 5.0873 | ns | | | | |
| Médias (1 a 5) = | 95.0000 | 5.6858 | < 0.05 | Médias (4 a 10) = | 100.0000 | 5.9851 | < 0.05 | | | | |
| Médias (1 a 6) = | 15.0000 | 0.8978 | ns | Médias (4 a 11) = | 70.0000 | 4.1895 | ns | | | | |
| Médias (1 a 7) = | 25.0000 | 1.4963 | ns | Médias (4 a 12) = | 100.0000 | 5.9851 | < 0.05 | | | | |
| Médias (1 a 8) = | 125.0000 | 7.4813 | < 0.01 | Médias (5 a 6) = | 110.0000 | 6.5836 | < 0.05 | | | | |
| Médias (1 a 9) = | 25.0000 | 1.4963 | ns | Médias (5 a 7) = | 70.0000 | 4.1895 | ns | | | | |
| Médias (1 a 10) = | 160.0000 | 9.5761 | < 0.01 | Médias (5 a 8) = | 30.0000 | 1.7955 | ns | | | | |
| Médias (1 a 11) = | 130.0000 | 7.7806 | < 0.01 | Médias (5 a 9) = | 120.0000 | 7.1821 | < 0.01 | | | | |
| Médias (1 a 12) = | 160.0000 | 9.5761 | < 0.01 | Médias (5 a 10) = | 65.0000 | 3.8903 | ns | | | | |
| Médias (2 a 3) = | 185.0000 | 11.0724 | < 0.01 | Médias (5 a 11) = | 35.0000 | 2.0948 | ns | | | | |
| Médias (2 a 4) = | 140.0000 | 8.3791 | < 0.01 | Médias (5 a 12) = | 65.0000 | 3.8903 | ns | | | | |
| Médias (2 a 5) = | 175.0000 | 10.4738 | < 0.01 | Médias (6 a 7) = | 40.0000 | 2.3940 | ns | | | | |
| Médias (2 a 6) = | 65.0000 | 3.8903 | ns | Médias (6 a 8) = | 140.0000 | 8.3791 | < 0.01 | | | | |

