

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO, URBANISMO E AMBIENTE.

TAYLLA EVELLYN SCAPIM YAMAGUCHI

**APLICAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS NO TRATAMENTO DE
LIXIVIADO DE RESÍDUOS URBANOS**

PRESIDENTE PRUDENTE

2012

TAYLLA EVELLYN SCAPIM YAMAGUCHI

**APLICAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS NO TRATAMENTO DE
LIXIVIADO DE RESÍDUOS URBANOS**

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP – Campus de Presidente Prudente, como um dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina Rizk

PRESIDENTE PRUDENTE

2012



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Presidente Prudente

TERMO DE APROVAÇÃO

Taylla Evellyn Scapim Yamaguchi

"APLICAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE RESÍDUOS URBANOS"

Trabalho de graduação aprovado como um dos requisitos parciais para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências e Tecnologia, *campus* de Presidente Prudente – SP, pela seguinte banca examinadora:

Profa. Dra. Maria Cristina Rizk (Orientadora)

Profa. Dra. Encarnita Salas Martin

Prof. Msc. Márcio Rogério Pontes

Presidente Prudente, 29 de novembro de 2012.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em primeiro lugar à professora Cris, pela orientação, por sua compreensão e pela confiança que teve em meu trabalho.

Agradeço à Unesp, pela infraestrutura que viabilizou a realização deste trabalho e pelos professores de alto nível, que completaram minha formação em um curso de engenharia de excelência.

Agradeço também ao Vitor Amigo Vive, que me deu o apoio necessário nos experimentos e na redação e apresentação de trabalhos enquanto estive fora do país.

Por fim a todos os que participaram de alguma forma no desenvolvimento deste trabalho e àqueles que me apoiaram nos momentos cruciais destes cinco anos de graduação.

RESUMO

Com o constante aumento na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), decorrente principalmente dos altos padrões de consumo, torna-se cada vez mais difícil gerenciar corretamente os resíduos sólidos e, assim, minimizar seus impactos ao meio ambiente. Um dos principais problemas da grande quantidade de lixo gerada é o líquido percolado originado de processos físicos, químicos e biológicos da decomposição de resíduos orgânicos, com cor escura e forte odor, denominado lixiviado, também conhecido como chorume: este atinge o solo podendo poluir os aquíferos freáticos, além de ser um potencial poluidor das águas superficiais. Sendo assim, este trabalho objetivou estudar o processo de coagulação/floculação/sedimentação aplicado no tratamento do lixiviado gerado no lixão de Presidente Prudente, São Paulo. Para isso, foram utilizados os coagulantes naturais tanino vegetal, *Moringa oleifera* Lam e quitosana. Os testes foram realizados variando-se o pH e a dosagem de coagulante. Os resultados apontaram para uma boa eficiência na remoção de cor aparente na maior parte dos testes (maior que 70%), porém uma baixa remoção de DQO (menor que 50%), evidenciando a difícil tratabilidade deste resíduo líquido, bem como a necessidade de aprimorar e buscar novos processos de tratamento que alcancem maior eficiência. Ainda, os melhores resultados foram obtidos quando se utilizou o coagulante Tanfloc SL, que removeu mais de 41% de DQO na concentração de 1,56 g/L e pH 6,0. A segunda melhor eficiência de remoção de DQO foi encontrada quando se utilizou o coagulante quitosana que removeu 40,76% na concentração de 0,4 g/L e pH 4,0. No caso da cor aparente, o melhor resultado foi obtido quando se utilizou o coagulante Tanfloc SG, que removeu mais de 95% nas concentrações de 1,56; 1,68 e 1,92 g/L, todas no pH 6,0, resultado este seguido pelo coagulante Tanfloc SL, que alcançou eficiência de mais de 94% nas concentrações de 1,56 e 1,68 g/L também no pH 6,0.

Palavras-chave: lixiviado; coagulantes naturais; coagulação/floculação/sedimentação.

ABSTRACT

With the constant increase in the municipal solid waste (MSW) generation, mainly due to the high consumption patterns, it becomes difficult to manage correctly the solid waste and thus minimize their impact on the environment. One of the most problems of the large amount of waste generated is the liquid originated from physical, chemical and biological decomposition process of organic wastes, with dark color and bad smell, called leachate: it can reach the soil, polluting the groundwater and the surface water. Therefore, this study aimed to investigate the process of coagulation/flocculation/sedimentation applied in the treatment of the leachate generated in the not controlled landfill of Presidente Prudente, Sao Paulo. For this, it was used the natural coagulants: vegetal tannin, *Moringa oleifera* Lam and chitosan. Tests were carried out varying the pH and coagulant concentrations. The results showed a high efficiency in the apparent color removal in the majority of tests (greater than 70%), however a low COD removal (less than 50%), indicating the difficulty in the treatment of this liquid wastewater and the importance to find new treatment processes that reach greater efficiency. Also, the best results were obtained when it was used the coagulant Tanfloc SL, which has removed more than 41% of the COD in the concentration of 1.56 g/L and pH 6.0. The second best efficiency of COD removal was found when it was used the coagulant chitosan which removed 40.76% at a concentration of 0.4 g/L and pH 4.0. In the case of apparent color, the best result was obtained when it was used the coagulant Tanfloc SG, which removed more than 95% at concentrations of 1.56, 1.68 and 1.92 g/L, all at pH 6.0, this results were followed by coagulant Tanfloc SL, which reached efficiency of over 94% at concentrations of 1.56 and 1.68 g/L also at pH 6.0.

Keywords: leachate; natural coagulants; coagulation/flocculation/sedimentation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sementes da Moringa oleifera Lam	17
Figura 2 – Quitosana em pó e estrutura química da quitosana.....	18
Figura 3 – Acúmulo de lixiviado do lixão de Presidente Prudente	19
Figura 4 – Remoção de cor aparente com Tanfloc SL®.....	26
Figura 5 – Remoção de DQO com Tanfloc SL®	27
Figura 6 – Remoção de cor aparente com Tanfloc SG®	28
Figura 7 – Remoção de DQO com Tanfloc SG®	29
Figura 8 – Remoção de cor aparente com Moringa oleifera Lam	30
Figura 9 – Aumento da DQO com Moringa oleifera Lam.....	30
Figura 10 – Remoção de cor aparente com quitosana	32
Figura 11 – Remoção de DQO com quitosana	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições de tratamento para Tanfloc® SL e SG	23
Tabela 2 – Condições de tratamento para Moringa oleifera Lam	23
Tabela 3 – Condições de tratamento para Quitosana.....	24
Tabela 4 – Caracterização das amostras coletadas no lixão	25
Tabela 5 – Valores observados após o ajuste de pH do lixiviado bruto antes dos ensaios com Tanino SL	28
Tabela 6 – Valores observados após o ajuste de pH do lixiviado bruto antes dos ensaios com Tanino SG	29
Tabela 7 – Valores observados após o ajuste de pH do lixiviado bruto antes dos ensaios com Moringa oleifera Lam.....	31
Tabela 8 – Valores observados após o ajuste de pH do lixiviado bruto antes dos ensaios com Quitosana	33
Tabela 9 – Principais resultados obtidos no tratamento.....	34

ÍNDICE

1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	9
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 – RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	11
2.1.1 – Composição do lixiviado	11
2.2 – COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO	13
2.2.1 – Coagulantes naturais.....	15
2.2.1.1 – <i>Tanino Vegetal</i>	15
2.2.1.2 – <i>Moringa oleifera Lam</i>	16
2.2.1.3 – <i>Quitosana</i>	18
3 – METODOLOGIA	19
3.1 – COLETA DO LIXIVIADO.....	19
3.2 – CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA.....	20
3.3 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	20
3.3.1 – Ensaios de coagulação/floculação/sedimentação	22
3.3.1.1 – <i>Tanino</i>	22
3.3.1.2 – <i>Moringa oleifera Lam</i>	23
3.3.1.3 – <i>Quitosana</i>	24
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 – CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO	25
4.2 – TRATAMENTO DO LIXIVIADO.....	26
4.2.1 – Coagulante Tanfloc SL®	26
4.2.2 – Coagulante Tanfloc SG®	28
4.2.3 – Coagulante <i>Moringa oleifera Lam</i>	30
4.2.4 – Coagulante <i>Quitosana</i>	31
4.3 – MELHORES RESULTADOS OBTIDOS NOS TRATAMENTOS	33
5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
APÊNDICE 1	39

1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A disposição incorreta dos resíduos sólidos urbanos vem se tornando um sério problema em relação ao meio ambiente, uma vez que causa grande desequilíbrio à área onde são aterrados. A disposição inadequada dos resíduos sólidos pode promover a contaminação do solo, do ar e das águas superficiais e subterrâneas, além da proliferação de vetores de doenças (OLIVEIRA, 1999 *apud* ALCANTARA, 2010). Segundo Da Silva *et al.* (2011) tal disposição contribui para o desenvolvimento de agentes patogênicos, potenciais proliferadores de doenças às populações adjacentes às áreas de depósito.

Os principais subprodutos da decomposição dos resíduos orgânicos se apresentam nas formas de gás e líquido, sendo este último denominado lixiviado, ou, mais comumente, chorume. Segundo Kjeldsen (2002) *apud* Moraes (2006), o lixiviado pode apresentar várias composições, pois depende do tipo de resíduo originário, modo de disposição e agentes climáticos (chuva e temperatura). Genericamente possui alta carga orgânica, forte cor e odor, além de complexa composição química e microbiológica.

O impacto do lixiviado no meio ambiente está relacionado principalmente ao material de origem, podendo ser muitas vezes tóxico e conter metais pesados, que por sua vez se acumulam no ecossistema.

O sistema de tratamento físico-químico de coagulação/floculação/sedimentação com coagulantes naturais vêm sendo estudado no tratamento de diferentes tipos de águas residuárias e na obtenção de água potável, podendo assim ser empregado no tratamento do lixiviado.

Entre os coagulantes naturais mais utilizados, pode-se citar: *Moringa oleifera*, tanino vegetal e quitosana, além de casca de banana, casca de batata e quiabo.

Os coagulantes naturais têm o papel de adsorver as partículas ao redor, formando flocos, que posteriormente sedimentarão. Apresentam a vantagem de gerar menor quantidade de lodo, serem biodegradáveis e não tóxicos.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo principal realizar o tratamento do lixiviado gerado no lixão do município de Presidente Prudente – SP, por meio do processo de coagulação/floculação/sedimentação utilizando os coagulantes naturais tanino vegetal, *Moringa oleifera* Lam e quitosana. Para isso, os objetivos específicos do trabalho foram avaliar a eficiência de remoção das variáveis-resposta cor

aparente e demanda química de oxigênio (DQO), variando o potencial hidrogeniônico (pH) e a concentração de coagulantes.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Atualmente, a situação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil é um problema que está longe de ser resolvido. Apesar de haver uma melhora gradativa, a maioria dos municípios não tem recursos, sejam eles técnicos ou financeiros, para realizar uma correta disposição final em aterros sanitários, os quais possibilitam a captação do lixiviado gerado de maneira apropriada.

