

REMOÇÃO DE ÓLEOS E GRAXAS DE ÁGUA PRODUZIDA SINTÉTICA UTILIZANDO TRATAMENTO POR LODO ATIVADO

Emilianny Rafaely Batista Magalhães ¹
José Daladiê Barreto da Costa Filho ²
Carlos Eduardo de Araujo Padilha ³
Francinaldo Leite Silva ⁴
Everaldo Silvino dos Santos ⁵

INTRODUÇÃO

A água, componente químico mais abundante da Terra, é um dos recursos naturais mais essenciais para as vidas humana, vegetal e animal. O Brasil é um país privilegiado quanto a disponibilidade desse recurso, possuindo 12% das reservas de água doce do mundo, 53% do manancial de água doce disponível na América do Sul e o maior rio do planeta, o Amazonas, conforme dados da Agência Nacional de Águas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

Porém, apesar dessa situação aparentemente confortável, a realidade de algumas regiões no território brasileiro é de escassez de água por longos períodos. A seca e estiagem afetam, secularmente, a região Nordeste, onde se encontram apenas 3% do volume de água doce do território brasileiro. Os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais são os afetados, em parte ou no todo, pela seca, segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2012).

Em 2017, a PETROBRAS descartou ao meio ambiente cerca de 293,2 milhões de metros cúbicos de efluentes hídricos, incluindo efluentes de natureza industrial e água produzida. Esse volume representou uma demanda de 1,9 mil toneladas de óleos e graxas, 5,4 mil toneladas em termos de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e 1,7 mil toneladas de

¹ Doutora pelo Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – PPGEQ/UFRN e Pesquisadora CNPq do PCI-DB do Instituto Nacional do Semiárido /INSA , emyrbmagalhaes@gmail.com;;

² Mestrando do Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – PPGEQ/UFRN, daladie@live.com;

³ Doutor e pós-doutorando do Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – PPGEQ/UFRN, carlospadilha.eq@gmail.com;

⁴ Doutor pelo programa Renorbio da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN e Professor do Instituto Federal da Paraíba – IFPB/Picuí, francinaldos@gmail.com;

⁵ Professor orientador: Doutor, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, everaldo@eq.ufrn.br.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

amônia. Em 2014, a Unidade de Operação do Rio Grande do Norte e Ceará (UO-RNCE) apresentou, por dia, um volume de descarte de 92000 m³ e a reutilização de cerca de 60000 m³ de água produzida. A PETROBRAS objetiva, em suas perspectivas para o próximo período, a adequação das características da água produzida para seu reuso no processo, no caso do Ativo de Guamaré; e para geração de vapor e posterior injeção em reservatórios de petróleo (recuperação secundária) no caso do Ativo de Produção Alto do Rodrigues, a fim de reduzir o consumo de água dos poços artesianos para essas finalidades (PETROBRAS, 2018).

Assim, a fim de reduzir o consumo de fontes de água limpa, minimizar a quantidade de água produzida a ser transportada, tratada e descartada e reduzir os riscos ambientais, o tratamento desse efluente é imprescindível. Diversos estudos foram realizados para propor alternativas do reuso desse efluente, já que o grande volume de água produzida é visto como fonte potencial de água para vários usos, como irrigação e água de processo industrial (SIAGIAN et al., 2018).

Por outro lado, o tratamento biológico de efluentes é uma etapa de extrema importância do ponto de vista da produção mais limpa, já que não demanda a adição de produtos químicos. Ele é dividido em anaeróbico e aeróbico, sendo este último o que mais vem sendo empregado devido à sua taxa de degradação dos poluentes. Entre os variados tratamentos aeróbicos, destaca-se o de lodo ativado (BITTON, 2005).

O processo de lodo ativado é, em todo o mundo, o método de tratamento biológico mais comumente aplicado para águas residuais e saneamento básico. Empregando um consórcio microbiano misto sob condições aeróbicas e compreende uma floculação rápida dos materiais na biomassa, seguida de sua fixação e subsequente sedimentação e redução da matéria orgânica do efluente tratado, já que os microrganismos usam as substâncias orgânicas do efluente como fonte de nutrientes (substrato), transformando-a em energia, novas células, CO₂ e H₂O, NH₃ e outros produtos (GERNAEY et al., 2004; OEHMEN et al., 2010).

Dessa forma, o presente estudo objetivou avaliar, a partir de um efluente sintético mimetizando uma água produzida, a potencialidade de tratamento biológico de lodo ativado em adequar a água produzida nos parâmetros legislativos para descarte, assim como visando possibilitar alternativas para o reuso agrícola desse efluente. O estudo demonstrou que o tratamento biológico através do lodo ativado se apresentou altamente eficiente na remoção do TOG da água produzida, com eficiências, em sua maioria, superiores a 90% e conseguindo atingir adequação às exigências ambientais quanto a esse parâmetro, que deve apresentar uma concentração inferior a 20 mg/L. Por conta do desempenho do processo de lodo ativado, foi

possível concluir que o efluente tratado por esse processo apresenta capacidade promissora para reuso como recurso hídrico em demandas de maior valor agregado, minimizando o impacto desse efluente ao meio ambiente.