Figura 1. Resultados das médias e do p-valor para o parâmetro cor aparente

ANOVA - Diferença entre as Médias

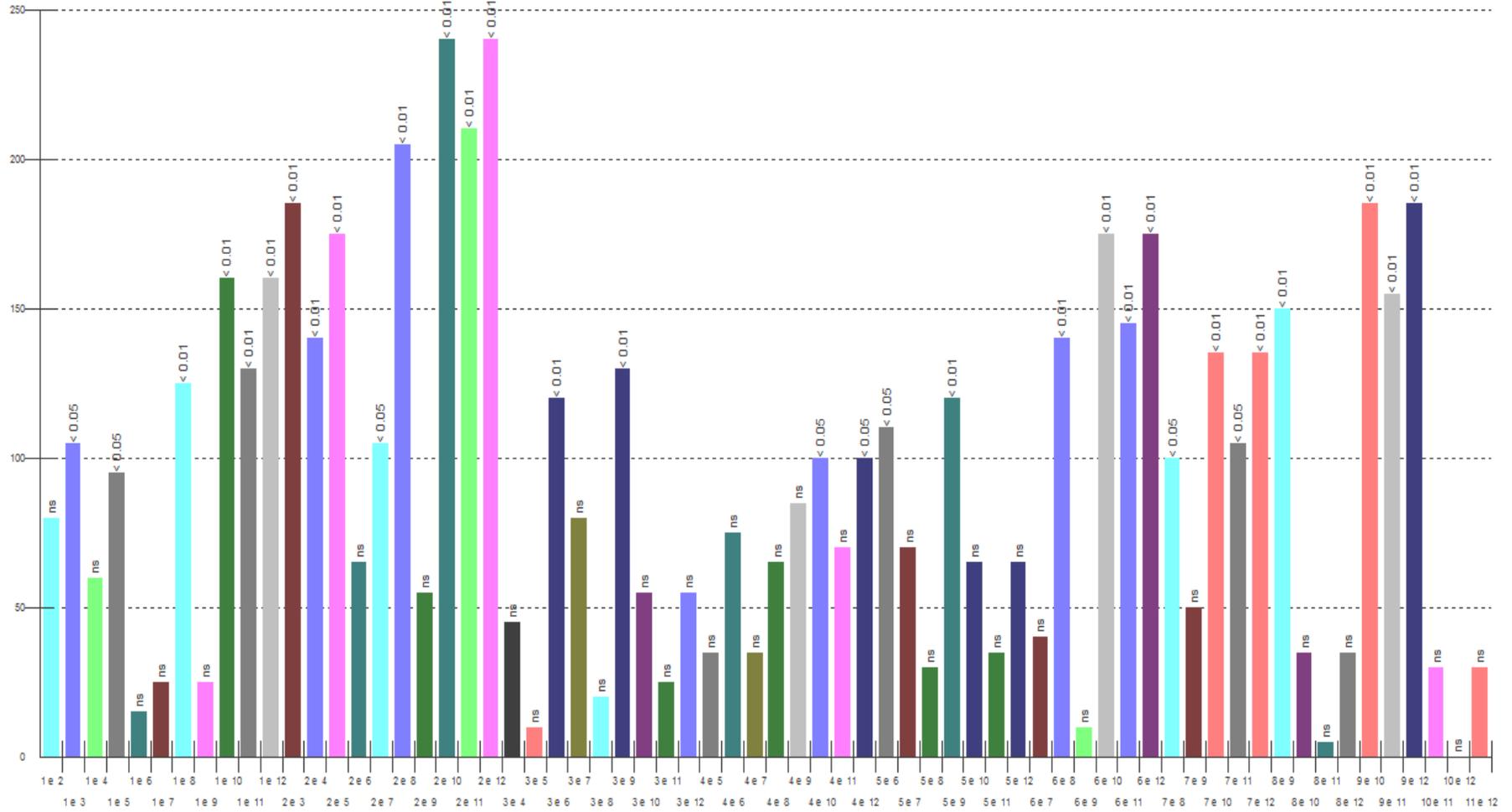


Figura 2. Gráfico do parâmetro cor aparente

| FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM | FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM | FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM |
|---------------------|-----------|-----------|---------|--------------------|---------|--------|--------|---------------------|---------|--------|--------|
| Tratamentos | 11 | 32.7 e+02 | 297.025 | Médias (2 a 7) = | 8.9000 | 1.6694 | ns | Médias (6 a 9) = | 3.4000 | 0.6378 | ns |
| Erro | 12 | 682.120 | 56.843 | Médias (2 a 8) = | 22.5500 | 4.2298 | ns | Médias (6 a 10) = | 32.6000 | 6.1149 | < 0.05 |
| F = | 5.2253 | | | Médias (2 a 9) = | 4.1000 | 0.7691 | ns | Médias (6 a 11) = | 26.3500 | 4.9426 | ns |
| (p) = | 0.0045 | | | Médias (2 a 10) = | 25.1000 | 4.7081 | ns | Médias (6 a 12) = | 8.1500 | 1.5287 | ns |
| Média (Coluna 1) = | 17.0000 | | | Médias (2 a 11) = | 18.8500 | 3.5358 | ns | Médias (7 a 8) = | 31.4500 | 5.8992 | < 0.05 |
| Média (Coluna 2) = | 24.0000 | | | Médias (2 a 12) = | 0.6500 | 0.1219 | ns | Médias (7 a 9) = | 4.8000 | 0.9004 | ns |
| Média (Coluna 3) = | 28.1500 | | | Médias (3 a 4) = | 0.6500 | 0.1219 | ns | Médias (7 a 10) = | 34.0000 | 6.3776 | < 0.05 |
| Média (Coluna 4) = | 28.8000 | | | Médias (3 a 5) = | 11.3500 | 2.1290 | ns | Médias (7 a 11) = | 27.7500 | 5.2052 | ns |
| Média (Coluna 5) = | 39.5000 | | | Médias (3 a 6) = | 11.6500 | 2.1853 | ns | Médias (7 a 12) = | 9.5500 | 1.7913 | ns |
| Média (Coluna 6) = | 16.5000 | | | Médias (3 a 7) = | 13.0500 | 2.4479 | ns | Médias (8 a 9) = | 26.6500 | 4.9989 | ns |
| Média (Coluna 7) = | 15.1000 | | | Médias (3 a 8) = | 18.4000 | 3.4514 | ns | Médias (8 a 10) = | 2.5500 | 0.4783 | ns |
| Média (Coluna 8) = | 46.5500 | | | Médias (3 a 9) = | 8.2500 | 1.5475 | ns | Médias (8 a 11) = | 3.7000 | 0.6940 | ns |
| Média (Coluna 9) = | 19.9000 | | | Médias (3 a 10) = | 20.9500 | 3.9297 | ns | Médias (8 a 12) = | 21.9000 | 4.1079 | ns |
| Média (Coluna 10) = | 49.1000 | | | Médias (3 a 11) = | 14.7000 | 2.7574 | ns | Médias (9 a 10) = | 29.2000 | 5.4772 | ns |
| Média (Coluna 11) = | 42.8500 | | | Médias (3 a 12) = | 3.5000 | 0.6565 | ns | Médias (9 a 11) = | 22.9500 | 4.3048 | ns |
| Média (Coluna 12) = | 24.6500 | | | Médias (4 a 5) = | 10.7000 | 2.0071 | ns | Médias (9 a 12) = | 4.7500 | 0.8910 | ns |
| Tukey: | Diferença | Q | (p) | Médias (4 a 6) = | 12.3000 | 2.3072 | ns | Médias (10 a 11) = | 6.2500 | 1.1723 | ns |
| Médias (1 a 2) = | 7.0000 | 1.3130 | ns | Médias (4 a 7) = | 13.7000 | 2.5698 | ns | Médias (10 a 12) = | 24.4500 | 4.5862 | ns |
| Médias (1 a 3) = | 11.1500 | 2.0915 | ns | Médias (4 a 8) = | 17.7500 | 3.3295 | ns | Médias (11 a 12) = | 18.2000 | 3.4139 | ns |
| Médias (1 a 4) = | 11.8000 | 2.2134 | ns | Médias (4 a 9) = | 8.9000 | 1.6694 | ns | | | | |
| Médias (1 a 5) = | 22.5000 | 4.2204 | ns | Médias (4 a 10) = | 20.3000 | 3.8078 | ns | | | | |
| Médias (1 a 6) = | 0.5000 | 0.0938 | ns | Médias (4 a 11) = | 14.0500 | 2.6354 | ns | | | | |
| Médias (1 a 7) = | 1.9000 | 0.3564 | ns | Médias (4 a 12) = | 4.1500 | 0.7784 | ns | | | | |
| Médias (1 a 8) = | 29.5500 | 5.5428 | ns | Médias (5 a 6) = | 23.0000 | 4.3142 | ns | | | | |
| Médias (1 a 9) = | 2.9000 | 0.5440 | ns | Médias (5 a 7) = | 24.4000 | 4.5768 | ns | | | | |
| Médias (1 a 10) = | 32.1000 | 6.0212 | < 0.05 | Médias (5 a 8) = | 7.0500 | 1.3224 | ns | | | | |
| Médias (1 a 11) = | 25.8500 | 4.8488 | ns | Médias (5 a 9) = | 19.6000 | 3.6765 | ns | | | | |
| Médias (1 a 12) = | 7.6500 | 1.4349 | ns | Médias (5 a 10) = | 9.6000 | 1.8007 | ns | | | | |
| Médias (2 a 3) = | 4.1500 | 0.7784 | ns | Médias (5 a 11) = | 3.3500 | 0.6284 | ns | | | | |
| Médias (2 a 4) = | 4.8000 | 0.9004 | ns | Médias (5 a 12) = | 14.8500 | 2.7855 | ns | | | | |
| Médias (2 a 5) = | 15.5000 | 2.9074 | ns | Médias (6 a 7) = | 1.4000 | 0.2626 | ns | | | | |
| Médias (2 a 6) = | 7.5000 | 1.4068 | ns | Médias (6 a 8) = | 30.0500 | 5.6366 | < 0.05 | | | | |

