



III-870 - REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO ATRAVÉS DA COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO-DECANTAÇÃO

Sérgio Ewerton da Silva Araújo⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Alagoas. Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento na Universidade Federal de Alagoas.

Nélia Henriques Callado⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Alagoas. Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Profa. Titular da Universidade Federal de Alagoas.

Elizabeth Regina Halfeld da Costa⁽³⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Profa. Titular do Instituto Federal de Minas Gerais.

Vladimir Caramori Borges de Souza⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Prof. Titular da Universidade Federal de Alagoas.

Endereço⁽¹⁾: Rua Projetada 920, Quadra 38, Número 3-C - Antares - Maceió - AL - CEP: 57048-714 - Brasil - Tel: +55 (82) 99197-4250 - e-mail: sergio.araujo@ctec.ufal.br

RESUMO

O tratamento de lixiviados é um dos maiores desafios da operação de aterros sanitários, tendo em vista sua composição complexa e variabilidade sazonal. Em aterros sanitários, frequentemente, emprega-se um conjunto de técnicas de tratamento de lixiviados, biológicas e/ou físico-químicas, visando enquadrá-lo nos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos segundo a legislação vigente. Sob esse aspecto, o aterro sanitário do município de Maceió-AL dispõe de uma ETE composta por processos de tratamento biológicos (1 lagoa anaeróbia, 2 lagoas pré-aeradas e 1 lagoa aerada facultativa) e físico-químicos (coagulação-floculação-decantação, filtração e osmose reversa). Visto isso, o objetivo deste trabalho foi estudar, em escala de bancada, o tratamento por coagulação-floculação-decantação do lixiviado pré-tratado biologicamente do aterro sanitário de Maceió-AL, utilizando o mesmo coagulante empregado em escala real. Analisou-se uma amostra coletada no mês de outubro/2022, realizando os ensaios de bancada com diferentes faixas de pH x dosagens de PAC, na velocidade de sedimentação de 1 cm/min. Os parâmetros físico-químicos avaliados foram pH, cor aparente, turbidez e DQO. Ao longo das análises, verificou-se eficiência de remoção de até 77% de cor aparente e 94% de turbidez. Quanto à remoção de DQO, as amostras remanescentes avaliadas demonstraram desempenho de até 35% de remoção de DQO.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro Sanitário, Tratamento de Lixiviado, Coagulação-Floculação, Policloreto de Alumínio, Matéria Orgânica.

INTRODUÇÃO

A produção de resíduos remonta aos primórdios da civilização. Nessa época, sua composição era basicamente de matéria orgânica, com degradação relativamente fácil, através de processos naturais, voltando a fazer parte da natureza. Devido ao aumento populacional e a revolução industrial, e, conseqüentemente, à mudança de hábitos e estilo de vida da sociedade, houve um aumento na produção e na diversidade de resíduos, provocando problemas ambientais, sociais, políticos e econômicos. Com isso, houve um despertar da humanidade para a importância da criação de políticas ambientais, com o intuito de minimizar a degradação ambiental e conservar os recursos naturais do planeta.

De acordo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2022), a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no país, durante o ano de 2022, atingiu aproximadamente um total de 81,8 milhões de toneladas, ou 224 mil toneladas diárias. Sob esse aspecto, cada brasileiro gerou, em média, 1,043 kg de RSU por dia.



Objetivando a amenização dos problemas ambientais causados pela geração de resíduos, criaram-se, dentre outras abordagens, os aterros sanitários como uma destinação ambientalmente adequada dos RSU. A NBR 8419 (ABNT, 1992) define o aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos como uma técnica de disposição destes resíduos no solo, de tal modo que não cause danos à saúde pública e à segurança, utilizando princípios de engenharia para confinar estes resíduos de forma compacta e cobertos com uma camada de solo na conclusão de cada jornada de trabalho, ou, quando necessário, a intervalos menores.

Entretanto, um dos subprodutos do aterro sanitário, gerado através da decomposição da matéria orgânica aterrada, é o chorume, que juntamente com outros líquidos percolados formam o lixiviado, possuindo elevado potencial de contaminação ambiental.