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), em 2010, mostrou que a produção de RSU cresceu 6,8% de 2009 para 2010, gerando-se em média 1,213 Kg/habitante/dia, sendo que a quantidade coletada foi de 1,079 Kg/habitante/dia e somente 57,6% do total dos RSU tiveram destinação adequada, o que representa ainda um grande volume de resíduos dispostos incorretamente no ambiente (42,4%).

Em São Paulo, a situação é relativamente melhor comparando-se ao restante do país. Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), em 2011 o estado possuía 82,8% dos municípios com uma disposição final de resíduos domiciliares adequada, de acordo com o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR). Entretanto, 3,6% dos municípios ainda não fazem a disposição final adequada de resíduos. O município de Presidente Prudente se situa neste grupo, com um dos piores valores de IQR do Estado – 5,5, numa escala de 0 a 10.

Segundo o levantamento da CETESB (2011), o município de Presidente Prudente gerou cerca de 120 toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos, o que representa um grande problema, caso tal quantidade não seja disposta corretamente.

2.1.1 – Composição do lixiviado

A composição do lixiviado é variada e complexa, geralmente apresenta grande quantidade de material orgânico e inorgânico, dependendo principalmente da idade do aterro. Kjeldsen *et al.* (2002) *apud* Nagashima (2009) apontam que a formação do lixiviado ocorre em fases, desde a disposição dos resíduos no aterro sanitário, até sua estabilização, sendo estas:

(1) fase aeróbia: durante alguns dias o oxigênio presente é consumido gerando CO_2 e resultando no aumento da temperatura interna das células;

(2) fase anaeróbia: o fato de o oxigênio ter sido consumido dá lugar à ação das bactérias anaeróbias. Nesta segunda fase, ocorre a hidrólise da matéria orgânica, sobretudo a biodegradação da celulose e hemicelulose (maiores constituintes da massa seca dos RSU);

(3) fase metanogênica inicial: a terceira fase tem início quando os compostos da fase anterior são consumidos pelas bactérias metanogênicas, estabelecendo o equilíbrio dinâmico entre a população de bactérias acetogênicas e metanogênicas. Devido ao consumo de substâncias ácidas, ocorre aumento no valor de pH e, ao mesmo tempo, tem-se início a redução na concentração de matéria orgânica e aumento da recalcitrância do lixiviado;

(4) fase de estabilização metanogênica: nesta fase a produção de metano é maximizada e estabilizada conforme a quantidade de substrato disponível diminui. A mesma pode durar dezenas de anos, sendo então aconselhável o monitoramento durante este período, onde poderá haver alguma geração de biogás.

Segundo Bassani (2010) em aterros mais jovens (fases 1 e 2), o lixiviado apresenta características mais ácidas, devido à presença de bactérias acidogênicas e acetogênicas. Tal acidez favorece a solubilização de materiais inorgânicos, e o aparecimento de maus odores (há liberação de alguns gases, como o sulfídrico), além de apresentar grande quantidade de material orgânico, relacionada principalmente à presença de ácidos graxos voláteis. Já nos aterros mais maduros (fases 3 e 4), a presença de bactérias metanogênicas faz com que os compostos orgânicos simples (formados nas fases iniciais do processo de degradação dos RSU) sejam transformados em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), sendo que o pH desta fase geralmente está próximo do neutro. Nas fases iniciais a quantidade de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5), Demanda química de oxigênio (DQO), nutrientes e metais pesados é consideravelmente maior do que a apresentada nas fases finais.

Comumente o lixiviado apresenta em sua composição: ácidos graxos voláteis, nutrientes, notadamente o nitrogênio na forma amoniacal e não estabilizada, metais pesados e poluentes orgânicos tóxicos persistentes (CASTILHOS JUNIOR, 2006).

O conhecimento a respeito da composição e da fase em que se encontra o lixiviado se mostra, portanto, de fundamental importância para a tomada de decisões a

respeito do tipo de tratamento a ser empregado, de maneira que os danos ambientais sejam minimizados no menor espaço de tempo possível.

Baun (2004) *apud* Rodrigues (2007) relata que devido à complexidade do lixiviado, sua composição global é determinada por meio de análises físicas, químicas e biológicas, sendo os principais parâmetros analisados: pH, DBO₅, DQO e alcalinidade, entre outros.

O pH do lixiviado pode variar de 4,5 a 9,0, sendo que em lixiviados de aterros jovens, ou com elevadas concentrações de ácidos voláteis, os lixiviados costumam apresentar pH mais baixos, e em lixiviados de aterros velhos ou com elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal, o pH tende a aumentar para faixas alcalinas (KJELDSEN, 2002 *apud* BASSANI, 2010). Ainda, segundo Lange *et al* (2010) *apud* Felici (2010), a relação DBO/DQO costuma ser mais alta (entre 0,5 e 0,8) em aterros mais jovens, enquanto que em aterros mais velhos a mesma relação apresenta normalmente valores menores (entre 0,04 e 0,08). Juntos, estes dois parâmetros fornecem subsídios básicos para o diagnóstico da situação de um local de depósito e seu respectivo lixiviado.

Nos lixiviados de aterro no Brasil, os valores de DQO podem atingir desde 198 a 80.000 mg O₂·L⁻¹ (SOUTO e POVINELLI, 2007 *apud* NAGASHIMA, 2009), sendo que este parâmetro diminui conforme sua idade aumenta (CHRISTENSEN *et al.*, 2001 *apud* MORAIS *et al.*, 2006). Para cor aparente, trabalhos como o de Nagashima (2009) apresentam valores de 320 a 1.600 mg PtCo/L e de 480 a 1.430 mg PtCo/L em Bassani (2010).

2.2 – COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO

Atualmente, os estudos a respeito de tratamentos de lixiviados vêm avançando cada vez mais, podendo ser eles físicos químicos ou biológicos.

Segundo Madrona (2010), entre os processos mais utilizados para esta finalidade pode-se citar: lagoas anaeróbias e lagoas facultativas; coagulação/floculação, sedimentação ou flotação; processos biológicos aeróbios ou anaeróbios; adsorção em carvão ativado; combinação de dois ou mais tipos de tratamento, entre outros.

Dentre os processos físico-químicos mais aplicados ao tratamento de efluentes podem-se citar os de coagulação/floculação e sedimentação. Este conjunto de processos

é responsável pela aglutinação de materiais coloidais em partículas de maior peso e volume, que por sua vez se tornam passíveis de sedimentação por ação da gravidade.

Queiroz *et al.* (2011) relatam que a escolha do tratamento mais adequado para o lixiviado deve levar em consideração suas características físico-químicas, as quais variam de acordo com espaço e tempo (aterros novos ou maduros). Além disso, outros aspectos podem ser levados em consideração, como a eficiência almejada e a disponibilidade de recursos técnicos e financeiros. Sendo assim, a escolha do agente coagulante deve igualmente seguir esta linha de pensamento.

De acordo com Silva (2002, p. 9):

“A coagulação é um processo muito utilizado por promover a clarificação de efluentes industriais contendo partículas coloidais e sólidas em suspensão. Este processo consiste na adição de agentes químicos para neutralizar as cargas elétricas das partículas, ocorrendo ligações químicas e absorção das cargas superficiais presentes, havendo necessidade de aplicação de elevada energia à mistura.”

Trata-se, portanto, de um tratamento cuja finalidade é aglomerar o material sólido em suspensão, de modo que as partículas formem flocos maiores passíveis de sedimentação, e, além disto, ajustar o pH para posteriores tratamentos do efluente.

O fenômeno de aglomeração ocorre pela neutralização de forças elétricas superficiais, anulação das forças repulsivas (coagulação) e aglomeração dos colóides “descarregados”, até a formação de flocos que sedimentam a uma velocidade adequada (GIRARD, 2009 *apud* BASSANI, 2010). Esta aglomeração é facilitada pela agitação suave, que auxilia no contato dos flocos, sem quebrá-los. Tal objetivo pode ser alcançado através da técnica do *jar test*.

No ensaio de *jar test*, a mistura rápida tem a função de homogeneizar o conteúdo, de modo que o agente coagulante seja uniformemente distribuído em toda a amostra, formando os primeiros flocos. Por sua vez, a mistura lenta tem como objetivo manter os flocos maiores em suspensão para que agreguem mais material, e se tornem ainda maiores, facilitando sua posterior sedimentação.

A eficiência deste processo depende de algumas variáveis, citando-se (MADRONA, 2010; MORAIS, 2003):

- Natureza e dosagem do coagulante;
- pH da amostra;
- Temperatura;

- Composição do material a ser tratado;
- Tempo e intensidade de agitação/mistura.

Em geral, para o tratamento de efluentes, utilizam-se coagulantes de origem química, como os sais de ferro ou de alumínio, devido ao fato de serem bastante conhecidos e terem bom desempenho como agentes coagulantes. Porém, por serem de natureza química, estas substâncias apresentam alguns inconvenientes: o lodo gerado pode conter metais pesados e é pouco biodegradável, dificultando seu tratamento/disposição final, além de ser gelatinoso e volumoso. Neste contexto, os coagulantes naturais surgem como alternativa para este tipo de tratamento.

2.2.1 – Coagulantes naturais

Aboulhssam *et al.* (2008) apontam os coagulantes naturais como polímeros que têm alcançado considerável importância no âmbito científico, sobretudo no tratamento de águas residuárias. Sabe-se que estes coagulantes são polieletrólitos (macromoléculas que apresentam cargas elétricas distribuídas ao longo da cadeia quando dissolvidas em solventes) que formam complexos com cátions metálicos e ânions, promovendo então a ligação entre colóides com o objetivo de formar flocos maiores e mais pesados.

Entre as principais vantagens destes polieletrólitos em relação aos coagulantes químicos tradicionais pode-se citar: não são tóxicos, não possuem metais pesados, são biodegradáveis e, segundo Konradt-Moraes (2009), produzem lodo em menor quantidade.

Deste modo os coagulantes naturais vêm sendo cada vez mais estudados e vêm apresentando sucesso no que diz respeito à sua aplicabilidade ao tratamento e/ou a disposição final do subproduto gerado (lodo).

2.2.1.1 – Tanino Vegetal

Dentre os vários coagulantes naturais conhecidos, destacam-se aqueles à base de taninos, especificamente o tanino derivado da Acácia Negra (*Acacia mearnsi*), espécie que no Brasil é encontrada mais ao sul do país, principalmente, no estado do Rio Grande do Sul, onde o tanino já é produzido em escala industrial e comercializado por algumas empresas. Os taninos são moléculas fenólicas, encontradas nas formas de

monômeros, oligômeros ou polímeros, que possuem a capacidade de formar complexos com proteínas e outras moléculas e minerais (NAGASHIMA, 2009).

Muitos estudos já utilizam o tanino como agente coagulante, tendo como variáveis de influência pH e dosagem de coagulante. Lange *et al.* (2006) e Vanacôr *et al.* (2007) relatam que a utilização do tanino no pré-tratamento visa aumentar a biodegradabilidade da matéria orgânica recalcitrante presente no efluente, para sua posterior remoção tornando tratamentos de natureza biológica mais econômicos. O tanino pode também ser aplicado no pós-tratamento, pois apresenta bons resultados para remoção de constituintes remanescentes do tratamento biológico.