Figura 3. Resultados das médias e do p-valor para o parâmetro turbidez

ANOVA - Diferença entre as Médias

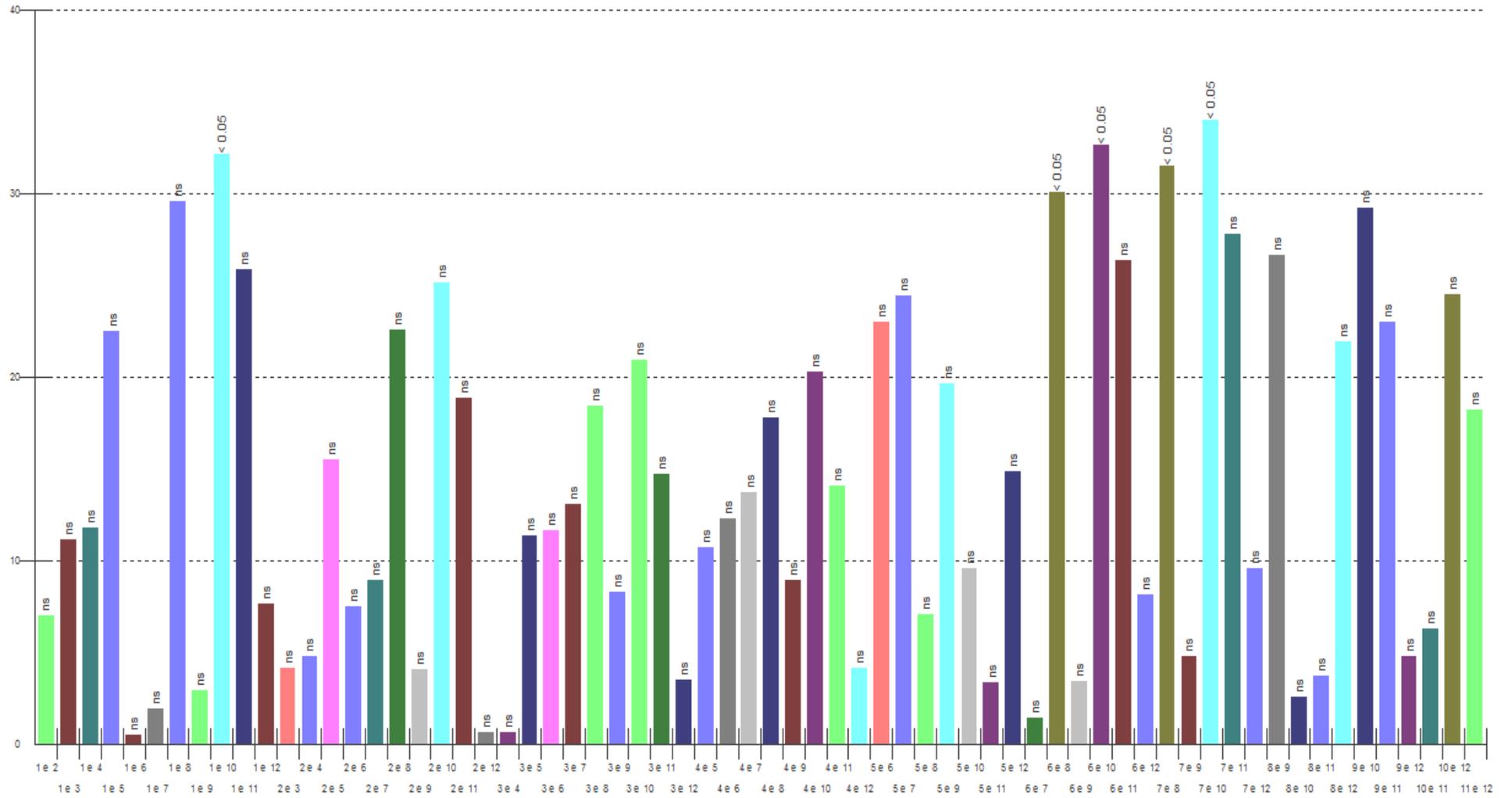


Figura 4. Gráfico do parâmetro turbidez

| FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM | FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM | FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|---------|---------|--------|---------------------|---------|---------|--------|
| Tratamentos | 11 | 11.8 e+03 | 10.7 e+02 | Médias (2 a 7) = | 7.0575 | 3.4807 | ns | Médias (6 a 9) = | 24.3600 | 12.0141 | < 0.01 |
| Erro | 36 | 592.016 | 16.445 | Médias (2 a 8) = | 9.0850 | 4.4806 | ns | Médias (6 a 10) = | 5.9725 | 2.9456 | ns |
| F = | 65.2004 | | | Médias (2 a 9) = | 14.8225 | 7.3103 | < 0.01 | Médias (6 a 11) = | 20.2000 | 9.9624 | < 0.01 |
| (p) = | < 0.0001 | | | Médias (2 a 10) = | 3.5650 | 1.7582 | ns | Médias (6 a 12) = | 24.7550 | 12.2089 | < 0.01 |
| Média (Coluna 1) = | 167.6200 | | | Médias (2 a 11) = | 10.6625 | 5.2586 | < 0.05 | Médias (7 a 8) = | 2.0275 | 0.9999 | ns |
| Média (Coluna 2) = | 157.6200 | | | Médias (2 a 12) = | 34.2925 | 16.9127 | < 0.01 | Médias (7 a 9) = | 7.7650 | 3.8296 | ns |
| Média (Coluna 3) = | 178.7000 | | | Médias (3 a 4) = | 5.7175 | 2.8198 | ns | Médias (7 a 10) = | 10.6225 | 5.2389 | < 0.05 |
| Média (Coluna 4) = | 184.4175 | | | Médias (3 a 5) = | 2.0375 | 1.0049 | ns | Médias (7 a 11) = | 3.6050 | 1.7780 | ns |
| Média (Coluna 5) = | 176.6625 | | | Médias (3 a 6) = | 30.6175 | 15.1003 | < 0.01 | Médias (7 a 12) = | 41.3500 | 20.3934 | < 0.01 |
| Média (Coluna 6) = | 148.0825 | | | Médias (3 a 7) = | 14.0225 | 6.9158 | < 0.01 | Médias (8 a 9) = | 5.7375 | 2.8297 | ns |
| Média (Coluna 7) = | 164.6775 | | | Médias (3 a 8) = | 11.9950 | 5.9158 | < 0.01 | Médias (8 a 10) = | 12.6500 | 6.2389 | < 0.01 |
| Média (Coluna 8) = | 166.7050 | | | Médias (3 a 9) = | 6.2575 | 3.0861 | ns | Médias (8 a 11) = | 1.5775 | 0.7780 | ns |
| Média (Coluna 9) = | 172.4425 | | | Médias (3 a 10) = | 24.6450 | 12.1547 | < 0.01 | Médias (8 a 12) = | 43.3775 | 21.3934 | < 0.01 |
| Média (Coluna 10) = | 154.0550 | | | Médias (3 a 11) = | 10.4175 | 5.1378 | < 0.05 | Médias (9 a 10) = | 18.3875 | 9.0685 | < 0.01 |
| Média (Coluna 11) = | 168.2825 | | | Médias (3 a 12) = | 55.3725 | 27.3092 | < 0.01 | Médias (9 a 11) = | 4.1600 | 2.0517 | ns |
| Média (Coluna 12) = | 123.3275 | | | Médias (4 a 5) = | 7.7550 | 3.8247 | ns | Médias (9 a 12) = | 49.1150 | 24.2230 | < 0.01 |
| Tukey: | Diferença | Q | (p) | Médias (4 a 6) = | 36.3350 | 17.9201 | < 0.01 | Médias (10 a 11) = | 14.2275 | 7.0169 | < 0.01 |
| Médias (1 a 2) = | 10.0000 | 4.9319 | ns | Médias (4 a 7) = | 19.7400 | 9.7356 | < 0.01 | Médias (10 a 12) = | 30.7275 | 15.1545 | < 0.01 |
| Médias (1 a 3) = | 11.0800 | 5.4645 | < 0.05 | Médias (4 a 8) = | 17.7125 | 8.7356 | < 0.01 | Médias (11 a 12) = | 44.9550 | 22.1714 | < 0.01 |
| Médias (1 a 4) = | 16.7975 | 8.2844 | < 0.01 | Médias (4 a 9) = | 11.9750 | 5.9060 | < 0.01 | | | | |
| Médias (1 a 5) = | 9.0425 | 4.4597 | ns | Médias (4 a 10) = | 30.3625 | 14.9745 | < 0.01 | | | | |
| Médias (1 a 6) = | 19.5375 | 9.6357 | < 0.01 | Médias (4 a 11) = | 16.1350 | 7.9576 | < 0.01 | | | | |
| Médias (1 a 7) = | 2.9425 | 1.4512 | ns | Médias (4 a 12) = | 61.0900 | 30.1290 | < 0.01 | | | | |
| Médias (1 a 8) = | 0.9150 | 0.4513 | ns | Médias (5 a 6) = | 28.5800 | 14.0954 | < 0.01 | | | | |
| Médias (1 a 9) = | 4.8225 | 2.3784 | ns | Médias (5 a 7) = | 11.9850 | 5.9109 | < 0.01 | | | | |
| Médias (1 a 10) = | 13.5650 | 6.6901 | < 0.01 | Médias (5 a 8) = | 9.9575 | 4.9109 | ns | | | | |
| Médias (1 a 11) = | 0.6625 | 0.3267 | ns | Médias (5 a 9) = | 4.2200 | 2.0813 | ns | | | | |
| Médias (1 a 12) = | 44.2925 | 21.8446 | < 0.01 | Médias (5 a 10) = | 22.6075 | 11.1498 | < 0.01 | | | | |
| Médias (2 a 3) = | 21.0800 | 10.3965 | < 0.01 | Médias (5 a 11) = | 8.3800 | 4.1329 | ns | | | | |
| Médias (2 a 4) = | 26.7975 | 13.2163 | < 0.01 | Médias (5 a 12) = | 53.3350 | 26.3043 | < 0.01 | | | | |
| Médias (2 a 5) = | 19.0425 | 9.3916 | < 0.01 | Médias (6 a 7) = | 16.5950 | 8.1845 | < 0.01 | | | | |
| Médias (2 a 6) = | 9.5375 | 4.7038 | ns | Médias (6 a 8) = | 18.6225 | 9.1844 | < 0.01 | | | | |