Nesse sentido, diversas técnicas são empregadas para o tratamento de lixiviado, podendo envolver tanto processos biológicos, quanto processos físico-químicos. Quando o lixiviado é considerado maduro, apresentando alta concentração de nitrogênio amoniacal e baixa relação DBO/DQO, faz-se necessário o emprego de processos físico-químicos associados com processos biológicos. Isso se deve porque o tratamento biológico não é suficiente para o tratamento do lixiviado maduro (TELLES, 2010).

Desse modo, é essencial que sejam estudadas técnicas de tratamento de lixiviado, a fim de investigar métodos de diminuição do potencial poluidor do efluente e enquadrá-lo nos limites de lançamento da legislação ambiental para descarte em corpos de água. No Brasil, a legislação em vigor para lançamento de efluentes em corpos hídricos é a Resolução CONAMA nº 430, de 2011. Assim, a partir da caracterização do chorume bruto, define-se o sistema de tratamento de lixiviado do aterro sanitário que apresenta melhor eficiência na remoção de seus compostos tóxicos, analisando, também, a relação custo-benefício de todo o processo.

Diversos trabalhos têm estudado, em escala de bancada, a técnica de coagulação-floculação-decantação como alternativa de tratamento de lixiviados de aterros sanitários.

Felici (2010) utilizou o lixiviado pré-tratado biologicamente, por processo de lodo ativado, proveniente do aterro sanitário do município de Londrina, Paraná. Utilizou em seus estudos os coagulantes PAC e cloreto férrico. Para o PAC, os melhores resultados foram obtidos com dosagem de 470,7 mg/L (50 a 700 mg/L) do coagulante e pH de 4,9, com remoção de cor verdadeira e de DQO da ordem de 97% e 73%, respectivamente. Já em relação ao cloreto férrico, a melhor dosagem foi de 400 mg/L (300 a 700 mg/L) do coagulante e pH 3,0, com remoção de cor verdadeira de 98% e DQO 81%.

Pedroso (2012) caracterizou o lixiviado gerado pelo aterro sanitário de Maringá, Paraná, realizando o pré-tratamento por meio da coagulação-floculação-decantação, utilizando como coagulante o tanino. As dosagens do coagulante variaram de 500 a 1500 mg/L, considerando três níveis de pH (natural, 4,0 e 9,0). O processo apresentou eficiência na remoção da cor aparente em até 59,97%, da turbidez de até 94,87% e de compostos absorvidos a 254 nm em até 31,69%, obtidos quando os ensaios foram desenvolvidos com pH 9,0 e com dosagens de coagulante de 1100 e 1500 mg/L. O autor ainda avaliou o tratamento do lixiviado pela técnica de ozonização, com e sem o processo de coagulação-floculação-decantação como pré-tratamento. Com isso, constatou que o lixiviado tratado por ozonização apresentou melhores resultados quando foi pré-tratado por coagulação-floculação-decantação, alcançando remoções de cor em até 96,66%, de turbidez de 88,34%, de compostos absorvidos a 254 nm em 85,11% e de DQO de 89%.

Em Maceió, o aterro sanitário possui um sistema de tratamento de lixiviados que engloba processos biológicos com lagoas (1 lagoa anaeróbia, 2 lagoas pré-aeradas e 1 lagoa aerada facultativa) e físico-químicos (coagulação-floculação-decantação, filtração e osmose reversa), e tem como desafio a remoção de DQO, de forma que o efluente tratado possa ser descartado num corpo de água doce denominado Riacho Doce.

O desenvolvimento desse trabalho faz parte de um projeto de monitoramento ambiental do aterro sanitário do município de Maceió-AL, desenvolvido por meio de um convênio entre a Central de Tratamento de Resíduos (CTR) e a Universidade Federal de Alagoas (UFAL).



OBJETIVO

Estudar, em escala de bancada, a melhor relação do pH x dosagem do coagulante, simulando o processo de coagulação-floculação-decantação em escala real, do lixiviado pré-tratado biologicamente do aterro sanitário do município de Maceió-AL.