METODOLOGIA

Caracterização microbiológica

A determinação da presença da bactéria do gênero *Salmonella* foi dada através de metodologia realizada por DAL'MOLIN et al. (2013) com algumas modificações. Uma massa de 25 gramas de amostra foi pesada e adicionada em Erlenmeyers contendo 225 mL de água tamponada e incubados a 35 °C por 24 horas. Posteriormente, realizou-se o plaqueamento em Agar SS, com incubação a 37 °C por 48 horas. As colônias típicas de centro negro foram, então, submetidas a Agar TSI, a 37 °C por 24h. A presença da *Salmonella* é confirmada caso a cor do líquido de fundo apresente coloração amarela e a rampa no tubo, a cor vermelha.

Para a determinação da presença da *Pseudomonas aeruginosa*, a amostra foi diluída 10 vezes e 10 mL da diluição foi misturada a um volume de 90 mL do caldo TSB e submetida a 37 °C por 24 h. Em seguida, realizou-se o plaqueamento em Agar Cetrimida e incubação a 37 °C por 24 h. O crescimento de colônias esverdeadas indicaram a presença de *Pseudomonas aeruginosa* na amostra analisada (ANVISA, 2010).

Para determinação da presença da *Escherichia coli*, 1,0 mL de cada diluição foi inoculado em tubo de ensaio contendo 10 mL de Caldo LST e tubo Duhran invertido. O período de incubação foi de 24 h a 37 °C. A partir dos tubos com produção de gás foram transferidas alçadas para tubos de ensaio associados a tubos Duhran, contendo 10 mL de Caldo Verde Brilhante-Bile 2% (VB) para análise de Coliformes Totais e 10 mL de Caldo EC para a análise de Coliformes Termotolerantes/*E. coli*. Os Tubos VB foram incubados em estufa a $35 \pm 0,5$ °C por 24 - 48 h e os EC a $44,5 \pm 0,2$ °C por 24 h em banho-maria. A produção de gás nos tubos VB foi considerada positiva para coliformes totais. A partir dos tubos de EC com produção de gás foram retiradas alçadas e estriadas placas de Petri contendo cerca de 15 mL de Agar Levine Eosina Azul de Metileno (L-EMB). As placas foram incubadas em posição invertida a 37 °C por 24 h.

Parâmetros físico-químicos

A salinidade da água foi expressa indiretamente através da condutividade, cuja análise foi realizada por um condutivímetro (Digmed DM-31, Digicrom Analítica Ltda., Brasil). O pH e a turbidez foram determinadas com o auxílio de um pHmetro (Multi 340i, WTW, Alemanha)

e um condutivímetro (HI 98703, HANNA, EUA) portáteis, respectivamente. O teor de óleos e graxas foi determinado através do Analisador de TOG/TPH (Infracal, Wilks Interprise, EUA).

Água produzida sintética

A água produzida utilizada foi sintetizada utilizando metodologia descrita por Younker & Walsh (2014), com teores de óleos e graxas entre 250 e 500 mg/L e de sais de 13000 a 51000 mg/L. Os altos limites extremos desses dois parâmetros foram utilizados para se avaliar o comportamento do sistema de tratamento biológico através do lodo ativado sob condições extremas.

Tratamento com lodo ativado

O sistema operacional de tratamento biológico com lodo ativado, utilizado para a realização dos experimentos, operava diariamente por 6 h em condição aeróbica e contínua e 18 h sob anaerobiose e sem reciclo. O mesmo era formado por um tanque de aeração com volume operacional de 4,0 L (diâmetro de 18,0 cm) acoplado a um decantador com capacidade de 2,0 L (diâmetro de 9,0 cm). Uma bomba peristáltica possibilitou o transporte da água produzida a ser tratada e o reciclo do lodo decantado para o tanque de aeração.

O tanque de alimentação apresentava uma capacidade de 9,0 L e a vazão de alimentação foi de 0,11 L/h. O reciclo operou com a mesma vazão de alimentação, estabelecendo uma recirculação de razão 1:1. O efluente tratado foi retirado por gravidade da parte superior do decantador (2 L), no qual se encontrava um canal de saída para o tanque de armazenamento. O fornecimento de ar dentro do tanque de aeração, como um volume de lodo de 4 L, era garantido por meio de compressores de ar de pequeno porte com vazão de gás de 3,5 L/min, o que também garantia a agitação do tanque. O sistema operou 6 h diárias por 7 dias.

O lodo ativado utilizado neste estudo pertencia a um sistema biológico de despejo da estação de tratamento de efluentes do campus central da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (ETE-UFRN), coletado durante o período de novembro de 2017 a fevereiro de 2018, sem a presença de chuvas.