Nos trabalhos realizados no aterro sanitário de Paranavaí/PR, Nagashima (2009) encontrou eficiência de 38% na remoção de DQO e 75% na remoção de cor aparente, enquanto Bassani (2010) encontrou 88% na remoção de cor aparente e ao contrário de outros trabalhos, constatou um aumento da DQO.

Nos estudos de tratamento de água, para obtenção de água potável, o tanino apresenta resultados muito satisfatórios: Piantá (2008) encontrou valores ótimos de remoção de cor e turbidez em um pH próximo do neutro (6,6), verificando que o tanino não altera o pH da água a ser tratada, além de produzir cerca de 15% a menos de lodo. Porém, este agente coagulante ainda apresenta um custo maior em relação ao coagulante químico mais difundido, o sulfato de alumínio: de 42 a 56% mais barato.

Gimenes (2009) mostrou que o Tanfloc SG®, dentre os taninos estudados no tratamento da vinhaça, foi o que obteve melhores resultados para remoção de DQO, cor e turbidez: 35; 92 e 99%, respectivamente, considerando o resultado excelente e de baixo custo para este tratamento.

2.2.1.2 – *Moringa oleifera* Lam

A *Moringa oleifera* Lam é uma planta nativa da Índia, mas que se desenvolve atualmente em vários países dos trópicos. É de fácil propagação, pois se adapta bem em vários tipos de solo e é tolerante à seca. Em idade adulta pode alcançar 12 m de altura, sendo que já no primeiro ano pode chegar a 4 m. No Brasil, o uso das sementes de *Moringa* é muito estudado no nordeste, no tratamento de águas para consumo humano, uma vez que o custo de aplicação é bastante inferior em relação aos coagulantes tradicionais. A seguir, a figura 1 mostra as sementes de *Moringa* com e sem casca.



Figura 1 – Sementes da *Moringa oleifera* Lam

Fonte: Bassani (2011)

Segundo Gallão (2006) *apud* Cardoso (2007) a proteína é o composto encontrado em maior quantidade nas sementes de *Moringa oleifera* Lam, em torno de 40%. Esta também apresenta um alto teor de lipídios nas sementes, em torno de 20%.

Em seu trabalho com o tratamento de água, Girardi (2007, p. 21) relata que o agente coagulante e floculante encontrado na *Moringa oleifera* Lam é uma proteína catiônica, de peso molecular que varia de 12000 a 14000 Daltons, sendo que:

“As macromoléculas da proteína como qualquer polieletrólito catiônico, quando colocadas em contato com as impurezas da água, se ionizam formando entidades hidrolisadas que provocam a desestabilização das partículas do material que está disperso nela e consequentemente o desequilíbrio eletrocinético da solução. A medida que vão se aproximando, devido ao movimento Browniano das partículas, se atraem mutuamente, alcançando novamente a estabilização de todos os sólidos que estão no seio da água em tratamento, atingindo um novo equilíbrio da solução, caracterizando a estabilização estérica.”

Estudos de Ndabigengesere e Narasiah (1998), mostram que a utilização de *Moringa oleifera* Lam como coagulante/floculante se mostrou eficiente quanto à remoção de cor, além de não alterar o pH nem a qualidade da água, porém, em relação à matéria orgânica, verificou-se que sua concentração aumentou consideravelmente com a dose de solução de *Moringa*.

Apesar da gama de aplicações e vantagens do uso da *Moringa oleifera* Lam, poucos trabalhos são encontrados no que diz respeito a tratamento de efluentes.

2.2.1.3 – Quitosana

Segundo Canella (2001) *apud* De Quadros (2005), a quitosana é um biopolímero derivado da quitina, a qual é encontrada em abundância na natureza principalmente na carapaça de crustáceos. Giradi (2007) relata que a quitosana é insolúvel em água, bases, álcool e acetona, sendo solúvel apenas em soluções de ácidos acético, nítrico, tartárico, clorídrico, perclórico, ou fosfórico, depois de longo tempo de agitação e, algumas vezes, sob aquecimento.

No Brasil, alguns trabalhos como o de Schmidt *et al.* (2006), estudam a viabilidade de produção da quitosana em escala piloto, visto que a produção em larga escala já acontece em alguns países. Pode-se ver na figura 2 o pó de quitosana pronto para uso, assim como sua estrutura química.

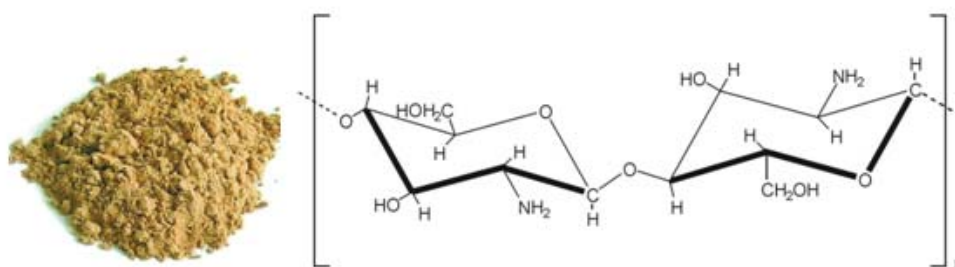


Figura 2 – Quitosana em pó e estrutura química da quitosana

Fonte: <http://quitosana.zip.net/>

Por possuir uma alta densidade de cargas positivas, a quitosana atrai e se liga aos lipídeos como uma “esponja”. Conhecida como um bioadsorvente, ela remove íons metálicos tóxicos, corantes e compostos orgânicos e é utilizada nos processos de tratamento de efluentes industriais como coagulante e floculante (GIRARDI, 2007).

Alguns estudos já testaram a quitosana como coagulante natural no tratamento de águas de abastecimento (principalmente) e vinhaça. Moraes (2005) menciona que o coagulante quitosana atua melhor em pH ácido, o que consiste em um potencial obstáculo à sua aplicação no tratamento de lixiviado, uma vez que este geralmente apresenta pH básico, em torno de 8,0.

3 – METODOLOGIA

3.1 – COLETA DO LIXIVIADO

O lixiviado utilizado na pesquisa foi coletado no lixão de Presidente Prudente – São Paulo, num ponto de acúmulo de lixiviado que existe na área (Figura 3).



Figura 3 – Acúmulo de lixiviado do lixão de Presidente Prudente

O lixão ocupa uma área de 15 hectares e está localizado ao lado no Núcleo Industrial Poluente (NIP) “Antônio Crepaldi”. O mesmo não conta com nenhuma instalação de tratamento de lixiviado. Quando há ocorrência de chuvas o lixiviado escoar a partir das laterais das camadas de lixo por ação da gravidade, formando uma lagoa no ponto mais baixo sem alguma proteção quanto à impermeabilização do solo.

Observa-se que na área de depósito de resíduos urbanos existe um córrego que passa pelo local, e a probabilidade de ocorrer ou de já ter ocorrido algum tipo de contaminação do mesmo e das águas da região, é muito grande.

Foram realizadas duas coletas distintas de lixiviado, com o auxílio de baldes, em diferentes pontos da lagoa. As amostras foram armazenadas em galões de polietileno de cinco litros, sob refrigeração abaixo de 10°C, pois segundo Rodrigues (2007) esta temperatura é suficiente para manter as características da amostra.

As duas coletas realizadas foram precedidas de precipitações pluviométricas, o que pode influenciar na caracterização da amostra em função de uma provável diluição do lixiviado.

3.2 – CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

As amostras foram caracterizadas em termos de pH, cor e DQO, segundo os procedimentos descritos a seguir.

- pH: O pH foi determinado pelo método potenciométrico com auxílio de um pHmetro da marca HANNA® modelo HI 254, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0.
- Cor aparente: A determinação da cor aparente foi realizada com o auxílio do medidor de cor da marca HANNA® modelo HI 93727, que utiliza o método platina cobalto, padrão para a medição da cor. Para calibração do aparelho utilizou-se água destilada.
- DQO: A DQO foi determinada segundo a metodologia (método colorimétrico) descrita pelo *Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater* (APHA, 1998). Os equipamentos utilizados foram: reator de DQO da marca HANNA® modelo HI 839800 para a digestão das amostras, e espectrofotômetro da marca FEMTO® modelo 700 plus, para a leitura de absorbância.

3.3 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos de coagulação/floculação/sedimentação foram realizados em equipamento *jar-test* simples de seis provas, com regulador de rotação das hastes misturadoras, em temperatura ambiente. Os testes consistiram na adição de diferentes dosagens de coagulantes em uma amostra (500 mL) de lixiviado, com pH previamente calibrado (com solução 1% de HCl para diminuir o pH, ou NaOH para aumentá-lo), em béqueres de prova. A partir da adição do coagulante as amostras foram sujeitas a agitação rápida por um período definido (mistura rápida), após este período as amostras foram agitadas mais lentamente (mistura lenta), também por um período definido. Os tempos de cada mistura, bem como o tempo de sedimentação, foram determinados de acordo com o uso de cada coagulante testado.

Após a ação dos agentes coagulantes/floculantes e da sedimentação, coletou-se o sobrenadante, cerca de 25 mL, que foi, por sua vez, analisado em termos de DQO e cor aparente.

Todos os ensaios foram replicados, e seus resultados foram lidos em duplicata, obtendo-se assim, quatro resultados para cada combinação de pH e dosagem de coagulante.

Os resultados foram então analisados estatisticamente pelo método ANOVA – análise de variância com dois fatores: pH e dosagem de coagulante (Apêndice 1). Trabalhou-se com uma probabilidade de erro de 5% para avaliar a influência destas duas variáveis na eficiência de remoção de cor e DQO.

Para a utilização do coagulante tanino, os valores de pH testados foram: 5,0; 6,0; 7,0 e 8,0. No caso da *Moringa oleifera* Lam, foram testados os valores de pH 6,0; 7,0 e 8,0, e para o coagulante quitosana foram testados os valores de pH 3,0; 4,0 e 5,0. Segundo o fabricante do Tanfloc® e a literatura disponível, o tanino e a *Moringa oleifera* Lam têm melhor ação em pH neutro, enquanto que a quitosana age melhor em condições ácidas.

As amostras de tanino foram fornecidas pela empresa TANAC® em duas versões: SG® e SL®, sendo estas também utilizadas por Nagashima (2009) e Piantá (2008).

Foram utilizadas soluções a 10% (v/v) preparadas em balão volumétrico de 100 mL, onde se adicionou 10 mL de Tanfloc®, completando-se o volume com água destilada. Segundo Bassani (2010) essa diluição se faz necessária devido à alta viscosidade e densidade do Tanfloc® que é de 1,2 g/cm³, que convertida para litros fica igual a 1.200 g/L. A fim de manter todos os experimentos e resultados no mesmo padrão de medidas, converteu-se as concentrações do Tanfloc® de mL/L para g/L.