MATERIAIS E MÉTODOS

A princípio, foram coletados 200 litros de amostra do lixiviado pré-tratado, na saída da lagoa pré-aerada 2, no mês de outubro/2022, transportadas para o laboratório em 10 bombonas de 20 litros. No laboratório, a amostra foi estocada em uma única bombona de 200 litros, em temperatura ambiente.

Posteriormente, a metodologia do trabalho consistiu em três etapas, descritas a seguir:

Na primeira etapa, com a amostra do lixiviado pré-tratado foi feita a sua caracterização físico-química por meio das análises de pH, cor aparente, turbidez, alcalinidade e DQO.

Na segunda etapa, estudou-se a potencialidade da coagulação-floculação-decantação como pós-tratamento de lixiviado em escala de bancada, com a amostra coletada. O coagulante investigado foi o policloreto de alumínio (PAC) comercial, com concentração de Al_2O_3 de 23%, atualmente empregado em escala real no aterro sanitário de Maceió-AL em seu processo de tratamento físico-químico de coagulação-floculação.

Para os ensaios de bancada, utilizou-se o equipamento Jar Test JT303M da Milan Equipamentos Científicos, para diferentes dosagens do coagulante. O equipamento de jar test utilizado é composto de seis jarros em acrílico transparente com volume de 2 litros cada jarro, possuindo um sistema de pás com rotação estável de 10 a 350 rpm. O equipamento possui dispositivos para dosagem de produtos químicos e para coleta de água decantada simultaneamente situados a 7 cm abaixo da lâmina líquida.

O sistema de rotação das pás e tempos de detenção, tanto para a mistura rápida quanto para a floculação, foram retirados da ABNT NBR 12216/1992 e dos dados aplicados atualmente no pós-tratamento de lixiviados do aterro sanitário de Maceió-AL. Com isso, utilizou-se rotação de 350 rpm durante 2 minutos para a mistura rápida e 20 rpm com duração de 20 minutos para a floculação.

Para o tempo de decantação, estudou-se a velocidade de sedimentação (V_s) para cada ponto de pH x dosagem de PAC de 1,0 cm/min referente ao tempo de decantação de 7 minutos. A escolha da V_s foi feita por meio de observação com base em ensaio preliminar, que tinha como objetivo determinar o tempo necessário para que o lodo formado ficasse abaixo do nível de coleta da amostra remanescente.

Os ensaios de bancada foram realizados em cinco pHs distintos para a mesma amostra coletada: natural (7,36), 6,00, 6,50, 8,50 e 9,00. Os pHs foram previamente ajustados utilizando-se ácido sulfúrico (H_2SO_4) para reduzir o pH, e para elevar utilizou-se hidróxido de sódio (NaOH), preparando 30 L de amostra em cada caso.

As dosagens do PAC comercial estudadas variaram de 200 a 750 mg/L, nas cinco faixas de pH previamente ajustados (6,0 a 9,0), em que, durante os ensaios foram medidos os pHs de coagulação. Os ensaios de bancada resultaram em 60 pontos de pH de coagulação x dosagem de PAC.

Por fim, na terceira etapa, realizou-se em laboratório análises físico-químicas com as amostras remanescentes dos ensaios de bancada. Em cada amostra remanescente dos ensaios de bancada foram realizadas análises de pH de coagulação, e da cor aparente e turbidez remanescentes, a fim de montar seus respectivos diagramas de coagulação. Para os pontos selecionados com maior remoção de cor aparente e turbidez foi realizada a análise de DQO, com o objetivo de quantificar, também, a eficiência na remoção de matéria orgânica.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização físico-química da amostra do lixiviado pré-tratado biologicamente no aterro sanitário de Maceió-AL está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Características do lixiviado pré-tratado no aterro sanitário de Maceió-AL.

Cor uC	Turbidez NTU	pH	Alcalinidade Total mg.CaCO ₃ /L	DQO mg.O ₂ /L
1.185	72,7	7,36	649,5	1.865,6

A análise da alcalinidade total, com concentração de 649,5 mg.CaCO₃/L, comprova que a alcalinidade do lixiviado pré-tratado biologicamente é muito elevada, o que dificulta os ajustes prévios do pH para o tratamento por coagulação-floculação-decantação.