Figura 5. Resultados das médias e do p-valor para o parâmetro DQO

ANOVA - Diferença entre as Médias

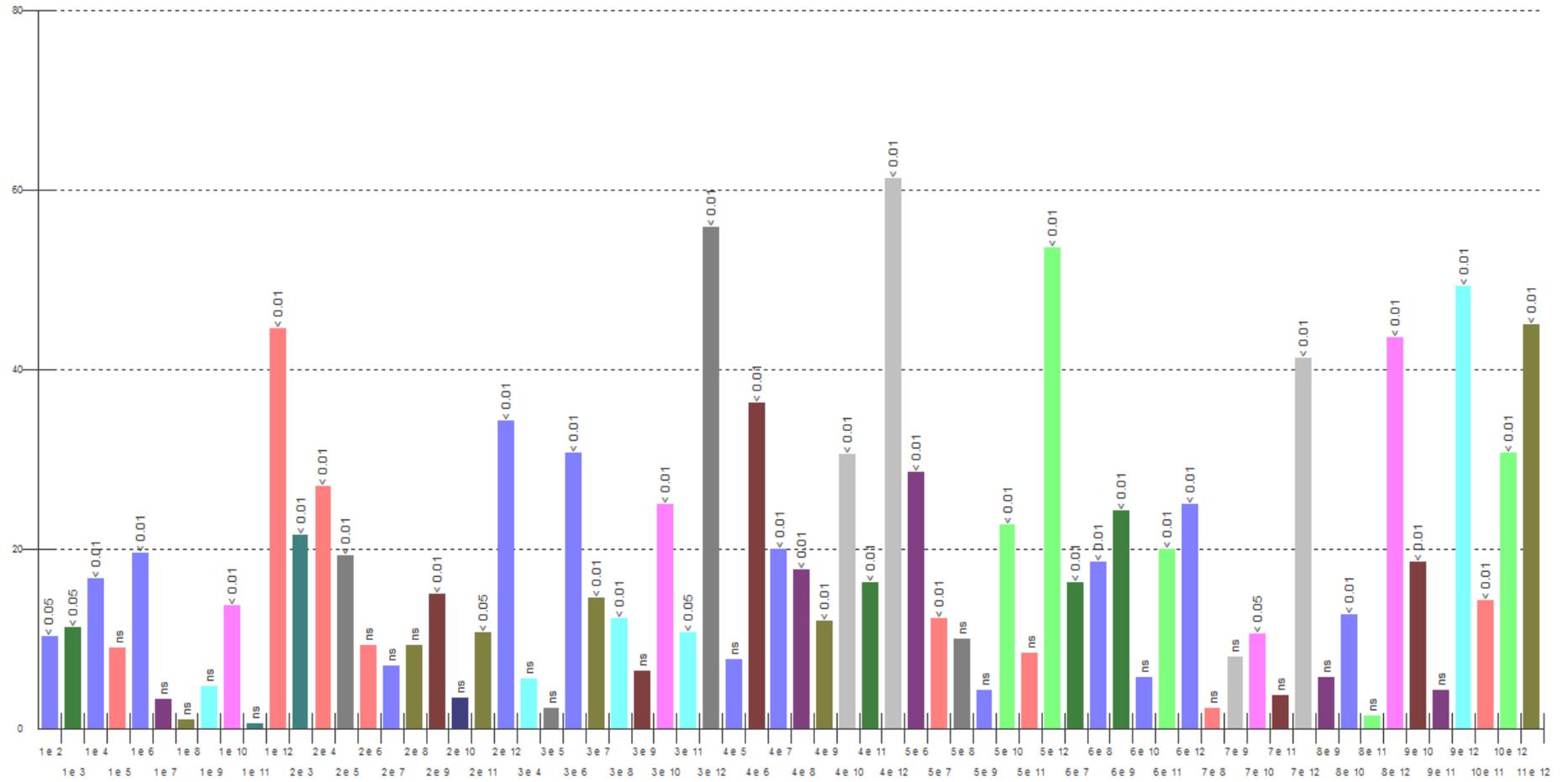


Figura 6. Gráfico do parâmetro DQO

| FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM | FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM | FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM |
|---------------------|----------|---------|--------|--------------------|---------|---------|--------|---------------------|--------|---------|--------|
| Tratamentos | 11 | 374.586 | 34.053 | Médias (2 a 7) = | 2.2550 | 3.1248 | ns | Médias (6 a 9) = | 4.2100 | 5.8338 | < 0.01 |
| Erro | 36 | 74.993 | 2.083 | Médias (2 a 8) = | 4.9750 | 6.8939 | < 0.01 | Médias (6 a 10) = | 5.8350 | 8.0856 | < 0.01 |
| F = | 16.3471 | | | Médias (2 a 9) = | 0.9175 | 1.2714 | ns | Médias (6 a 11) = | 8.8750 | 12.2982 | < 0.01 |
| (p) = | < 0.0001 | | | Médias (2 a 10) = | 0.7075 | 0.9804 | ns | Médias (6 a 12) = | 3.3100 | 4.5867 | ns |
| Média (Coluna 1) = | 67.2525 | | | Médias (2 a 11) = | 3.7475 | 5.1929 | < 0.05 | Médias (7 a 8) = | 7.2300 | 10.0187 | < 0.01 |
| Média (Coluna 2) = | 64.9200 | | | Médias (2 a 12) = | 1.8175 | 2.5185 | ns | Médias (7 a 9) = | 1.3375 | 1.8534 | ns |
| Média (Coluna 3) = | 63.7900 | | | Médias (3 a 4) = | 0.8125 | 1.1259 | ns | Médias (7 a 10) = | 2.9625 | 4.1052 | ns |
| Média (Coluna 4) = | 64.6025 | | | Médias (3 a 5) = | 2.4725 | 3.4262 | ns | Médias (7 a 11) = | 6.0025 | 8.3177 | < 0.01 |
| Média (Coluna 5) = | 61.3175 | | | Médias (3 a 6) = | 3.9975 | 5.5394 | < 0.05 | Médias (7 a 12) = | 0.4375 | 0.6062 | ns |
| Média (Coluna 6) = | 59.7925 | | | Médias (3 a 7) = | 1.1250 | 1.5589 | ns | Médias (8 a 9) = | 5.8925 | 8.1653 | < 0.01 |
| Média (Coluna 7) = | 62.6650 | | | Médias (3 a 8) = | 6.1050 | 8.4597 | < 0.01 | Médias (8 a 10) = | 4.2675 | 5.9135 | < 0.01 |
| Média (Coluna 8) = | 69.8950 | | | Médias (3 a 9) = | 0.2125 | 0.2945 | ns | Médias (8 a 11) = | 1.2275 | 1.7010 | ns |
| Média (Coluna 9) = | 64.0025 | | | Médias (3 a 10) = | 1.8375 | 2.5462 | ns | Médias (8 a 12) = | 6.7925 | 9.4124 | < 0.01 |
| Média (Coluna 10) = | 65.6275 | | | Médias (3 a 11) = | 4.8775 | 6.7588 | < 0.01 | Médias (9 a 10) = | 1.6250 | 2.2518 | ns |
| Média (Coluna 11) = | 68.6675 | | | Médias (3 a 12) = | 0.6875 | 0.9527 | ns | Médias (9 a 11) = | 4.6650 | 6.4643 | < 0.01 |
| Média (Coluna 12) = | 63.1025 | | | Médias (4 a 5) = | 3.2850 | 4.5520 | ns | Médias (9 a 12) = | 0.9000 | 1.2471 | ns |
| Tukey: Diferença | | Q | (p) | Médias (4 a 6) = | 4.8100 | 6.6653 | < 0.01 | Médias (10 a 11) = | 3.0400 | 4.2126 | ns |
| Médias (1 a 2) = | 2.3325 | 3.2322 | ns | Médias (4 a 7) = | 1.9375 | 2.6848 | ns | Médias (10 a 12) = | 2.5250 | 3.4989 | ns |
| Médias (1 a 3) = | 3.4625 | 4.7980 | ns | Médias (4 a 8) = | 5.2925 | 7.3339 | < 0.01 | Médias (11 a 12) = | 5.5650 | 7.7115 | < 0.01 |
| Médias (1 a 4) = | 2.6500 | 3.6721 | ns | Médias (4 a 9) = | 0.6000 | 0.8314 | ns | | | | |
| Médias (1 a 5) = | 5.9350 | 8.2242 | < 0.01 | Médias (4 a 10) = | 1.0250 | 1.4203 | ns | | | | |
| Médias (1 a 6) = | 7.4600 | 10.3374 | < 0.01 | Médias (4 a 11) = | 4.0650 | 5.6329 | < 0.05 | | | | |
| Médias (1 a 7) = | 4.5875 | 6.3569 | < 0.01 | Médias (4 a 12) = | 1.5000 | 2.0786 | ns | | | | |
| Médias (1 a 8) = | 2.6425 | 3.6617 | ns | Médias (5 a 6) = | 1.5250 | 2.1132 | ns | | | | |
| Médias (1 a 9) = | 3.2500 | 4.5035 | ns | Médias (5 a 7) = | 1.3475 | 1.8672 | ns | | | | |
| Médias (1 a 10) = | 1.6250 | 2.2518 | ns | Médias (5 a 8) = | 8.5775 | 11.8859 | < 0.01 | | | | |
| Médias (1 a 11) = | 1.4150 | 1.9608 | ns | Médias (5 a 9) = | 2.6850 | 3.7206 | ns | | | | |
| Médias (1 a 12) = | 4.1500 | 5.7507 | < 0.05 | Médias (5 a 10) = | 4.3100 | 5.9724 | < 0.01 | | | | |
| Médias (2 a 3) = | 1.1300 | 1.5658 | ns | Médias (5 a 11) = | 7.3500 | 10.1849 | < 0.01 | | | | |
| Médias (2 a 4) = | 0.3175 | 0.4400 | ns | Médias (5 a 12) = | 1.7850 | 2.4735 | ns | | | | |
| Médias (2 a 5) = | 3.6025 | 4.9920 | < 0.05 | Médias (6 a 7) = | 2.8725 | 3.9804 | ns | | | | |
| Médias (2 a 6) = | 5.1275 | 7.1052 | < 0.01 | Médias (6 a 8) = | 10.1025 | 13.9991 | < 0.01 | | | | |