As sementes de *Moringa oleifera* Lam foram cedidas pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), sendo que para o preparo da solução coagulante as sementes foram descascadas e trituradas no mesmo dia da preparação da solução, para que não se perdessem as propriedades de coagulação. Foram testadas várias concentrações de *Moringa* até atingir a melhor solução para o tratamento do lixiviado. A concentração da solução coagulante é dada por gramas de *Moringa oleifera* Lam adicionados a 100 mL de água destilada. No caso, a solução utilizada foi de 15% (m/v), pesou-se 15g de *Moringa oleifera* descascada e triturada, posteriormente adicionou-se 100 mL de água destilada, esta mistura foi mantida em agitação constante (45 rpm)

durante 30 minutos. Em seguida, filtrou-se a solução e utilizou-se somente o filtrado para os testes.

O coagulante natural quitosana na forma de pó também foi cedido pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Várias soluções de quitosana foram testadas até atingir a melhor condição para o tratamento do lixiviado onde se optou pela quitosana em pó, uma vez que a concentração da mesma diluída em ácido clorídrico 1% (v/v), necessária para obter bons resultados, era muito alta, cerca de 4% (m/v), o que dificultou o manuseio da solução. A quitosana foi então pesada e adicionada diretamente na amostra de lixiviado. A concentração da solução é dada em gramas de quitosana por litro de lixiviado (g/L).

3.3.1 – Ensaios de coagulação/floculação/sedimentação

Para os três tipos de coagulante foram testadas várias faixas de pH e dosagem de solução coagulante até chegar nas condições ótimas.

3.3.1.1 – Tanino

Nos ensaios preliminares com o tanino, testou-se a eficiência do Tanfloc SL® puro e diluído em solução de 10%, além disso, verificou-se a possível eficiência do produto no pH mais baixo, 4,0, e no pH intermediário, 6,0. Estes testes serviram para que pH e dosagens ineficientes pudessem ser eliminados do estudo, ou seja, a partir dos melhores resultados, novos ensaios foram realizados, restringindo-se a faixa de dosagem e pH. A faixa de dosagem de coagulante a ser empregada foi baseada em Bassani (2010), cujas dosagens foram 3,6; 6,0 e 12 g/L.

Sendo assim as dosagens escolhidas inicialmente para este trabalho foram de 1,8; 2,4; 3,6; 4,8; 6,0; 9,0 e 12,0 g/L. Para a escolha da melhor faixa de pH foi levado em consideração o fato do produto ter efetividade na faixa de pH de 4,5 a 8,0, segundo a empresa fornecedora e, segundo também, o estudo de Nagashima (2009). Deste modo, considerou-se inicialmente a faixa de pH de 4,0 a 8,0.

Após os ensaios preliminares, foram eliminadas condições que apresentaram resultados ineficazes e novos experimentos foram realizados estudando-se as faixas apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Condições de tratamento para Tanfloc® SL e SG

Parâmetro	Condições Preliminares	Condições de tratamento
Faixa ótima de dosagem de coagulante (g/L)	1,8 a 12	1,44; 1,56; 1,68; 1,80 e 1,92
Faixa ótima de pH	4,0 a 8,0	5,0; 6,0; 7,0 e 8,0
Tempo de mistura rápida (120 rpm)	20 segundos	20 segundos
Tempo de mistura lenta (45 rpm)	20 minutos	20 minutos
Tempo de sedimentação	15 a 30 minutos	15 a 30 minutos

3.3.1.2 – *Moringa oleifera* Lam

Para a *Moringa oleifera* Lam, inicialmente testou-se diferentes concentrações da solução coagulante, no caso 5% e 10%, onde foi verificada a baixa eficiência de ambas, optando-se então por aumentar tal concentração para 15%.

A princípio, as dosagens de solução de *Moringa* 15% testadas foram 4,5; 7,5 e 15 g/L. Os valores de pH estudados foram 6,0; 7,0 e 8,0, que se enquadram na faixa de valores neutros. Com isso, verificou-se que os melhores resultados apontaram para as dosagens entre 7,5 e 15 g/L. Novas faixas foram portanto estudadas de acordo com os valores apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Condições de tratamento para *Moringa oleifera* Lam

Parâmetro	Condições Preliminares	Condições de tratamento
Faixa ótima de dosagem de coagulante (g/L)	4,5 a 15	9,0; 10,5 e 12
Faixa ótima de pH	6,0 a 8,0	6,0; 7,0 e 8,0
Tempo de mistura rápida (120 rpm)	20 segundos	20 segundos
Tempo de mistura lenta (45 rpm)	20 minutos	20 minutos
Tempo de sedimentação	15 a 30 minutos	15 a 30 minutos

3.3.1.3 – Quitosana

No caso da quitosana, as faixas de pH e dosagem de coagulante foram baseadas no trabalho de Girardi (2007) para tratamento de vinhaça, onde foi observada uma boa ação deste coagulante em baixos valores de pH (em torno de 4,0).

Inicialmente, testou-se a quitosana em solução ácida (soluções de 2% e 4%), porém, como não se obteve nenhum resultado satisfatório de remoção, optou-se por sua utilização em pó, uma vez que soluções mais concentradas se tornariam inviáveis de manusear. Com isso, adicionou-se ao lixiviado a quantidade de quitosana correspondente à concentração de 4%. As faixas testadas se encontram na tabela 3.

Tabela 3 – Condições de tratamento para Quitosana

Parâmetro	Condições Preliminares	Condições de tratamento
Faixa ótima de dosagem de coagulante (g/L)	0,2 a 1,6	0,4; 0,8 e 1,2
Faixa ótima de pH	3,0 a 5,0	3,0; 4,0 e 5,0
Tempo de mistura rápida (120 rpm)	20 segundos	1 minuto
Tempo de mistura lenta (45 rpm)	20 minutos	20 minutos
Tempo de sedimentação	15 a 30 minutos	15 a 30 minutos

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO

Os valores de pH, cor aparente e DQO obtidos na caracterização das duas amostras de lixiviado estão apresentados nas Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização das amostras coletadas no lixão

Parâmetros	Lixiviado coleta 1	Lixiviado coleta 2
pH	8,4	8,3
Cor aparente (mg PtCo.L ⁻¹)	1300	2664,84
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	492,96	1577,33

Devido ao pH da amostra bruta estar em torno de 8,0, observa-se uma tendência em classificar o lixiviado como sendo de aterro maduro, uma vez que estes valores de pH estão dentro da faixa encontrada por Bassani (2010) que varia de 5 a 9, e se encontram um pouco abaixo dos encontrados por Nagashima (2009), que foram superiores a 8,4, inclusive.

É importante ressaltar que a cada ensaio, mediu-se novamente o pH do lixiviado bruto, antes do ajuste para o pH desejado, para fins de monitoramento.

Mediu-se também a cor aparente, sendo que os valores variaram de 1000 a 2000 mg de PtCo.L⁻¹ na coleta 1, enquanto a variação obtida na coleta 2 foi de 2200 a 3900 mg de PtCo.L⁻¹, identificando-se assim um significativo aumento do parâmetro. Não há muitos estudos a respeito da influência da cor aparente na identificação do tempo de vida de um aterro.

Verificou-se que o valor de DQO do lixiviado bruto da coleta 1 variou entre 450,37 e 1696 mg de O₂.L⁻¹, sendo a média de aproximadamente 598 mg de O₂.L⁻¹, conferindo assim, característica de aterro maduro (LO (1996) *apud* PACHECO (2004)). Em situação oposta, a DQO do lixiviado da coleta 2 variou de 1210,67 a 2144 mg de O₂.L⁻¹, sendo a média de 1562,55, valor relativamente alto que pode significar uma possível recalcitrância do material.

Vale ressaltar que os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação utilizando o Tanfloc SL® e o Tanfloc SG® foram realizados com o lixiviado da coleta 1 e que os

ensaios de coagulação/floculação/sedimentação utilizando a *Moringa oleifera* Lam e a quitosana foram realizados com o lixiviado da coleta 2, conferindo então a possibilidade de encontrar diferentes resultados de eficiência de remoção dos parâmetros analisados, em função de variações das características iniciais do lixiviado testado.

4.2 – TRATAMENTO DO LIXIVIADO

Após definir as faixas de dosagem de cada coagulante a ser empregado, procedeu-se ao tratamento do lixiviado com os dois tipos de tanino, a solução de moringa e a quitosana em pó, levando-se em consideração os parâmetros-controle pré-definidos (tempo de mistura rápida, tempo de mistura lenta e sedimentação). Os resultados obtidos estão discutidos a seguir.

4.2.1 – Coagulante Tanfloc SL®

As figuras 4 e 5 apresentam, respectivamente, a remoção de cor aparente e DQO com Tanfloc SL® de acordo com as diferentes dosagens de coagulante e diferentes faixas de pH.

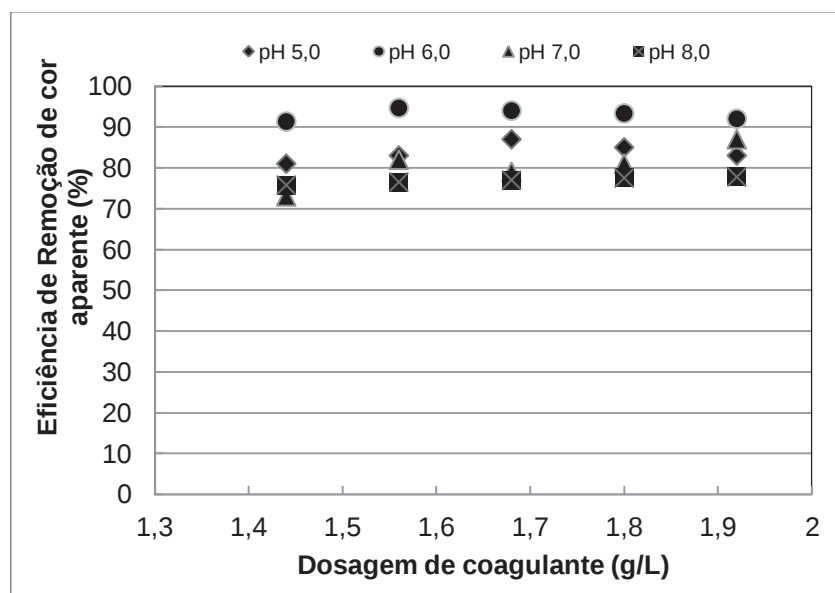


Figura 4 – Remoção de cor aparente com Tanfloc SL®

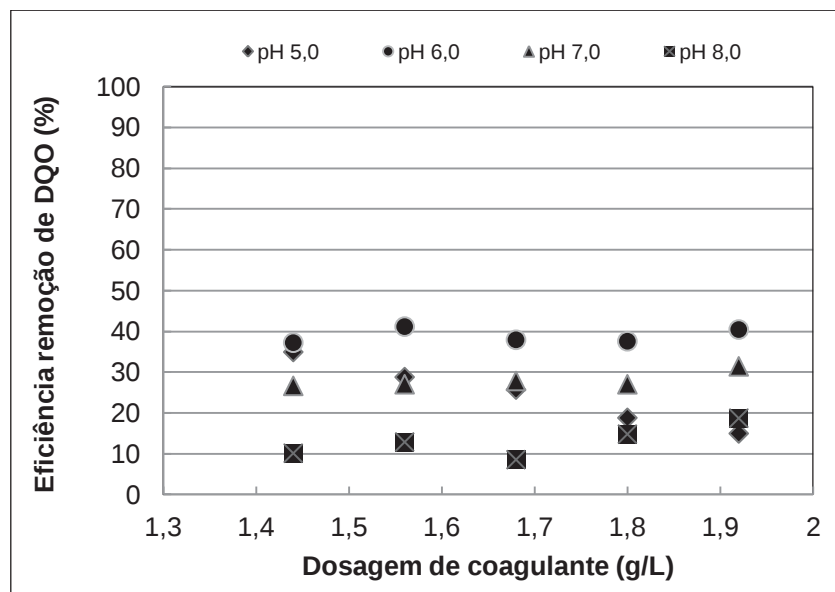


Figura 5 – Remoção de DQO com Tanfloc SL®

Segundo a análise estatística ANOVA para a remoção de cor aparente e DQO, a influência do pH e da concentração do coagulante Tanfloc SL® foi significativa ($p < 0,05$), ou seja, existe diferença entre os tratamentos.