Outrossim, observa-se que o lixiviado pré-tratado possui elevado valor de cor e baixa turbidez, indicando que se trata de uma cor verdadeira, devida a sólidos dissolvidos, alta. Com isso, no tratamento por coagulação-floculação-decantação, a maior parte dos flocos formados na etapa de floculação ainda são leves demais para sedimentar, o que demonstra a dificuldade de remover as partículas dissolvidas do lixiviado.

Na Figura 1 está apresentada o diagrama de coagulação para a cor aparente. De maneira complementar, na Figura 2 pode ser visualizada a eficiência de remoção de cor aparente nos ensaios realizados, relacionando a dosagem de PAC comercial com as faixas de pH iniciais.

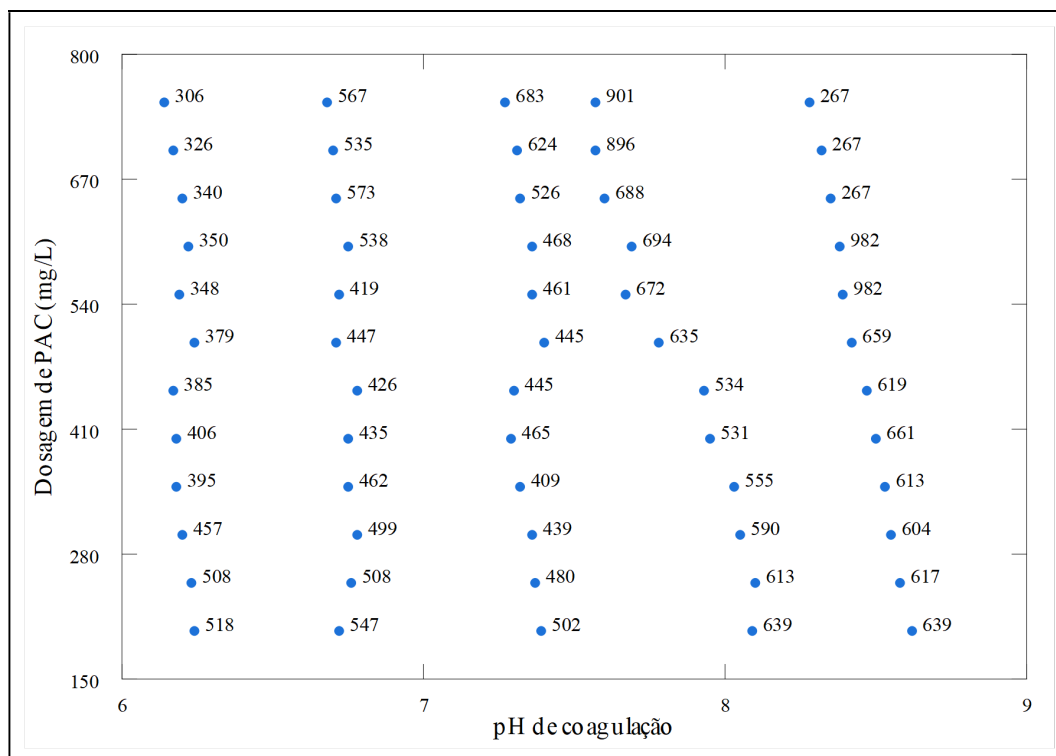


Figura 1: Diagrama de coagulação para cor (uC).

