

**XII-126 - AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DO LIXIVIADO DE ATERRO
SANITÁRIO TRATADO BIOLÓGICAMENTE E PÓS-TRATADO POR
COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO-SEDIMENTAÇÃO COM
DIFERENTES COAGULANTES**

Inara Oliveira do Carmo Nascimento⁽¹⁾

Engenheira de Alimentos pela Universidade Estadual de Feira de Santana. Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento pela Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Ana Rosa Pinto Guedes

Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Aluna do Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento (UFBA)

Joana de Angelis May Menezes

Aluna do curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da UFBA

Luciano Matos Queiroz

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Doutor em Engenharia Civil pela USP. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA.

Louisa Wessels Perelo

Bióloga pela Rheinische Friedrich Wilhelms Universitaet Bonn. Doutora em Ciências Naturais - Technische Universität München. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA.

Endereço⁽¹⁾: Travessa Teódulo de Albuquerque, 14B, apto 21 – Cabula VI - Salvador -BA - CEP: 41181-025 - Brasil - Tel: (71) 3014-3917 - e-mail: nara.ocn@gmail.com

RESUMO

Lixiviados de aterros sanitários apresentam elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal, matéria orgânica biodegradável e compostos recalcitrantes que não permitem seu descarte no meio ambiente sem tratamento prévio. Como alternativa complementar ao tratamento biológico desse efluente, o processo de coagulação-floculação tem sido aplicado para reduzir as concentrações de matéria orgânica recalcitrante presentes nesse efluente. O presente trabalho visou determinar a toxicidade aguda de lixiviado de aterro sanitário tratado biologicamente e pós-tratado por meio de processo de coagulação-floculação aplicando como coagulantes a quitosana e o sulfato de alumínio. Utilizaram-se organismos-teste de dois níveis tróficos diferentes, *Lemna minor* (produtor primário) e *Poecilia reticulata* (consumidor terciário), nos testes de toxicidade aguda. Os resultados mostraram que o efluente pós-tratado com quitosana como coagulante foi tóxico aos organismos estudados. Porém, quando os organismos foram expostos ao efluente pós-tratado com sulfato de alumínio, a toxicidade foi menor, CE₅₀ igual a 10,36% para *Lemna minor* e CL₅₀ igual a 47% (v.v⁻¹) para *Poecilia reticulata*.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulação-floculação, Lixiviado, Quitosana, Sulfato de Alumínio, Toxicidade aguda.

INTRODUÇÃO

O líquido lixiviado de aterro sanitário é composto por matéria orgânica particulada e dissolvida, ácidos graxos voláteis, compostos recalcitrantes, e, eventualmente, metais pesados e compostos xenobióticos (KJELDSEN *et al.*, 2002). No Brasil, a Resolução 430 de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2011) estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora só poderão ser lançados em corpos receptores após o devido tratamento, desde que obedeçam aos padrões e condições pré-estabelecidos e não possua potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos presentes no corpo d'água.

Para remover a maior parte da matéria orgânica biodegradável e do nitrogênio amoniacal, os sistemas biológicos, devido ao baixo custo e larga aplicabilidade, têm sido amplamente utilizados. Entretanto, para o tratamento de águas residuárias que apresentam elevadas concentrações de matéria orgânica recalcitrante, o tratamento biológico requer tratamento complementar por processos físico-químicos, nesse caso o processo de

coagulação-floculação-sedimentação seria uma alternativa. Segundo Queiroz *et al.*, (2011) o tratamento físico-químico pelo processo de coagulação-floculação, utilizando sais de ferro e alumínio apresentou resultados satisfatórios para remoção dos compostos recalcitrantes (avaliada como cor aparente) presentes no efluente de um sistema de lodo ativado tratando lixiviado de aterro sanitário.

Contudo, os coagulantes químicos comumente usados nesse tipo de processo, como sulfato de alumínio, têm levantado alguns questionamentos de ordem ambiental por causa de sua natureza química. Dessa forma, paulatinamente, os coagulantes naturais têm constituído uma alternativa viável ao uso dos coagulantes químicos. Um dos mais promissores polímeros orgânicos de natureza catiônica que tem sido aplicado é a quitosana. Entretanto, pouco se sabe sobre a utilização desse biopolímero no tratamento de águas residuárias, principalmente, de lixiviado de aterro sanitário.