Observa-se que para ambos os parâmetros resposta, a dosagem 1,56 g/L no pH 6,0 foi aquela que apresentou maior eficiência de remoção (94,67% e 41,19% para cor aparente e DQO, respectivamente). Os resultados em 1,44 g/L, no mesmo pH (6,0), foram próximos, porém como existe diferença estatística significativa em relação à concentração de 1,56 g/L, considera-se esta a mais indicada para o tratamento.

Verifica-se ainda, que o pH 8,0 foi aquele que apresentou os piores desempenhos (75,75% e 8,58%, para cor aparente e DQO, respectivamente). Como o pH 8,0 é o mais próximo ao da amostra bruta, observa-se que um tratamento *in natura* do lixiviado apresentaria limitações, caracterizando assim a necessidade de um ajuste prévio de pH.

Após o ajuste de pH da amostra bruta de lixiviado, pôde-se observar que houve variação nos valores iniciais de cor aparente e DQO, conforme está apresentado na Tabela 5, onde não houve aumento ou diminuição constante destes valores. Tal fato pode ser justificado pela possibilidade de dissociação de compostos que conferem cor ao lixiviado e a alguma reação química com a matéria orgânica presente na amostra.

Tabela 5 – Valores observados após o ajuste de pH do lixiviado bruto antes dos ensaios com Tanino SL

pH	Cor aparente (mg de PtCo/L)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)
5,0	1000	481,85
6,0	1500	517,037
7,0	1000	465,18
8,0	1875	474,44

4.2.2 – Coagulante Tanfloc SG®

As figuras 6 e 7 apresentam, respectivamente, a remoção de cor aparente e DQO com Tanfloc SG® de acordo com as diferentes dosagens de coagulante e diferentes faixas de pH.

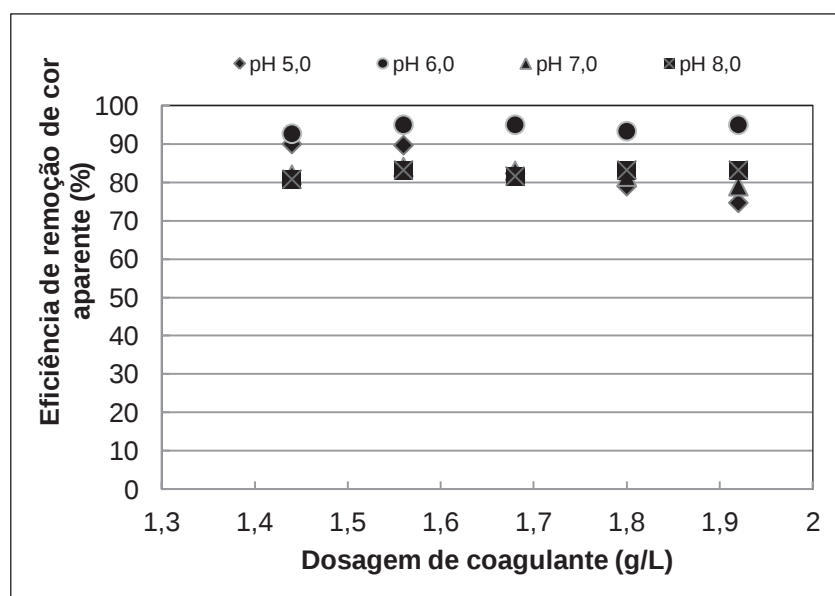


Figura 6 – Remoção de cor aparente com Tanfloc SG®

Considerando os resultados de remoção a partir do Tanfloc SG®, a análise estatística também demonstrou que a influência do pH e da dosagem de coagulante sobre a remoção dos parâmetros cor aparente e DQO foi significativa ($p < 0,05$), ou seja, existe diferença entre os tratamentos.

Observa-se que para a remoção de cor aparente, o melhor resultado foi obtido na dosagem de 1,68 g/L na faixa de pH 6,0. Contudo, o resultado em 1,56 g/L apresenta-se muito próximo.

No caso da remoção de DQO, o melhor resultado foi de 37,7%, obtido na dosagem de 1,44 g/L no pH 5,0.

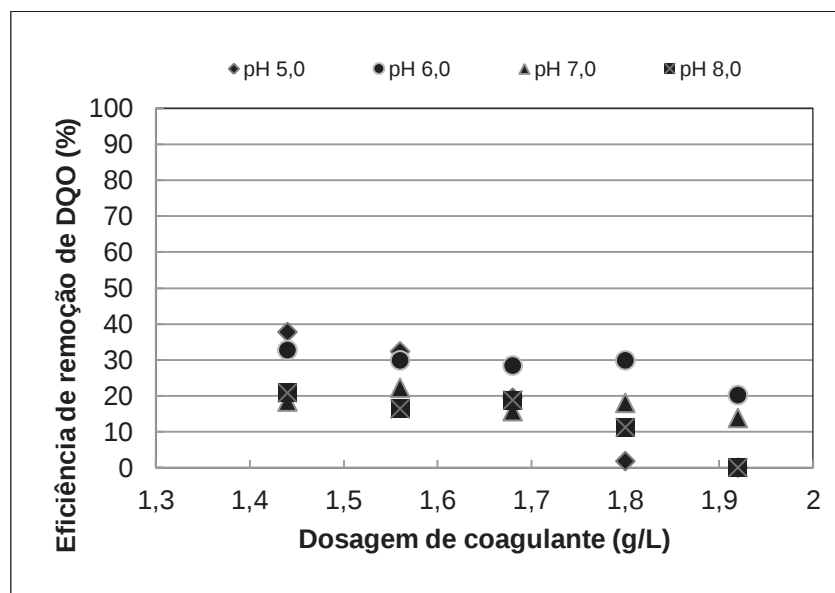


Figura 7 – Remoção de DQO com Tanfloc SG®

Após a correção de pH das amostras de lixiviado bruto, observou-se novamente alterações nos valores iniciais de cor e DQO, como pode ser verificado na Tabela 6 – os valores de ambos parâmetros sofreram aumento conforme diminuíram-se os valores de pH.

Tabela 6 – Valores observados após o ajuste de pH do lixiviado bruto antes dos ensaios com Tanino SG

pH	Cor aparente (mg de PtCo/L)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)
5,0	1500	618,88
6,0	1500	515,18
7,0	1000	483,7
8,0	1250	463,33

4.2.3 – Coagulante *Moringa oleifera* Lam

As figuras 8 e 9 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos com o tratamento do lixiviado a partir da solução de *Moringa oleifera* Lam 15%.

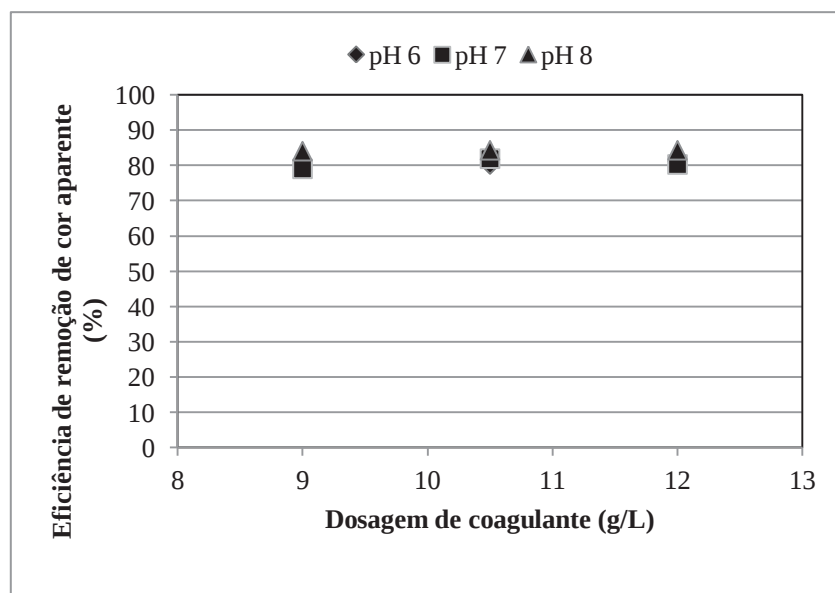


Figura 8 – Remoção de cor aparente com *Moringa oleifera* Lam

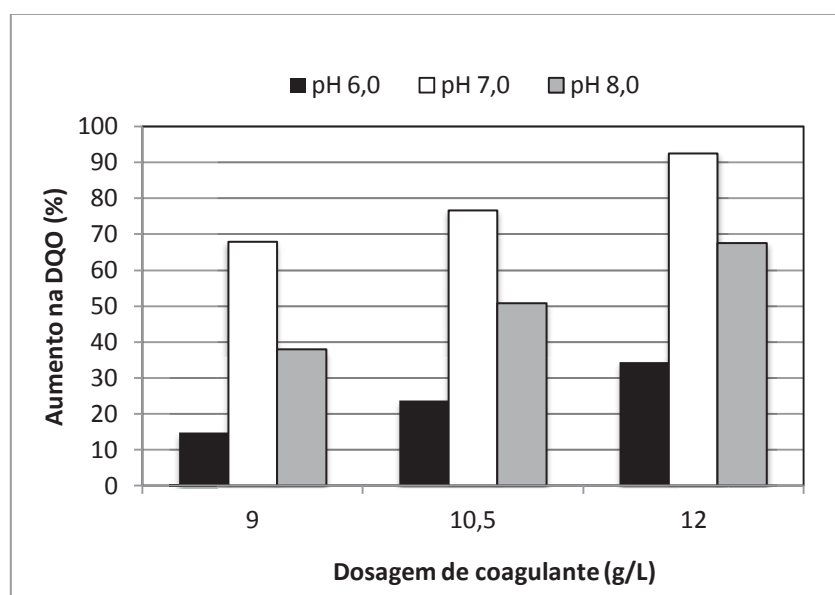


Figura 9 – Aumento da DQO com *Moringa oleifera* Lam

Por meio da análise estatística ANOVA, nota-se que a influência do pH e da dosagem do agente coagulante sobre a remoção de cor aparente e sobre o aumento da DQO foi significativa ($p < 0,05$).

Observa-se que na remoção de cor aparente, o agente coagulante *Moringa oleifera* Lam apresentou resultados satisfatórios (remoção maior que 70%) em todas as concentrações e faixas de pH, sendo que a melhor eficiência de remoção foi obtida na faixa de pH 8,0 nas concentrações de 10,5 e 12 g/L, que apresentaram desempenho semelhante: em média 84,26% de eficiência.