Figura 7. Resultados das médias e do p-valor para o parâmetro sólidos suspensos

ANOVA - Diferença entre as Médias

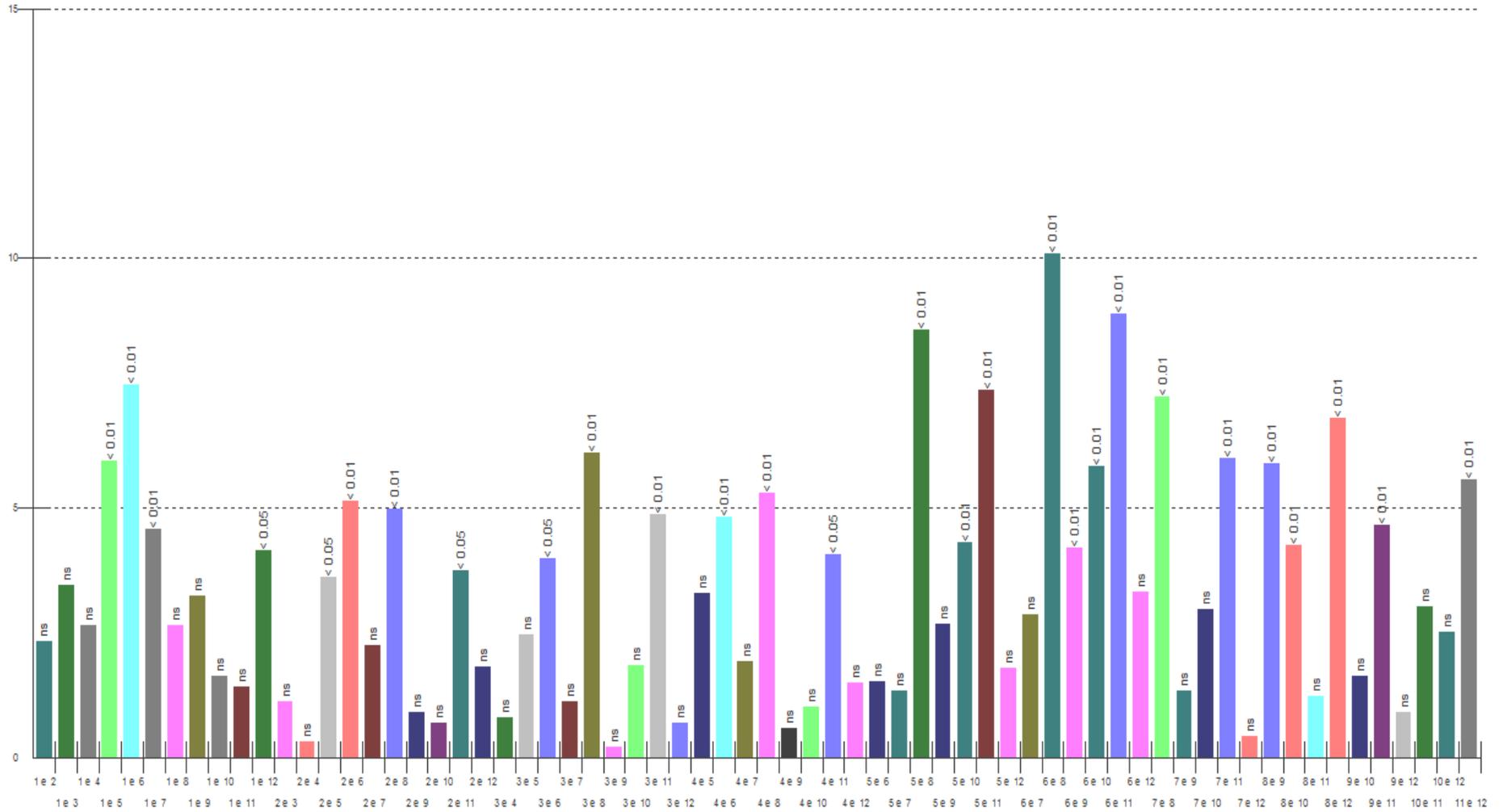


Figura 8. Gráfico do parâmetro sólidos suspensos

| FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM | FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM | FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|-----------|---------|--------|---------------------|----------|--------|--------|
| Tratamentos | 11 | 73.3 e+06 | 66.6 e+05 | Médias (2 a 7) = | 3667.0000 | 55.0432 | < 0.01 | Médias (6 a 9) = | 53.0000 | 0.7956 | ns |
| Erro | 36 | 63.9 e+04 | 17.8 e+03 | Médias (2 a 8) = | 3478.7500 | 52.2175 | < 0.01 | Médias (6 a 10) = | 349.5000 | 5.2461 | < 0.05 |
| F = | 375.0980 | | | Médias (2 a 9) = | 3401.2500 | 51.0542 | < 0.01 | Médias (6 a 11) = | 241.2500 | 3.6213 | ns |
| (p) = | < 0.0001 | | | Médias (2 a 10) = | 3803.7500 | 57.0959 | < 0.01 | Médias (6 a 12) = | 180.5000 | 2.7094 | ns |
| Média (Coluna 1) = | 6125.7500 | | | Médias (2 a 11) = | 3695.5000 | 55.4710 | < 0.01 | Médias (7 a 8) = | 188.2500 | 2.8257 | ns |
| Média (Coluna 2) = | 3002.2500 | | | Médias (2 a 12) = | 3273.7500 | 49.1404 | < 0.01 | Médias (7 a 9) = | 265.7500 | 3.9890 | ns |
| Média (Coluna 3) = | 3612.5000 | | | Médias (3 a 4) = | 1281.0000 | 19.2283 | < 0.01 | Médias (7 a 10) = | 136.7500 | 2.0527 | ns |
| Média (Coluna 4) = | 4893.5000 | | | Médias (3 a 5) = | 3043.2500 | 45.6805 | < 0.01 | Médias (7 a 11) = | 28.5000 | 0.4278 | ns |
| Média (Coluna 5) = | 6655.7500 | | | Médias (3 a 6) = | 2844.0000 | 42.6896 | < 0.01 | Médias (7 a 12) = | 393.2500 | 5.9028 | < 0.01 |
| Média (Coluna 6) = | 6456.5000 | | | Médias (3 a 7) = | 3056.7500 | 45.8831 | < 0.01 | Médias (8 a 9) = | 77.5000 | 1.1633 | ns |
| Média (Coluna 7) = | 6669.2500 | | | Médias (3 a 8) = | 2868.5000 | 43.0574 | < 0.01 | Médias (8 a 10) = | 325.0000 | 4.8784 | ns |
| Média (Coluna 8) = | 6481.0000 | | | Médias (3 a 9) = | 2791.0000 | 41.8941 | < 0.01 | Médias (8 a 11) = | 216.7500 | 3.2535 | ns |
| Média (Coluna 9) = | 6403.5000 | | | Médias (3 a 10) = | 3193.5000 | 47.9358 | < 0.01 | Médias (8 a 12) = | 205.0000 | 3.0771 | ns |
| Média (Coluna 10) = | 6806.0000 | | | Médias (3 a 11) = | 3085.2500 | 46.3109 | < 0.01 | Médias (9 a 10) = | 402.5000 | 6.0417 | < 0.01 |
| Média (Coluna 11) = | 6697.7500 | | | Médias (3 a 12) = | 2663.5000 | 39.9803 | < 0.01 | Médias (9 a 11) = | 294.2500 | 4.4168 | ns |
| Média (Coluna 12) = | 6276.0000 | | | Médias (4 a 5) = | 1762.2500 | 26.4521 | < 0.01 | Médias (9 a 12) = | 127.5000 | 1.9138 | ns |
| Tukey: Diferença | | Q | (p) | Médias (4 a 6) = | 1563.0000 | 23.4613 | < 0.01 | Médias (10 a 11) = | 108.2500 | 1.6249 | ns |
| Médias (1 a 2) = | 3123.5000 | 46.8850 | < 0.01 | Médias (4 a 7) = | 1775.7500 | 26.6548 | < 0.01 | Médias (10 a 12) = | 530.0000 | 7.9555 | < 0.01 |
| Médias (1 a 3) = | 2513.2500 | 37.7249 | < 0.01 | Médias (4 a 8) = | 1587.5000 | 23.8290 | < 0.01 | Médias (11 a 12) = | 421.7500 | 6.3306 | < 0.01 |
| Médias (1 a 4) = | 1232.2500 | 18.4966 | < 0.01 | Médias (4 a 9) = | 1510.0000 | 22.6657 | < 0.01 | | | | |
| Médias (1 a 5) = | 530.0000 | 7.9555 | < 0.01 | Médias (4 a 10) = | 1912.5000 | 28.7074 | < 0.01 | | | | |
| Médias (1 a 6) = | 330.7500 | 4.9647 | < 0.05 | Médias (4 a 11) = | 1804.2500 | 27.0826 | < 0.01 | | | | |
| Médias (1 a 7) = | 543.5000 | 8.1582 | < 0.01 | Médias (4 a 12) = | 1382.5000 | 20.7519 | < 0.01 | | | | |
| Médias (1 a 8) = | 355.2500 | 5.3325 | < 0.05 | Médias (5 a 6) = | 199.2500 | 2.9908 | ns | | | | |
| Médias (1 a 9) = | 277.7500 | 4.1691 | ns | Médias (5 a 7) = | 13.5000 | 0.2026 | ns | | | | |
| Médias (1 a 10) = | 680.2500 | 10.2108 | < 0.01 | Médias (5 a 8) = | 174.7500 | 2.6231 | ns | | | | |
| Médias (1 a 11) = | 572.0000 | 8.5860 | < 0.01 | Médias (5 a 9) = | 252.2500 | 3.7864 | ns | | | | |
| Médias (1 a 12) = | 150.2500 | 2.2553 | ns | Médias (5 a 10) = | 150.2500 | 2.2553 | ns | | | | |
| Médias (2 a 3) = | 610.2500 | 9.1601 | < 0.01 | Médias (5 a 11) = | 42.0000 | 0.6304 | ns | | | | |
| Médias (2 a 4) = | 1891.2500 | 28.3885 | < 0.01 | Médias (5 a 12) = | 379.7500 | 5.7002 | < 0.05 | | | | |
| Médias (2 a 5) = | 3653.5000 | 54.8406 | < 0.01 | Médias (6 a 7) = | 212.7500 | 3.1935 | ns | | | | |
| Médias (2 a 6) = | 3454.2500 | 51.8497 | < 0.01 | Médias (6 a 8) = | 24.5000 | 0.3678 | ns | | | | |