Considerando esses aspectos, o presente trabalho buscou determinar a toxicidade aguda do efluente tratado biologicamente e submetido a pós-tratamento por meio de processo de coagulação-floculação aplicando como coagulantes a quitosana e o sulfato de alumínio.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de lixiviado tratado biologicamente em sistema de lodo ativado operado em bateladas e pós-tratado por coagulação-floculação foram coletadas, caracterizadas físico-quimicamente e armazenadas a 4°C, ao abrigo da luz, até o início dos ensaios, tempo máximo de 12 horas.

Foram selecionados para a caracterização, os seguintes parâmetros: pH, DQO total, carbono orgânico total (COT), carboidratos, proteínas, nitrogênio total Khjedal (NTK), nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, fósforo total, fósforo solúvel, cor aparente, cor verdadeira, turbidez, cloretos e série de sólidos. Todas as análises foram realizadas conforme recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 2012), exceto COT que foi determinado por meio do método da combustão, carboidratos (DUBOIS *et al.*, 1956) e proteínas (LOWRY *et al.*, 1951).

Conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011), foram utilizados organismos-teste de dois níveis tróficos diferentes, *Lemna minor* (produtor primário) e *Poecilia reticulata* (consumidor terciário), nos testes de toxicidade aguda.

Os ensaios com *Lemna minor* foram realizados segundo a norma *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) n° 221 (OECD, 2006). As soluções testes usadas nos ensaios foram preparadas com as seguintes concentrações (v/v) de efluente: 50%, 25%, 12,5%, 6,25% e 3,125%. Sendo que, para cada solução teste e controle foram preparados três réplicas compostas por quatro colônias com duas a quatro frondes (folhas) visíveis, totalizando onze frondes por réplica. Ao final do teste, o percentual de inibição do crescimento das macrófitas em relação ao controle foi determinado por meio da contagem do número de frondes que nasceram no decorrer do período de teste. Adicionalmente, foi determinada a medida em peso seco das *Lemnans* contidas em cada tratamento visando obter o percentual de inibição da biomassa. Os valores de CE₅₀ foram estimados por meio de gráficos construídos com o programa *Microsoft Excel*®.

Os ensaios toxicológicos com *Poecilia reticulata* foram realizados seguindo procedimento descrito na norma OECD n° 203 (OECD, 1992). As soluções testes foram preparadas com os mesmos percentuais de concentração (v/v) utilizados nos ensaios com *Lemna minor*. Para cada concentração foram preparadas duas réplicas contendo 250 mL de solução teste com oito peixes cada. O teste foi acompanhado por um ensaio controle no qual os peixes foram expostos apenas à água de diluição (água da rede de abastecimento público desclorada). Após o tempo de exposição de 96 horas, o parâmetro avaliado foi o número de organismos mortos, reportado por concentração letal média (CL₅₀), obtido com a ajuda do *software* MINITAB® 16.

RESULTADOS

A Tabela 1 mostra as características físico-químicas dos efluentes usados nos ensaios toxicológicos.

Tabela 1 - Caracterização físico-química dos efluentes usados nos testes de toxicidade aguda

Parâmetro	Efluente		
	Sistema de lodo ativado	Coagulação-floculação com quitosana	Coagulação-floculação com sulfato de alumínio
pH	8,0	4,3	4,4
DQO/ (mg O ₂ .L ⁻¹)	1.500,0	1.200,0	900,0
COT/ (mg.L ⁻¹)	763,4	521,7	291,7
Alcalinidade/ (mg.L ⁻¹ de CaCO ₃)	350,0	ND	ND
Nitrogênio amoniacal/ (mg.L ⁻¹ de N-NH ₃)	ND	ND	ND
NTK/ (mg.L ⁻¹)	2,8	5,6	2,8
Nitrito/ (mg. L ⁻¹ de N-NO ₂ ⁻)	ND	ND	ND
Nitrato/ (mg. L ⁻¹ de N-NO ₃ ⁻)	69,9	88,4	76,4
Fósforo solúvel/ (mg.L ⁻¹ de P-PO ₄ ⁻³)	11,7	10,7	ND
Fósforo total/ (mg.L ⁻¹ de P)	14,0	14,5	ND
Cor verdadeira/ (mg.L ⁻¹ de PtCo)	5.001,9	955,9	374,8
Cor aparente/ (mg.L ⁻¹ de PtCo)	6.983,9	1.671,2	442,0
Turbidez/ (UNT)	169,0	14,5	3,8
Cloreto/ (mg.L ⁻¹ de Cl ⁻)	2.999,9	2.332,6	2.665,8
ST/ (mg.L ⁻¹)	11.110,0	10.488,0	10.314,0
STF/ (mg.L ⁻¹)	8.624,0	8.028,0	8.992,0
STV/ (mg.L ⁻¹)	2.486,0	2.460,0	1.322,0
SST/ (mg.L ⁻¹)	725,0	260,0	150,0
SSF/ (mg.L ⁻¹)	325,0	65,0	35,0
SSV/ (mg.L ⁻¹)	400,0	195,0	115,0
Carboidratos/ (mg.L ⁻¹)	321,8	419,5	378,0
Proteínas/ (mg.L ⁻¹)	750,2	271,7	87,3