Quanto aos valores de DQO, observou-se um comportamento atípico do agente coagulante, uma vez que a adição do mesmo aumentou a DQO, ao invés de remover. Pode-se observar na Figura 10 que tal aumento está diretamente relacionado ao aumento das concentrações. Quanto ao pH, não houve um padrão de aumento, o que dificulta uma conclusão precisa.

Bassani (2010) encontrou situação semelhante em seus estudos, e relata que este problema pode estar relacionado com as características do lixiviado submetido ao tratamento, uma vez que a presença de compostos orgânicos, como cloretos, pode interferir nas análises posteriores.

Após a correção de pH das amostras de lixiviado bruto, observou-se alterações nos valores iniciais de cor e DQO, conforme pode ser verificado na Tabela 7, sendo que a cor aparente não apresentou uma taxa constante de aumento ou de diminuição, enquanto que a DQO aumentou conforme o pH diminuiu.

Tabela 7 – Valores observados após o ajuste de pH do lixiviado bruto antes dos ensaios com *Moringa oleifera* Lam

pH	Cor aparente (mg de PtCo/L)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)
6,0	3387,5	2144,0
7,0	3050,0	1577,33
8,0	3900,0	1477,33

4.2.4 – Coagulante Quitosana

A remoção de cor aparente e DQO com o coagulante quitosana, de acordo com as diferentes dosagens de coagulante e diferentes faixas de pH, está apresentada nas figuras 10 e 11, respectivamente.

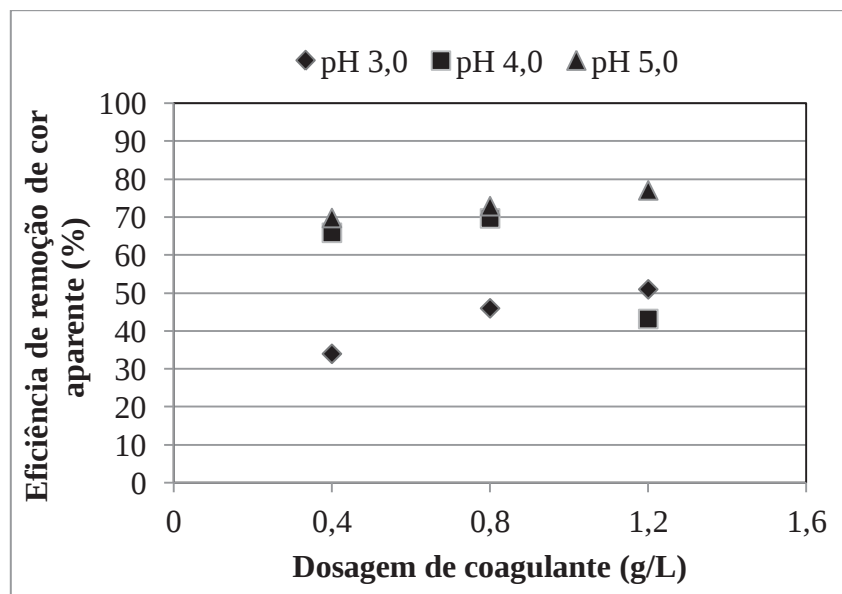


Figura 10 – Remoção de cor aparente com quitosana

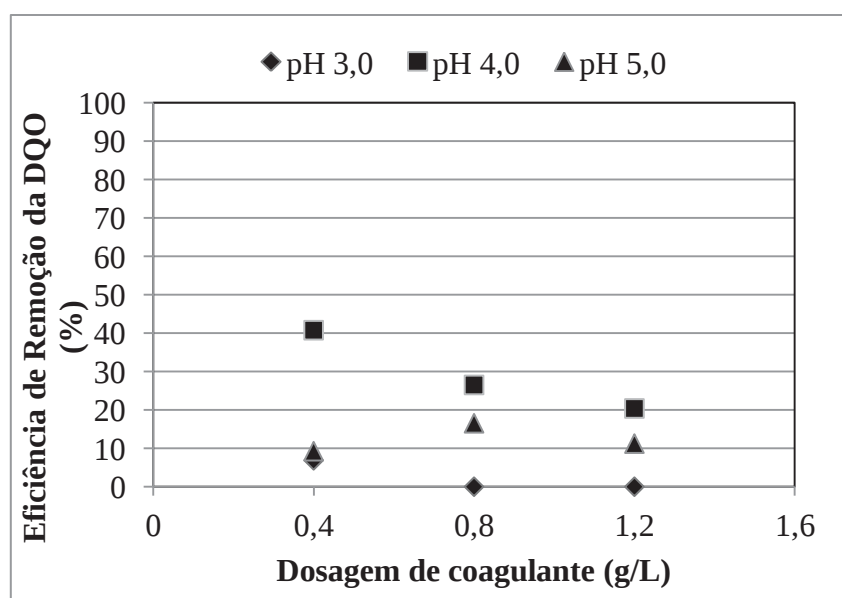


Figura 11 – Remoção de DQO com quitosana

Segundo a análise estatística ANOVA para remoção de cor aparente, a influência do pH e da dosagem de coagulante não foi significativa ($p > 0,05$), ou seja, o tratamento a partir da quitosana apresentou muitas variações nos resultados, inviabilizando uma conclusão estatística confiável. Estes foram os resultados menos satisfatórios para remoção de cor aparente dentre todos os coagulantes utilizados, pode-se dizer que os outros coagulantes seriam mais indicados para remoção deste parâmetro: observa-se que a eficiência de remoção chegou aos 77,08% (na dosagem de 1,2 g/L no pH 5,0).

Quanto à DQO, a análise estatística demonstrou que a influência do pH e da dosagem de coagulante foi significativa ($p < 0,05$). Observou-se uma boa remoção na concentração de 0,4 g/L no pH 4,0 (40,76%). Verifica-se que esta é, inclusive, a segunda melhor remoção encontrada neste trabalho.

Segundo Patel e Vashi (2010), a dosagem ideal de coagulante depende, sobretudo, da espécie de coagulante e dos contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes na solução, pois o excesso ou a escassez prejudicam o processo físico-químico.

Por fim, a tabela 8 apresenta as variações ocorridas nos valores de cor aparente e DQO após o ajuste do pH da amostra bruta. Neste caso, o parâmetro cor aparente não apresentou taxa de variação constante assim como a DQO.

Tabela 8 – Valores observados após o ajuste de pH do lixiviado bruto antes dos ensaios com Quitosana

pH	Cor aparente (mg de PtCo/L)	DQO (mg O₂.L⁻¹)
3,0	2500,0	1210,67
4,0	2200,0	2044,0
5,0	2400,0	1260,67

4.3 – MELHORES RESULTADOS OBTIDOS NOS TRATAMENTOS

Com o propósito de resumir os resultados mais satisfatórios obtidos no tratamento do lixiviado, de acordo com o agente coagulante, a Tabela 9 apresenta os parâmetros resposta e sua respectiva eficiência de remoção.

Observa-se que a remoção de cor aparente foi muito significativa (acima de 70%) em todos os experimentos, enquanto a remoção de DQO, apesar de não ser muito expressiva (abaixo de 50%) está dentro do encontrado por outros autores como Máximo e Castilhos Junior (2007) *apud* Bidone (2007) que obteve remoção de 38%, assim como Nagashima (2009) que encontrou o mesmo valor de remoção de DQO.

Em se tratando de cor aparente, a maior eficiência de remoção se deu quando ambos os tipos de tanino foram empregados: os resultados ótimos aconteceram no pH

6,0 e na dosagem de 1,56 g/L. A menor eficiência foi obtida quando se aplicou o agente coagulante quitosana, que removeu no máximo 77,08% de cor aparente.

Tabela 9 – Principais resultados obtidos no tratamento

Parâmetro	Cor aparente (mg de PtCo/L)	DQO (mg de O₂.L⁻¹)
Lixiviado bruto	1000 – 3900	463,33 – 2144,0
Tratado com Tanfloc SL®	Remoção de 94,67%	Remoção de 41,19%
Tratado com Tanfloc SG®	Remoção de 95%	Remoção de 37,7%
Tratado com <i>Moringa oleifera</i> Lam	Remoção de 84,26%	Aumento de 14,76%
Tratado com Quitosana	Remoção de 77,08%	Remoção de 40,76%

A melhor remoção de DQO ocorreu com o emprego do Tanfloc SL® no pH 6,0 e dosagem de 1,56 g/L, sendo seguida pela quitosana, que apresentou remoção próxima (ambas as remoções foram maiores que 40%).

A aplicação da *Moringa oleifera* Lam não rendeu resultados satisfatórios no que diz respeito à remoção de DQO, pelo contrário, sua utilização elevou a quantidade de matéria orgânica presente na amostra em pelo menos 14,76%.

Vale ressaltar que o lixiviado utilizado nesta pesquisa foi coletado em duas datas distintas e isso pode ter influenciado nos resultados. Como se pode observar na caracterização do lixiviado, valores de cor aparente e DQO do lixiviado da coleta 1 (tratamento com Tanfloc SL® e SG®) são consideravelmente menores que os encontrados na caracterização da coleta 2 (*Moringa oleifera* Lam e quitosana).

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os parâmetros qualitativos analisados permitem classificar o lixiviado do lixão de Presidente Prudente como alcalino, de cor não muito intensa e com características de aterro maduro (baixa DQO e pH acima de 8,0).

Os melhores resultados foram obtidos com o uso da solução à base de Tanfloc SL®, cujas remoções de cor aparente e DQO foram ambas com dosagem de coagulante de 1,56 g/L na faixa de pH 6,0, sendo que a eficiência na remoção de cor aparente neste ponto foi de 94,67% e a remoção de DQO foi de 41,19%.

No caso do Tanfloc SG®, *Moringa oleifera* Lam e quitosana, os melhores resultados variaram com os diferentes valores de pH e dosagem de coagulante estudados.

Para o Tanfloc SG® a melhor eficiência na remoção de cor aparente foi com a dosagem de 1,56 g/L, e a remoção de DQO ocorreu na faixa de pH 5,0 com dosagem de 1,44 g/L.

Para a *Moringa oleifera* Lam o ponto ótimo de remoção de cor aparente se deu no pH 8,0, na dosagem de 10,5 g/L, e, como dito anteriormente, este coagulante não apresentou eficiência de remoção do parâmetro DQO.

Por sua vez, a quitosana apresentou boa eficiência na remoção de DQO, 40,76% na dosagem de 0,4 g/L no pH 4,0, e o melhor resultado quanto à remoção de cor aparente se deu na dosagem de 1,2 g/L no pH 5,0.