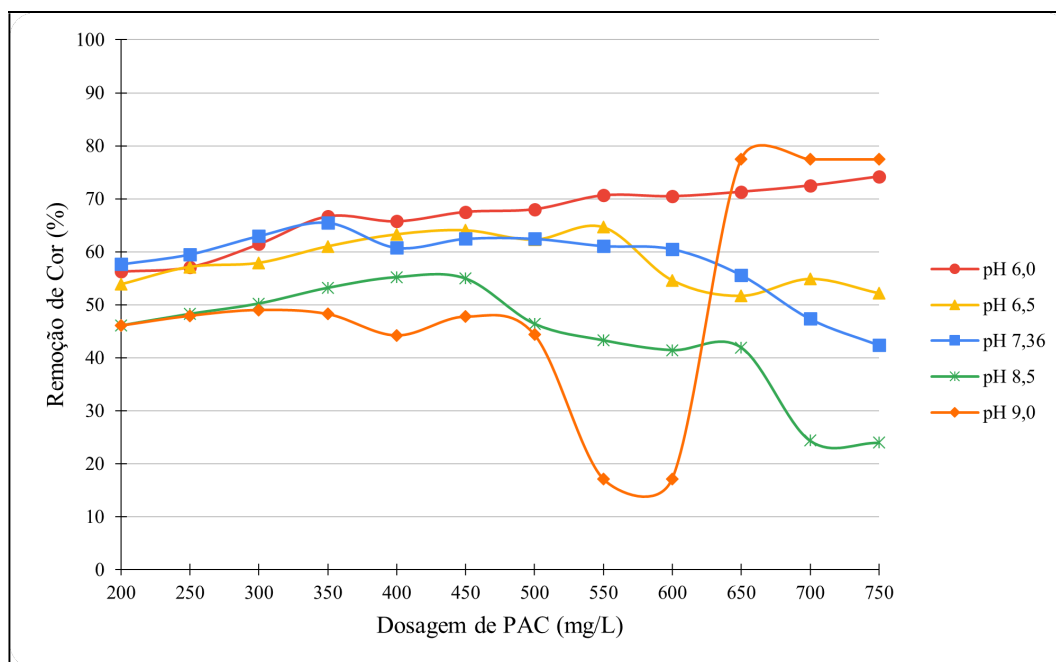


Figura 2: Remoção de cor.

Na Figura 1, pode ser observado que, a partir das amostras remanescentes dos ensaios de bancada, a região que apresentou melhor desempenho no tratamento do lixiviado por coagulação-floculação-decantação, está situada entre as faixas de pH de coagulação 8,28 e 8,35 com dosagens do PAC comercial de 650 a 750 mg/L, com resultados de cor aparente remanescentes de 267 uC. Em termos de percentuais, analisando a Figura 2, estes pontos mencionados demonstraram eficiência de remoção de 77% de cor aparente.

Percebe-se, ainda, que os pontos compreendidos entre as faixas de pH de coagulação 6,14 e 6,24 com dosagens de 350 a 750 mg.PAC/L (exceto a dosagem de 400 mg.PAC/L) também obtiveram bom desempenho, considerando os resultados de cor aparente remanescentes entre 300 uC e 400 uC. Por sua vez, estes pontos estudados demonstraram eficiência de remoção de 67% a 74% de cor aparente. Neste caso, o par de pH de coagulação 6,14 x 750 mg.PAC/L foi o ponto com maior remoção de cor aparente.

Na Tabela 2 é possível ver os pares de pH coagulação x dosagem de PAC com melhor desempenho no tratamento do lixiviado para o parâmetro de cor aparente, bem como seus respectivos percentuais de remoção.

Tabela 2: Pares de pH x mg.PAC/L com melhor desempenho na remoção de cor.

pH inicial	Dosagem de PAC mg/L	pH de coagulação	Cor uC	Percentual de Remoção %
9,0	650	8,35	267	77
	700	8,32	268	77
	750	8,28	267	77

Tratando-se da turbidez, na Figura 3 está apresentado seu respectivo diagrama de coagulação, e na Figura 4 pode ser visualizada a eficiência de remoção de turbidez nos ensaios de bancada realizados.

Baseado na Figura 3, os resultados de 4 a 20 NTU compreende os pares de pH de coagulação x dosagem de PAC que apresentaram melhor desempenho no tratamento do lixiviado por coagulação-floculação-decantação. Observando a Figura 4, estes pontos demonstraram eficiência de remoção de turbidez de 74% a 94%.

Neste caso, os pontos com maior remoção de turbidez foram: pH de coagulação 6,22 x 600 mg.PAC/L, com turbidez remanescente de 4,52 NTU; pH de coagulação 6,14 x 750 mg.PAC/L, com turbidez remanescente de 4,47 NTU; e, pH de coagulação 7,32 x 350 mg.PAC/L, com turbidez remanescente de 4,53 NTU. Todos estes pontos destacados apresentaram eficiência de 94% de remoção de turbidez.