ND = abaixo do limite de detecção do método analítico empregado.

Observa-se que todos os parâmetros investigados nas amostras de lixiviado tratado, apresentaram valores abaixo dos padrões permitidos pela Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) para o lançamento de efluentes em corpo hídrico, com exceção dos valores de pH alcançados ao final do processo físico-químico. Ciente disso, antes da realização dos testes ecotoxicológicos, seus valores foram ajustados para 7,0, satisfazendo às condições de descarte previstas na legislação.

Para completar a caracterização físico-química, as amostras dos efluentes foram submetidas aos ensaios de ecotoxicidade aguda com macrófitas da espécie *Lemna minor* e peixes da espécie *Poecilia reticulata*. Baseado nos parâmetros percentual de inibição de μ e percentual de inibição da produção de biomassa, os ensaios com *Lemna minor* mostraram que as cepas foram sensíveis a todos os efluentes. O efluente tratado por coagulação-floculação utilizando sulfato de alumínio foi o que menos impactou os organismos, como pode ser observado na Figura 1.

Observando o percentual de inibição de μ , Figura 1, constata-se que o valor da concentração efetiva a 50% dos organismos (CE₅₀) do efluente tratado por coagulação-floculação com sulfato de alumínio estaria localizado entre os valores de concentração 6,25 e 12,5%. Por meio da interpolação linear, determinou-se que esse valor seria igual a 10,36%. Adicionalmente, observa-se que na concentração de 50 % ocorreu inibição da taxa de crescimento igual a 100%. Quanto aos outros efluentes, não foi possível determinar os valores de CE₅₀, pois todos os valores dos percentuais de inibição foram negativos, indicando que, comparado ao controle, houve aumento da taxa de crescimento.

Sob concentrações menores, o crescimento das plantas pode ter sido estimulado pelos nutrientes, nitrato e fósforo, e, até mesmo, outros compostos ainda presentes nos efluentes. Por outro lado, o excesso dessas substâncias, decorrente do aumento das concentrações dos efluentes, pode ter sido tóxico às macrófitas, reduzindo a taxa de crescimento. Estudos semelhantes demonstraram existir uma relação direta entre a redução da concentração do contaminante no meio e o bom desenvolvimento da planta (CLÉMENT e BOUVET, 1993; MACKENZIE *et al.*, 2003).

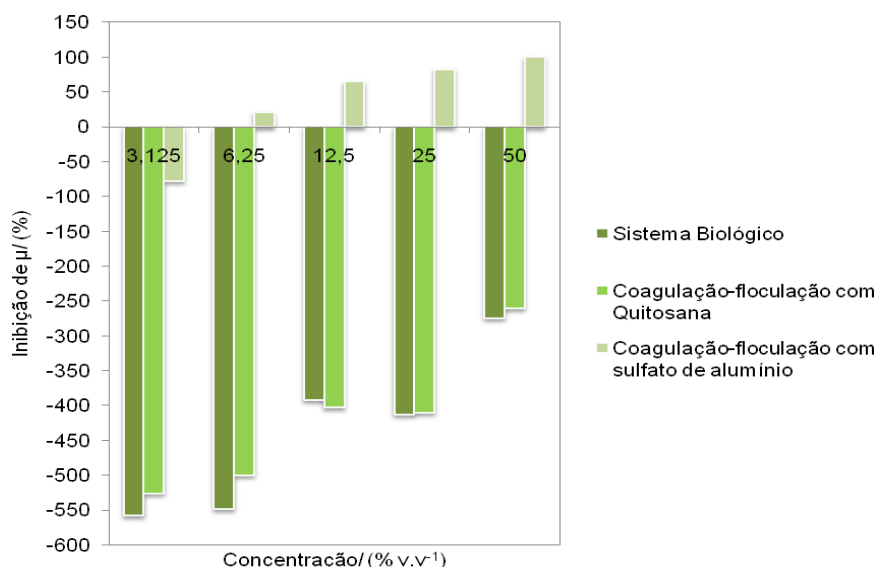


Figura 1: Representação gráfica do percentual de inibição da taxa de crescimento médio específico (μ) observado em plantas aquáticas da espécie *Lemna minor* expostas a diferentes concentrações de lixiviado de aterro sanitário tratado e pós-tratado