Por fim, pode-se dizer que ambos os taninos apresentaram resultados próximos entre si e satisfatórios em termos de tratamento. Com isso conclui-se que ambos são os mais indicados a serem empregados como parte do processo de tratamento do lixiviado, uma vez que estes se sobressaíram em relação aos outros coagulantes estudados. Contudo, recomenda-se a utilização de tratamentos adicionais para maior remoção da DQO, além de análises para verificar a presença de metais pesados no lodo resultante do tratamento.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOULHSSAM, M. A.; SOUABI, S.; YAACOUBI, A. **Pollution reduction and biodegradability index improvement of tannery effluents.** Intenational Journal Environemental Sciences Tech., v. 5, n. 1, p. 11-16, 2008.
- ABRELPE – Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. 2010.
- ALCANTARA, A. J. DE O. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos e caracterização química do solo da área de disposição final do município de Cáceres-MT.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade do Estado do Mato Grosso, 2010.
- APHA - American Public Health Association. Standard methods for the examination for water and wastewater. 19th ed. Washington, D.C., 1995.
- BASSANI, F. **Monitoramento do lixiviado do aterro controlado de Maringá, Paraná, e avaliação da tratabilidade com coagulantes naturais, radiação ultravioleta (UV) e ozônio.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Maringá, 2010.
- BIDONE, R. F. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por um sistema compostos por filtros anaeróbios seguidos de banhados construídos: estudo de caso – Central de Resíduos do Recreio, em Minas do Leão/RS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007.
- CASTILHOS JUNIOR, A.B. (coord) **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006.
- CETESB – Companhia de Saneamento Básico de São Paulo. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/residuos/urbanos_saude.asp> Data de acesso: 20 de julho 2011.
- DA SILVA, C. B.; LIPORONE, F. **Deposição irregular de resíduos sólidos domésticos em Uberlândia: Algumas considerações.** Revista Eletrônica de Geografia, v.2, n.6, p.22-35, 2011.
- DE QUADROS, S. S. **Tratamento e reutilização de efluentes têxteis gerados nos tingimentos de tecidos de algodão.** Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Regional de Blumenau, 2005.

DI BERNARDO, L. *et al.* **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta.** São Carlos: RiMa. 2003.

FELICI, E. M.; **Coagulação-floculação-sedimentação como pós-tratamento de efluente de sistema biológico em batelada aplicado a lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento). Universidade Estadual de Londrina, 2010.

GIMENES, M. L. **Tratamento de Vinhaça com os coagulantes naturais: Quitosana, Tanino e Moringa.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, VII, 2009. Uberlândia, Minas Gerais.

KONRADT-MORAES, L. C. **Estudos dos processos de coagulação e floculação seguidos de filtração com membranas para obtenção de água potável.** Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Maringá, 2009.

LANGE, L.C.; ALVES, J. F.; AMARAL, M.C.S.; MELO JUNIOR, W.R.; **Sanitary landfill leachate treatment by Fenton oxidation.** Engenharia Sanitária Ambiental, v.11, n.2, p. 175-183, 2006.

MADRONA, G. S. **Estudo da extração/purificação do composto ativo da semente da Moringa oleifera lam e sua utilização no tratamento de água de abastecimento.** Maringá 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Maringá, 2010.

MORAES, L. C. K; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G; RIBEIRO, R. M. **Utilização do polímero natural quitosana no processo de coagulação/floculação/ultrafiltração para a produção de água potável.** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande, MS.

MORAIS, J. L. DE. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por fotocatalise heterogênea integrada a processo biológico convencional.** *Quim Nova*, vol. 29, nº 1, p. 20 – 23, 2006.

NAGASHIMA, L.A. **Monitoramento do lixiviado em lagoa de estabilização e estudo da aplicabilidade do reagente Fenton e do coagulante tanino como formas de tratamento.** Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Maringá, 2009.

NDABIGENGESERE, A., NARASIAH, K.S. **Quality of water treated by coagulation using Moringa oleifera seeds.** *Water Research*. Vol 32, p. 781–791, 1998.

APÊNDICE 1 RESULTADOS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA ANOVA SEGUNDO O SOFTWARE R

=====

Cor_Tani_sl1 - Modelo significativo estatisticamente.

=====

```
g<-lm(Cor_Tani_sl1~ -1 + Ph + I(Ph**2) + I(Dose**2));anova (g);summary(g)
```

=====

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Ph	27.78432	0.91692	30.302	< 2e-16 ***
I(Ph^2)	-2.40378	0.09196	-26.139	< 2e-16 ***
I(Dose^2)	0.03764	0.01256	2.997	0.00367 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

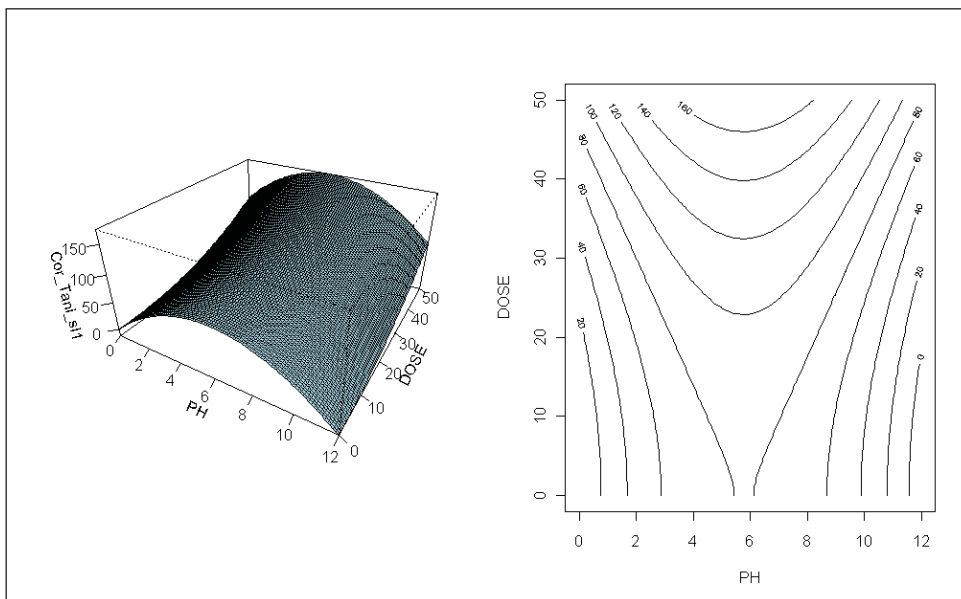
Residual standard error: 4.482 on 77 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9972, Adjusted R-squared: 0.9971

F-statistic: 9291 on 3 and 77 DF, p-value: < 2.2e-16

=====

```
f<- function(PH,DOSE) {(27.78432*PH)-(2.40378*(PH**2))+(0.03764*(DOSE**2))}
```



```
=====
```

Cor_Tani_sg1 - Modelo significativo estatisticamente.

```
=====
```

```
g<-lm(Cor_Tani_sg1 ~ -1 + Ph + I(Ph**2) + I(Dose**2));anova (g);summary(g)
```

```
=====
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Ph	30.77111	1.00444	30.635	<2e-16 ***
I(Ph^2)	-2.48265	0.10074	-24.644	<2e-16 ***
I(Dose^2)	-0.03305	0.01376	-2.402	0.0187 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

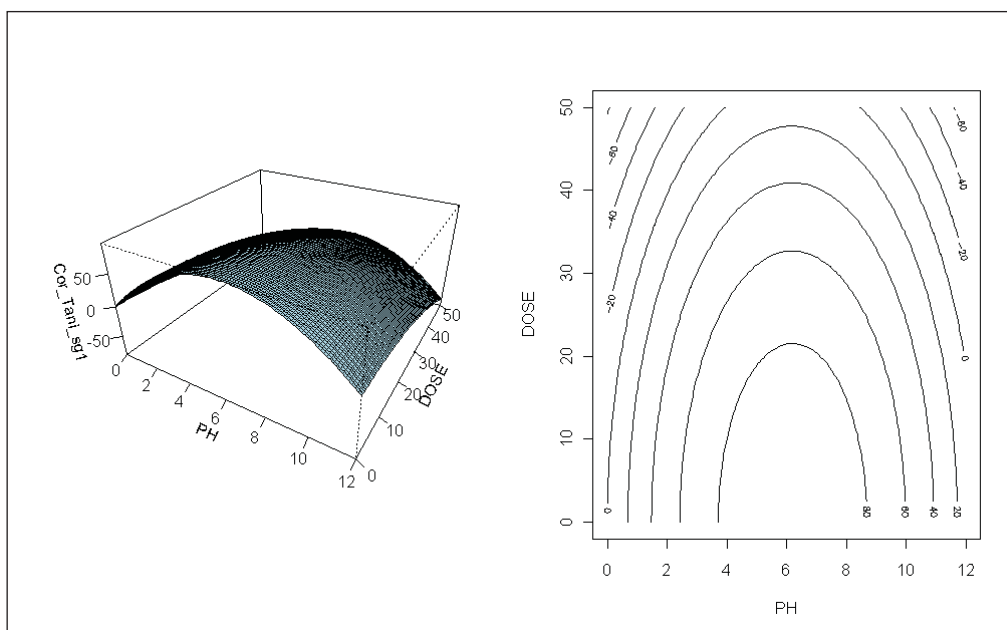
Residual standard error: 4.91 on 77 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9968, Adjusted R-squared: 0.9967

F-statistic: 8096 on 3 and 77 DF, p-value: < 2.2e-16

```
=====
```

```
f<- function(PH,DOSE) {(30.77111*PH)-(2.48265*(PH**2))-(0.03305*(DOSE**2))}
```



```
=====
```

DQO_Tani_sl2 - Modelo significativo estatisticamente.

=====

```
g<-lm(DQO_Tani_sl2 ~ Ph + I(Ph**2) + I(Dose**2));anova (g);summary(g)
```

=====

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-233.75865	23.10884	-10.116	1e-15 ***
Ph	88.27296	7.21408	12.236	<2e-16 ***
I(Ph^2)	-7.14971	0.55320	-12.924	<2e-16 ***
I(Dose^2)	-0.01482	0.01396	-1.062	0.292

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

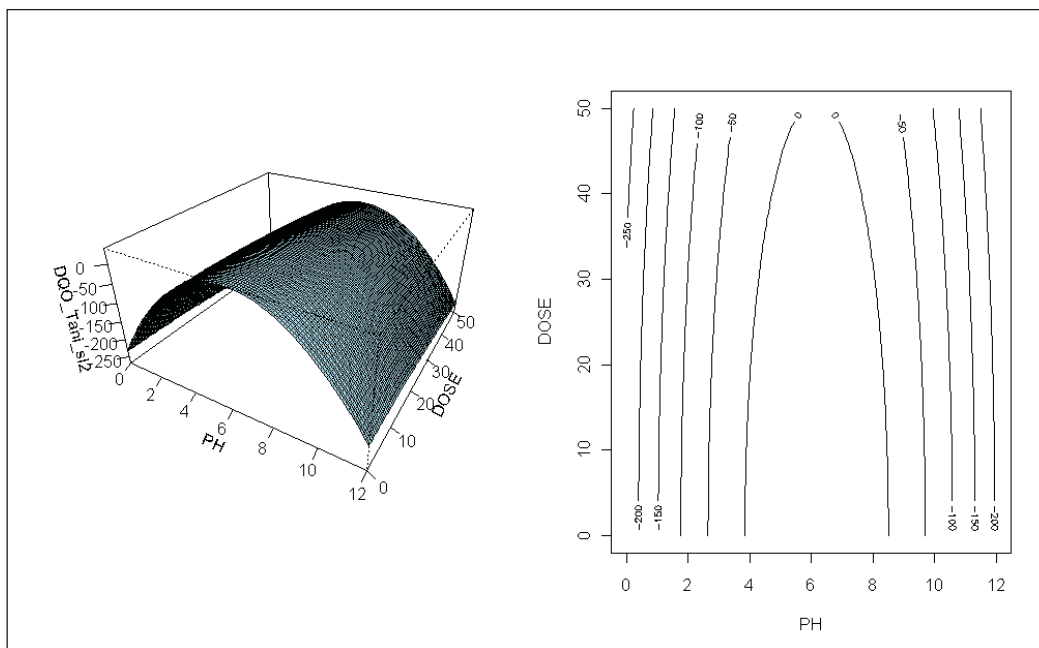
Residual standard error: 4.948 on 76 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.7741, Adjusted R-squared: 0.7652

F-statistic: 86.81 on 3 and 76 DF, p-value: < 2.2e-16

=====