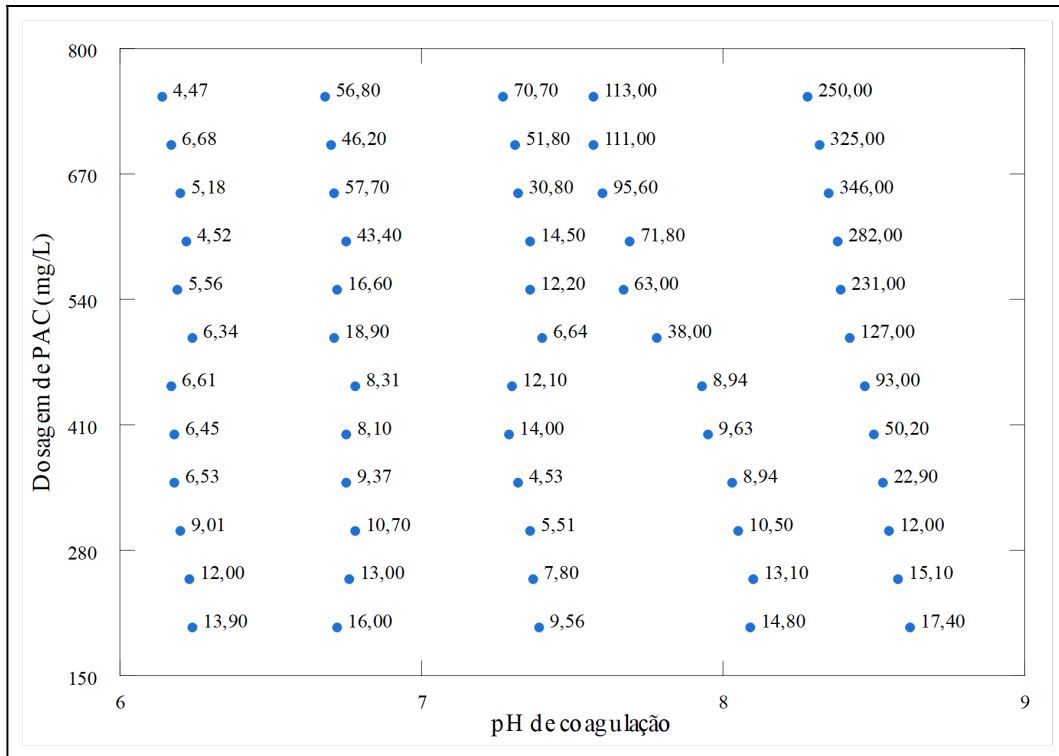


Figura 3: Diagrama de coagulação para turbidez (NTU).