Figura 9. Resultados das médias e do p-valor para o parâmetro sólidos totais

ANOVA - Diferença entre as Médias

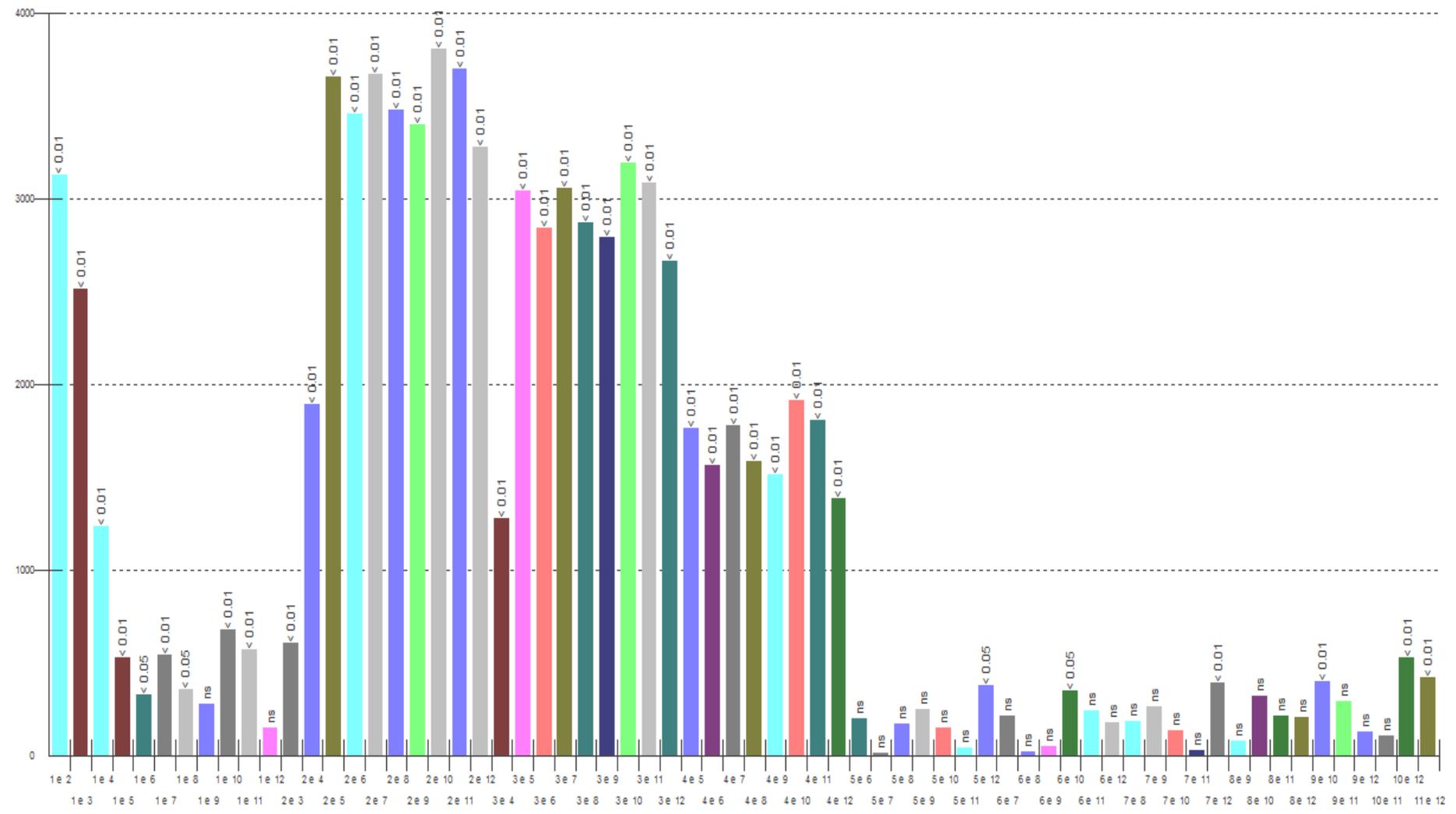


Figura 10. Gráfico do parâmetro sólidos totais

APÊNDICE F – Teste estatístico T entre as melhores dosagens de Tanino e PAC

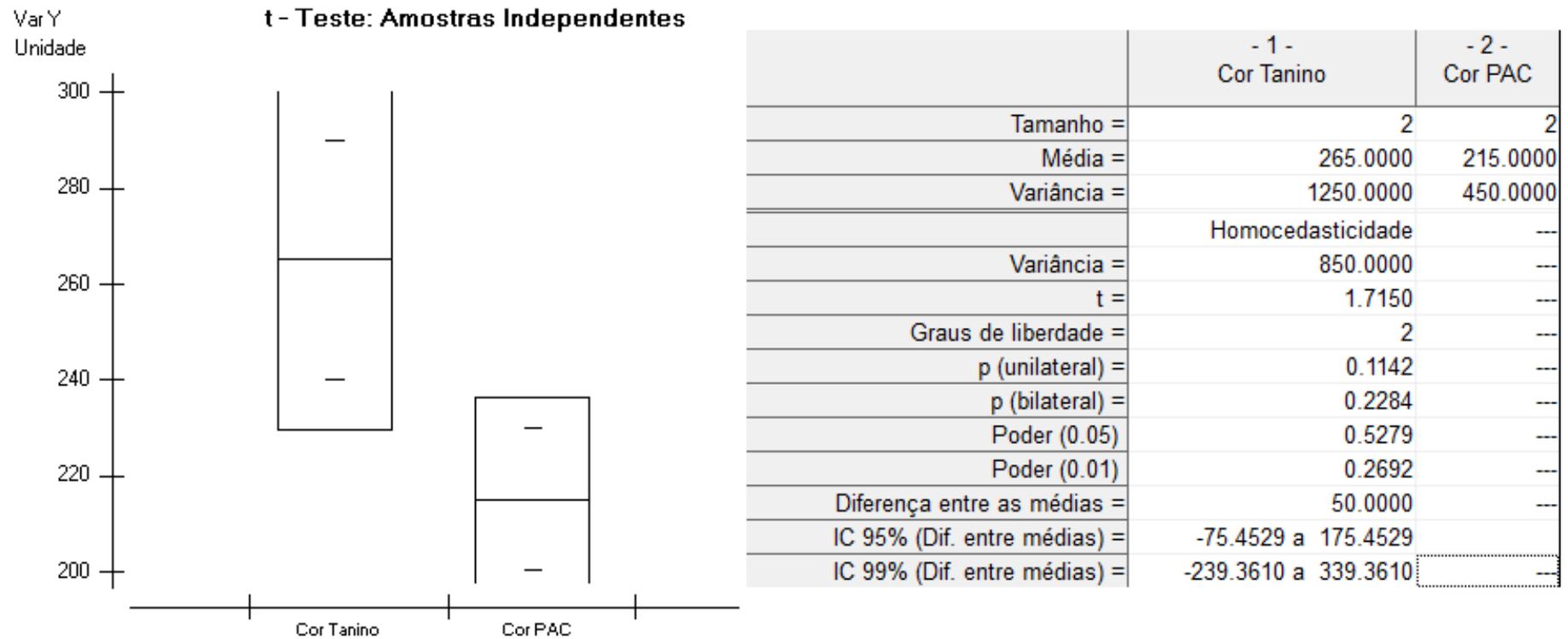
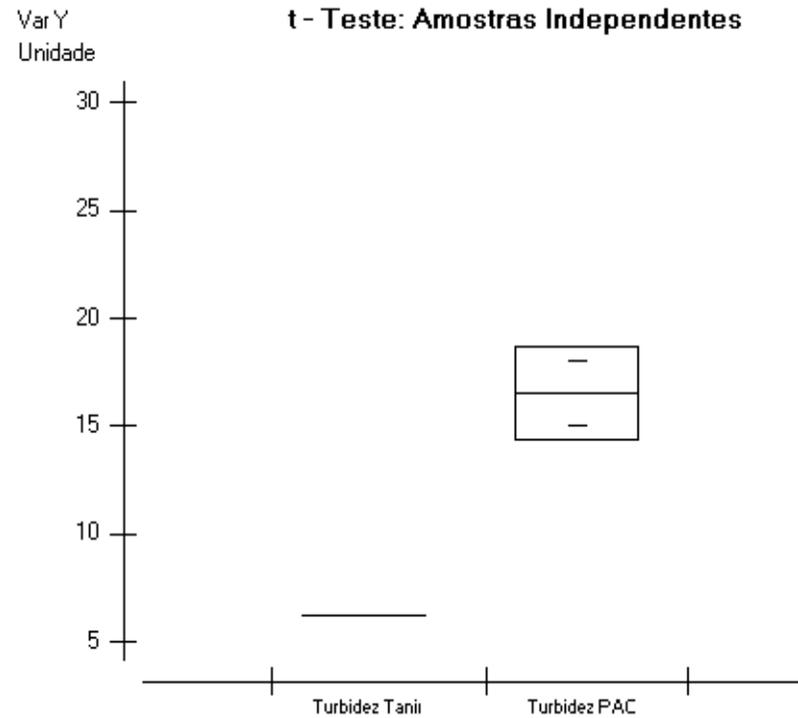


Figura 1. Resultados do parâmetro cor aparente

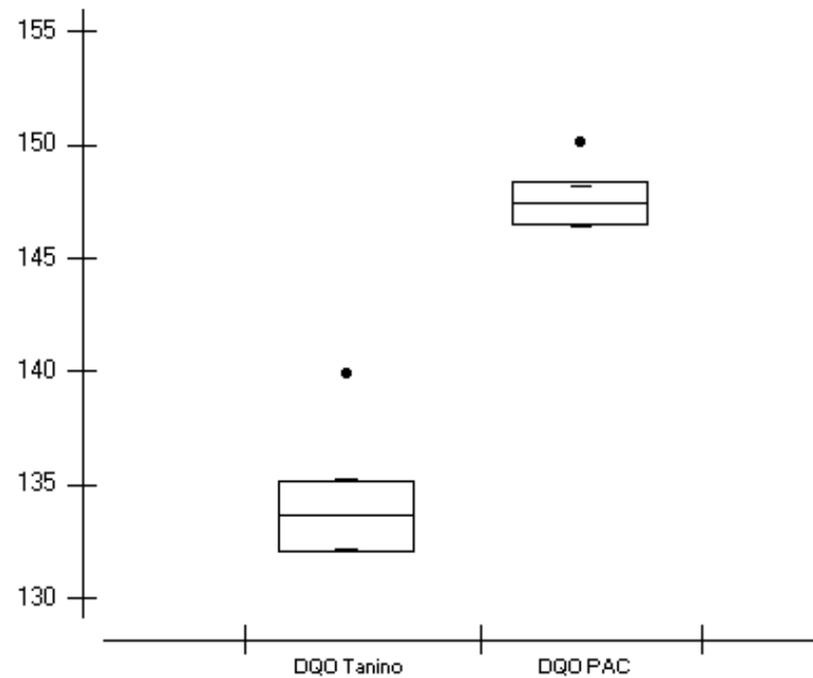


| | - 3 - Turbidez Tanino | - 4 - Turbidez PAC |
|------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Tamanho = | 2 | 2 |
| Média = | 6.1900 | 16.5000 |
| Variância = | 0.0002 | 4.5000 |
| | Heterocedasticidade | |
| Variância = | 2.2501 | --- |
| t = | -6.8732 | --- |
| Graus de liberdade = | 1.00 | --- |
| p (unilateral) = | 0.0460 | --- |
| p (bilateral) = | 0.0920 | --- |
| Poder (0.05) | 1.0000 | --- |
| Poder (0.01) | 1.0000 | --- |
| Diferença entre as médias = | -10.3100 | --- |
| IC 95% (Dif. entre médias) = | -10.3100 a - 10.3100 | --- |
| IC 99% (Dif. entre médias) = | -10.3100 a - 10.3100 | --- |