Considerando os resultados mostrados na Figura 2, constata-se que, utilizando a quitosana como coagulante, quanto maior a concentração de efluente na solução teste, maior a produção de biomassa das plantas aquáticas. Isso porque as superfícies das frondes das *Lemnas* desenvolveram-se melhor quando expostas às soluções com efluente tratado com quitosana do que quando expostas às demais soluções. Adicionalmente, visualiza-se que não ocorreu aumento gradual dos valores do percentual de inibição da produção de biomassa com o aumento da concentração do efluente pós-tratado com sulfato de alumínio, conseqüentemente, observa-se uma relação pouco significativa entre o percentual de inibição da taxa de crescimento e este efluente.

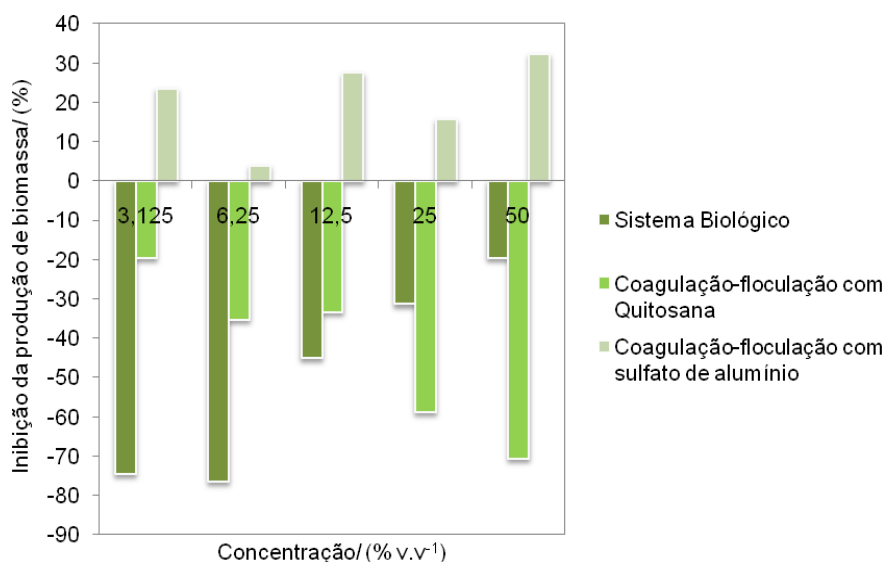


Figura 2: Representação do percentual de inibição da produção de biomassa observado em plantas aquáticas da espécie *Lemna minor* expostas a diferentes concentrações de lixiviado de aterro sanitário tratado e pos-tratado

Para a análise dos resultados de toxicidade aguda realizados com *Poecilia reticulata*, contabilizou-se o número de peixes mortos presentes por réplica em cada uma das concentrações dos efluentes estudados, ao final de 96

h. Os dados obtidos foram usados na construção do gráfico de probabilidade, Figura 3, utilizando o *software* estatístico MINITAB® 16 para estimar o valor médio da CL₅₀ no intervalo de confiança de 95%.