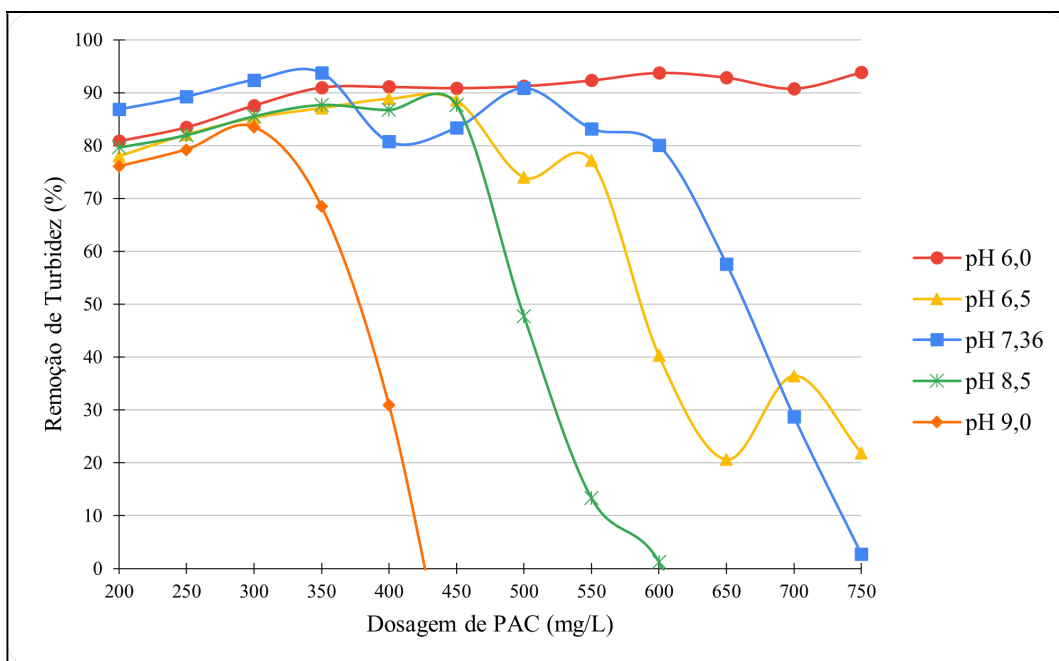


Figura 4: Remoção de turbidez.

Na Tabela 3 estão apresentados os pares de pH coagulação x dosagem de PAC com melhor desempenho no tratamento do lixiviado para o parâmetro de turbidez, bem como seus respectivos percentuais de remoção.

Tabela 3: Pares de pH x mg.PAC/L com melhor desempenho na remoção de turbidez.

pH inicial	Dosagem de PAC mg/L	pH de coagulação	Turbidez NTU	Percentual de Remoção %
6,0	600	6,22	4,52	94
	750	6,14	4,47	94
7,36	350	7,32	4,53	94

Quanto à remoção de DQO das amostras remanescentes que apresentaram maiores remoção de cor aparente e turbidez, foram selecionadas duas amostras para serem avaliadas. Na Tabela 4 estão apontados os pontos do diagrama de coagulação selecionados para análise de DQO.

Tabela 4: Amostras do jar test para análise de DQO.

Ponto	pH de coagulação	Dosagem de PAC mg/L	Cor uC	Turbidez NTU
1	6,22	600	350	4,52
2	6,14	750	306	4,47

A concentração de DQO do lixiviado pré-tratado biologicamente (DQO inicial) foi de 1865,56 mg.O₂/L. Na Tabela 5 pode ser visto, respectivamente, o balanço de massa de DQO das amostras remanescentes (DQO final), bem como suas respectivas eficiência de remoção.

Nota-se, que a amostra 2 obteve maior remoção absoluta de DQO, com remoção de 649,60 mg.O₂/L, representando eficiência de remoção de 35%. Por outro lado, a amostra 1 demonstrou eficiência de remoção de DQO de 25%, com remoção absoluta de 467,39 mg.O₂/L.

Tabela 5: Balanço de massa de DQO.

Ponto	DQO inicial mg.O ₂ /L	DQO final mg.O ₂ /L	DQO removida mg.O ₂ /L	Percentual de Remoção %
1	1.865,6	1.398,2	467,4	25
2		1.216,0	649,6	35

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para o tratamento físico-químico por coagulação-floculação-decantação, em escala de bancada, aplicado em lixiviado pré-tratado biologicamente do aterro sanitário de Maceió-AL, mostraram que:

O pH do lixiviado, tanto do pré-tratado biologicamente quanto das amostras remanescentes dos ensaios de bancada, se manteve dentro da faixa exigida pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (entre 5 e 9).

A sua eficiência depende intrinsecamente das características do lixiviado (pH, alcalinidade, cor, turbidez e DQO) e dos parâmetros operacionais do processo de tratamento por coagulação-floculação-decantação.

Observando os diagramas de coagulação, notou-se remoção de até 77% de cor aparente e 94% de turbidez. Quanto à remoção de DQO, as amostras remanescentes com maior remoção de cor e turbidez mostraram desempenho de até 35% de remoção de DQO.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil: 2022. São Paulo: ABRELPE, 2022. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>>. Acesso em: 07 dez. 2022.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
4. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 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. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 148, n. 92, p. 89-91, 16 mai. 2011.
5. 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. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.
6. PEDROSO, K. Avaliação do tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Maringá, Paraná, por processo de coagulação/floculação e ozonização. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.
7. TELLES, C. A. S. Processos combinados para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.