```
f<- function(PH,DOSE) {-233.75865 + (88.27296*PH)-(7.14971*(PH**2))-
(0.01482*(DOSE**2))}
```



=====

DQO_Tani_sg2 - - Modelo significativo estatisticamente.

=====

```
g<-lm(DQO_Tani_sg2 ~ Ph + I(Ph**2) + I(Dose**2));anova (g);summary(g)
```

=====

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Ph	17.5166	1.4133	12.394	< 2e-16 ***
I(Ph^2)	-1.5947	0.1409	-11.316	< 2e-16 ***
I(Dose^2)	-0.1200	0.0202	-5.943	1.07e-07 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 6.091 on 68 degrees of freedom

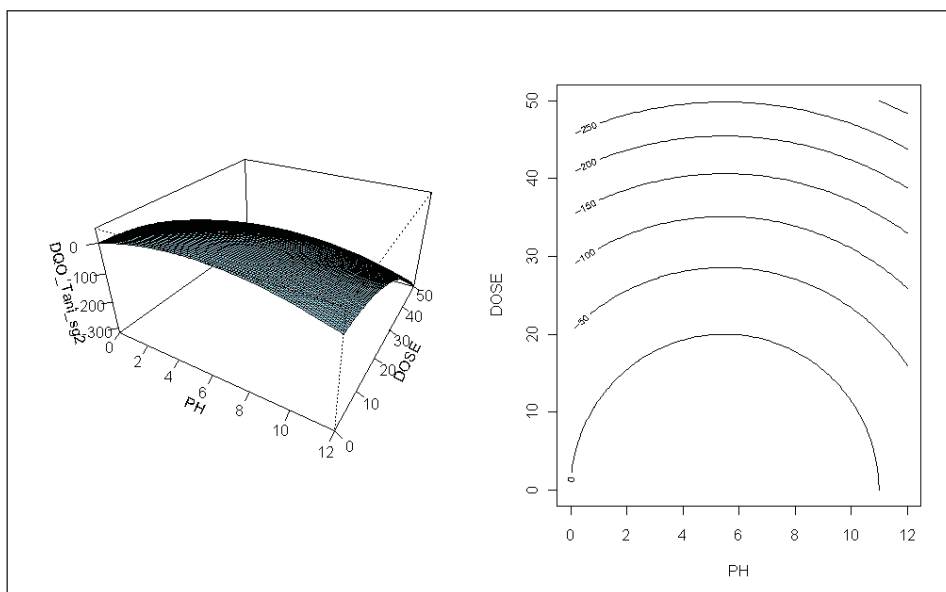
(9 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.9342, Adjusted R-squared: 0.9312

F-statistic: 321.6 on 3 and 68 DF, p-value: < 2.2e-16

=====

```
f<- function(PH,DOSE) {(17.5166*PH)-(1.5947*(PH**2))-(0.1200*(DOSE**2))}
```



=====
Cor_Mori - Modelo significativo estatisticamente.
 =====

```
g<-lm(Cor_Mori~ Ph + I(Ph**2) + I(Dose**2));anova (g);summary(g)
```

=====
 Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.752e+02	3.643e+01	4.810	3.45e-05 ***
Ph	-2.891e+01	1.051e+01	-2.750	0.00973 **
I(Ph^2)	2.181e+00	7.503e-01	2.907	0.00657 **
I(Dose^2)	1.451e-04	3.092e-04	0.469	0.64207

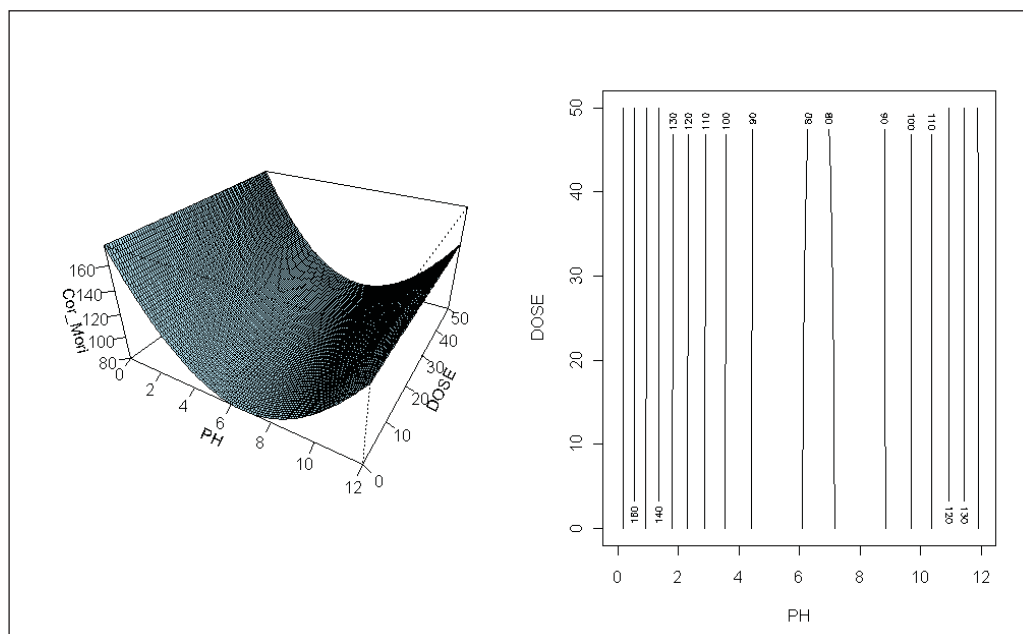
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.122 on 32 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.416, Adjusted R-squared: 0.3612

F-statistic: 7.598 on 3 and 32 DF, p-value: 0.0005672

=====
 f<- function(PH,DOSE) {1.752e+02-(2.891e+01*PH)+(2.181e+00*(PH**2))+(1.451e-04*(DOSE**2))}



=====

DQO_Mori - - Modelo significativo estatisticamente.

=====

```
g<-lm(DQO_Mori ~ Ph + I(Ph**2) + I(Dose**2));anova (g);summary(g)
```

=====

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-2.062e+03	1.125e+02	-18.325	< 2e-16 ***
Ph	5.853e+02	3.247e+01	18.023	< 2e-16 ***
I(Ph^2)	-4.081e+01	2.318e+00	-17.611	< 2e-16 ***
I(Dose^2)	8.801e-03	9.549e-04	9.216	1.61e-10 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

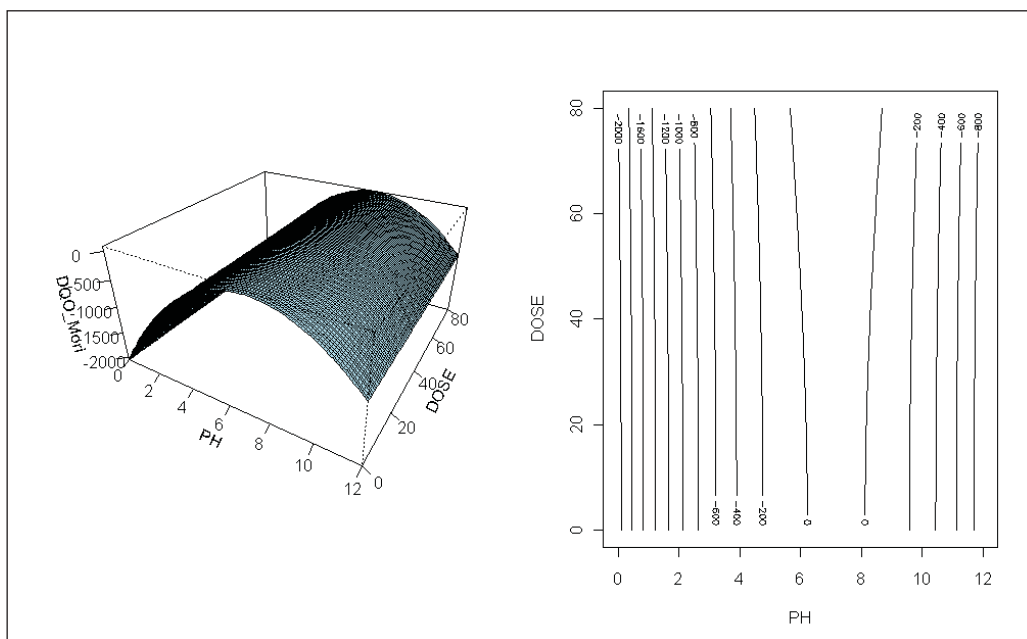
Residual standard error: 6.555 on 32 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9401, Adjusted R-squared: 0.9345

F-statistic: 167.5 on 3 and 32 DF, p-value: < 2.2e-16

=====

```
f<- function(PH,DOSE) {-2.062e+03+(5.853e+02*PH)-(4.081e+01*(PH**2))+(8.801e-03*(DOSE**2))}
```



=====

Cor_Quito - Modelo não significativo estatisticamente.

=====

```
g<-lm(Cor_Quito ~ Dose + Ph + I(Ph**2) + I(Dose**2));anova (g);summary(g)
```

=====

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-1015.478	541.415	-1.876	0.0702 .
Dose	154.147	83.210	1.853	0.0735 .
Ph	22.827	25.663	0.889	0.3806
I(Ph^2)	-1.004	3.200	-0.314	0.7558
I(Dose^2)	-5.919	3.200	-1.850	0.0739 .

=====

=====

DQO_Quito - Modelo significativo estatisticamente.

=====

```
g<-lm(DQO_Quito ~ Ph + I(Ph**2) + I(Dose**2));anova (g);summary(g)
```

=====

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-289.74598	39.88340	-7.265	2.96e-08 ***
Ph	168.65625	20.03845	8.417	1.29e-09 ***
I(Ph^2)	-20.24792	2.49831	-8.105	2.96e-09 ***
I(Dose^2)	-0.18683	0.05546	-3.369	0.00198 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 7.066 on 32 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.7547, Adjusted R-squared: 0.7317

F-statistic: 32.81 on 3 and 32 DF, p-value: 6.975e-10

=====

```
f<- function(PH,DOSE) {-289.74598+(168.65625*PH)-(20.24792*(PH**2))-(0.18683
*(DOSE**2))}
```