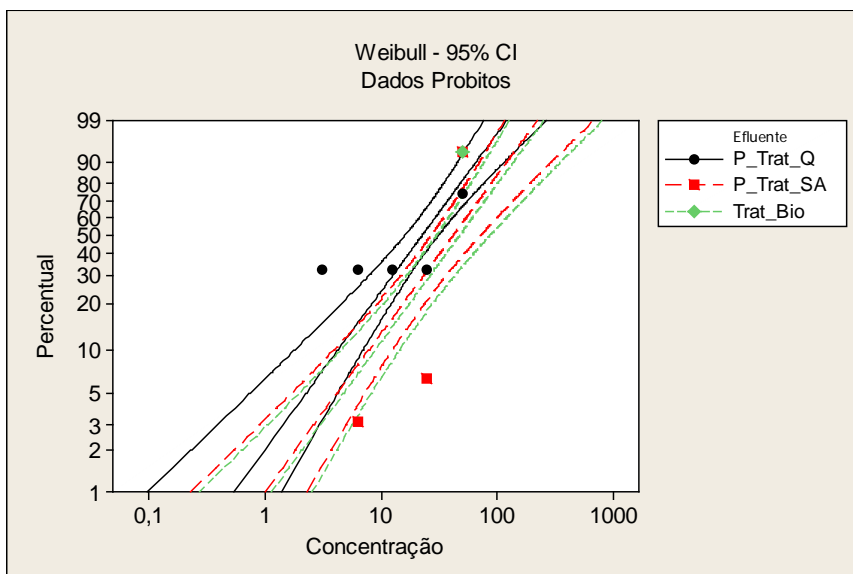


Figura 3: Gráfico de probabilidade da mortalidade de peixes da espécie *Poecilia reticulata* expostos a diferentes concentrações de efluentes distintos (Tratado biologicamente: Trat_Bio; Pós-tratado com quitosana: P_Trat_Q; Pós-tratado com sulfato de alum

A partir do gráfico da Figura 3, foram obtidos os valores médios percentuais da CL₅₀ mostrados na Tabela 3.

Tabela 2 - Toxicidade expressa em percentual de CL₅₀ dos efluentes

Efluente	CL ₅₀ / (%)
Sistema de lodo ativado	47
Coagulação-floculação com quitosana	23
Coagulação-floculação com sulfato de alumínio	42

Na Tabela 3 é possível visualizar que o efluente tratado biologicamente apresentou-se pouco tóxico, com valor de concentração de CL₅₀ em 96 h igual a 47% (v.v⁻¹), em outras palavras, 50% dos peixes estariam mortos no percentual de concentração (v.v⁻¹) igual a, aproximadamente, 47. Após o tratamento físico-químico, observou-se que a toxicidade aumentou de forma pouco expressiva para o efluente tratado com o coagulante químico, porém, duplicou no efluente tratado com o biopolímero.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Todos os parâmetros físico-químicos investigados nas amostras de efluente, com exceção dos valores de pH alcançados ao final do processo físico-químico, apresentaram valores abaixo dos padrões permitidos pela resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011).

O pós-tratamento físico-químico com sulfato de alumínio reduziu a toxicidade do efluente tratado biologicamente às macrófitas, CE₅₀ igual a 10,36%, mas não proporcionou reduções significativas da toxicidade do efluente aos peixes, que foi qualificado como “pouco tóxico”, CL₅₀ em 96 h igual a 47% (v.v⁻¹).

O efluente tratado por coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante quitosana contribuiu para o aumento da toxicidade do efluente de estudo aos peixes, CL₅₀ em 96 h igual a 23% (v.v⁻¹).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do corpo técnico do Aterro Sanitário Integrado Camaçari e Dias D'Avila, operado pela Central de Logística Ambiental da Limpec - Limpeza Pública de Camaçari, Bahia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION (WEF). (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: 22th ed..
2. BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.
3. DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. Analytical Chemistry, v. 28, n. 3, p. 350 – 356, 1956.
4. LOWRY, O.H.; ROSEBROUGH N. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. Journal of Biological Chemistry, v.193, p. 265 - 275, 1951.
5. CLÉMENT, B.; BOUVET, Y. Assessment of landfill leachate toxicity using duckweed *Lemna minor*. Science of the Total Environment, v. 134, n.2, p. 1179 – 1190, 1993.
6. KJELDSEN, P; BARLAZ, M. A.; ROOKER, A. P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T. H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 4, n. 32, p. 297 - 336, 2002.
7. MACKENZIE, S. M.; WAITE, S.; METCALFE, D. J.; JOYCE, C.B. Landfill leachate ecotoxicity experiments. Water, Air and Soil Pollution, v. 3, p. 171 - 179, 2003.
8. OECD (Organisation for economic Co-operation and Development) – Guideline for Testing of Chemicals – Lemna sp. Growth Inhibition Test, nº 221, 2006.
9. OECD (Organisation for economic Co-operation and Development) – Guideline for Testing of Chemicals – Fish, acute Toxicity Test, nº 203, 1992.
10. QUEIROZ, L. M. *et al*; Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 16, n.4, p. 403 – 410.