Figura 2. Resultados do parâmetro turbidez

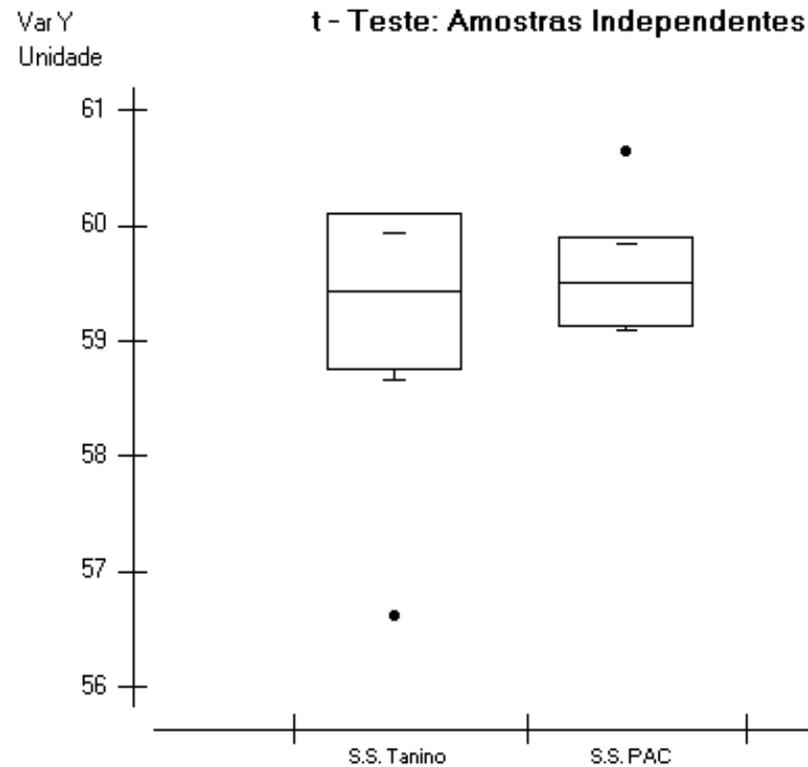
Var Y
Unidade

t - Teste: Amostras Independentes



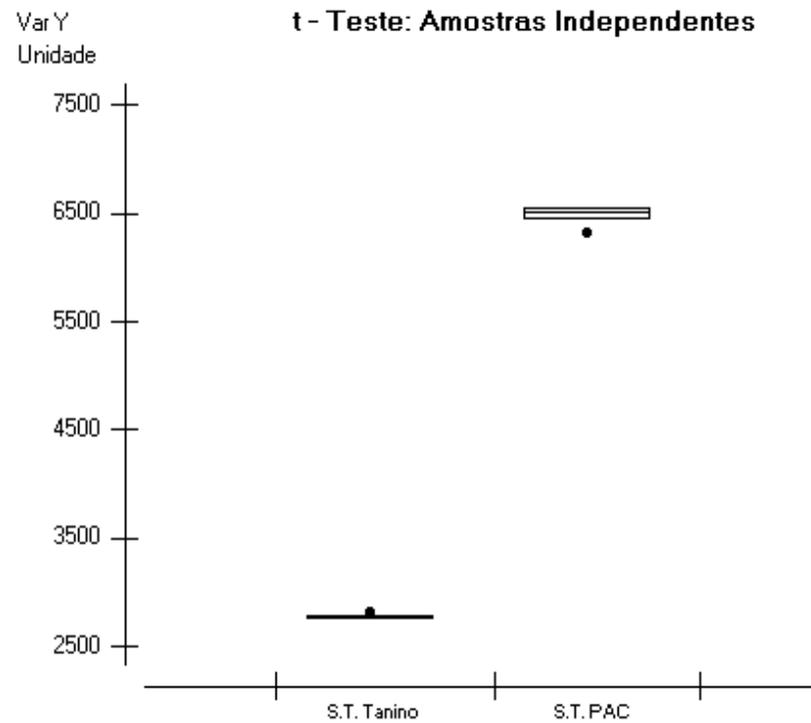
| | - 5 - DQO Tanino | - 6 - DQO PAC |
|------------------------------|---------------------|------------------|
| Tamanho = | 4 | 4 |
| Média = | 135.1725 | 148.0825 |
| Variância = | 11.4452 | 2.5238 |
| | Homocedasticidade | |
| Variância = | 6.9845 | --- |
| t = | -6.9083 | --- |
| Graus de liberdade = | 6 | --- |
| p (unilateral) = | 0.0002 | --- |
| p (bilateral) = | 0.0005 | --- |
| Poder (0.05) | 1.0000 | --- |
| Poder (0.01) | 1.0000 | --- |
| Diferença entre as médias = | -12.9100 | --- |
| IC 95% (Dif. entre médias) = | -17.4828 a - 8.3372 | --- |
| IC 99% (Dif. entre médias) = | -19.8375 a - 5.9825 | --- |

Figura 3. Resultados do parâmetro DQO



| | - 7 - S.S. Tanino | - 8 - S.S. PAC |
|------------------------------|----------------------|-------------------|
| Tamanho = | 4 | 4 |
| Média = | 58.7225 | 59.7925 |
| Variância = | 2.2733 | 0.4259 |
| | Homocedasticidade | |
| Variância = | 1.3496 | --- |
| t = | -1.3026 | --- |
| Graus de liberdade = | 6 | --- |
| p (unilateral) = | 0.1202 | --- |
| p (bilateral) = | 0.2404 | --- |
| Poder (0.05) | 0.3660 | --- |
| Poder (0.01) | 0.1510 | --- |
| Diferença entre as médias = | -1.0700 | --- |
| IC 95% (Dif. entre médias) = | -3.0801 a 0.9401 | --- |
| IC 99% (Dif. entre médias) = | -4.1152 a 1.9752 | --- |

Figura 4. Resultados do parâmetro sólidos suspensos



| | - 9 - S.T. Tanino | - 10 - S.T. PAC |
|------------------------------|--------------------------|--------------------|
| Tamanho = | 4 | 4 |
| Média = | 2775.0000 | 6456.5000 |
| Variância = | 700.0000 | 10445.6667 |
| | Homocedasticidade | |
| Variância = | 5572.8333 | --- |
| t = | -69.7432 | --- |
| Graus de liberdade = | 6 | --- |
| p (unilateral) = | < 0.0001 | --- |
| p (bilateral) = | < 0.0001 | --- |
| Poder (0.05) | 1.0000 | --- |
| Poder (0.01) | 1.0000 | --- |
| Diferença entre as médias = | -3681.5000 | --- |
| IC 95% (Dif. entre médias) = | -3810.6686 a - 3552.3314 | --- |
| IC 99% (Dif. entre médias) = | -3877.1796 a - 3485.8204 | --- |

Figura 5. Resultados do parâmetro sólidos totais

APÊNDICE G – Resultados do teor de fósforo gerados no lodo pós tratamento.

| Amostra | Leitura | Fp*10 | Fósforo (mg/dm³) | Fósforo (g/kg) |
|----------------|----------------|--------------|------------------------------------|-----------------------|
| 500 | 0,656 | 1,251 | 0,820656 | 8,21E-04 |
| 900 | 1,853 | 1,251 | 2,318103 | 2,32E-03 |
| 1100 | 2,021 | 1,251 | 2,528271 | 2,53E-03 |
| 1500 | 2,421 | 1,251 | 3,028671 | 3,03E-03 |
| 400 | 0,198 | 1,251 | 0,247698 | 2,48E-04 |
| 450 | 0,212 | 1,251 | 0,265212 | 2,65E-04 |
| 500 | 0,247 | 1,251 | 0,308997 | 3,09E-04 |
| 550 | 0,923 | 1,251 | 1,154673 | 1,15E-03 |
| 600 | 1,029 | 1,251 | 1,287279 | 1,29E-03 |
| 650 | 1,24 | 1,251 | 1,55124 | 1,55E-03 |
| 700 | 1,293 | 1,251 | 1,617543 | 1,62E-03 |
| 750 | 1,545 | 1,251 | 1,932795 | 1,93E-03 |
| 800 | 1,824 | 1,251 | 2,281824 | 2,28E-03 |
| 850 | 2,199 | 1,251 | 2,750949 | 2,75E-03 |
| 900 | 2,495 | 1,251 | 3,121245 | 3,12E-03 |
| 950 | 2,873 | 1,251 | 3,594123 | 3,59E-03 |