Análise estatística

A análise estatística dos dados foi obtida através do *software Statistic 7.0* utilizando o teste de Tukey para três amostras independentes, a um nível de significância de 5% ($p \leq 0.05$).

DESENVOLVIMENTO

No Brasil, a resolução CONAMA n° 430/2011 apresenta os níveis máximos permitidos na composição de um efluente para ser descartado, o qual, no que tange o teor de óleos e graxas

de origem mineral, não poderá exceder a concentração de 20 mg/L desse componente. Nela, também contam valores máximos possíveis de componentes inorgânicos, como enxofre e metais pesados; e orgânicos, tais como benzeno e clorofórmio. Dessa forma, o primeiro objetivo do presente estudo foi atingir a adequação do tratamento da água produzida quanto a esse parâmetro.

Diversos estudos demonstraram relevantes resultados, os quais classificam o tratamento biológico como efetivo e econômico no tratamento de águas residuais e emulsões contendo óleo. Microrganismos degradadores de hidrocarbonetos de petróleo, em especial bactérias, leveduras e fungos que podem crescer usando óleo bruto como fonte de carbono e energia, têm sido reportados como degradadores de óleo (LU et al., 2009).

Com relação ao sistema de tratamento de água produzida por lodo ativado, Stringfellow e Alvarez-Cohen (1999) e Tellez; Nirmalakhandan e Gardea-torresdey (2002) apontaram que esse efluente, além de apresentar grande dificuldade de biodegradabilidade por conta de sua natureza complexa, apresenta baixos teores de componentes com N e P que tendem a não permitir uma eficiente operacionalidade do tratamento de lodo ativado a longo prazo. Além disso, a alta salinidade da água produzida pode afetar o metabolismo dos microrganismos no lodo ativado, causando plasmólise e atenuando a respiração endógena (ZHAO et al., 2006). Porém, resultados de estudos já desenvolvidos comprovam a alta eficiência desse tratamento biológico no tratamento da água produzida (TELLEZ; NIRMALAKHANDAN; GARDEA-TORRESDEY, 2002, 2005). A segunda etapa presente estudo, portanto, objetivou validar, a partir da utilização de um efluente sintético, parâmetros e condições eficientes do tratamento de água produzida por lodo ativado.

O alto volume de água produzida gerada leva à crescente preocupação sobre as alternativas mais econômicas e ambientais para o seu gerenciamento, sendo a irrigação uma alternativa em potencial de reuso desse efluente, a fim de substituir a água doce na irrigação (MARQUES et al., 2015). A alta salinidade, a carga de matéria orgânica total e a presença de compostos tóxicos, como o benzeno, por exemplo, são os principais componentes desse efluente que podem influenciar negativamente ao considerar seu reuso para irrigação (PICA et al., 2017). A terceira e última etapa desta pesquisa, a qual não consta no presente trabalho, objetiva avaliar a aplicabilidade da água produzida tratada por lodo ativado na irrigação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização Microbiológica

Uma análise qualitativa da microbiota presente no lodo ativado permitiu a visualização da presença de fungos filamentosos e bactérias, dentre elas a do gênero *Pseudomonas* e da *E. coli.*, comuns à comunidade microbiana desse tipo de meio de cultura (HAILEI et al., 2017; SAUNDERS et al., 2016), o que demonstra que as condições operacionais trabalhadas permitiram um ambiente saudável para os microrganismos da biomassa.

O crescimento fúngico foi acompanhado durante 7 dias, período no qual ocorreu o processo de adaptação do lodo ativado. Apesar do significativo crescimento dos fungos nesse período, não se observou variação prejudicial na sedimentação do lodo durante o tempo no qual os experimentos ocorreram, garantindo uma boa separação no tanque de sedimentação e, portanto, a coleta da água tratada. O índice volumétrico do lodo (IVL) em todos os ensaios apresentaram valores quantitativos numa faixa de, aproximadamente, 200 ± 50 mL/g, o que segundo Sperling (2005), representa uma condição média de sedimentação no processo de lodo ativado.

Tratamento biológico da água produzida sintética

Diferentes ensaios foram realizados para avaliar a eficiência de remoção de TOG no tratamento com lodo ativado da água produzida sintética, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Ensaios de tratamento de água produzida sintética através de lodo ativado para remoção do teor de óleos e graxas

Ensaio	TOG inicial (mg/L)	Salinidade (mg/L)	TOG final (mg/L)	Remoção de TOG (%)
1	237,00 ± 12,72	13000	6,00 ± 1,41	97,47 ± 0,60 ^a
2	495,50 ± 10,61	13000	67,63 ± 2,83	86,88 ± 0,57 ^b
3	255,00 ± 4,24	51000	2,50 ± 0,71	99,01 ± 0,28 ^c
4	532,00 ± 4,24	51000	20,50 ± 0,73	96,15 ± 0,13 ^d
5	385,50 ± 3,54	32000	5,00 ± 0,68	98,57 ± 0,18 ^c

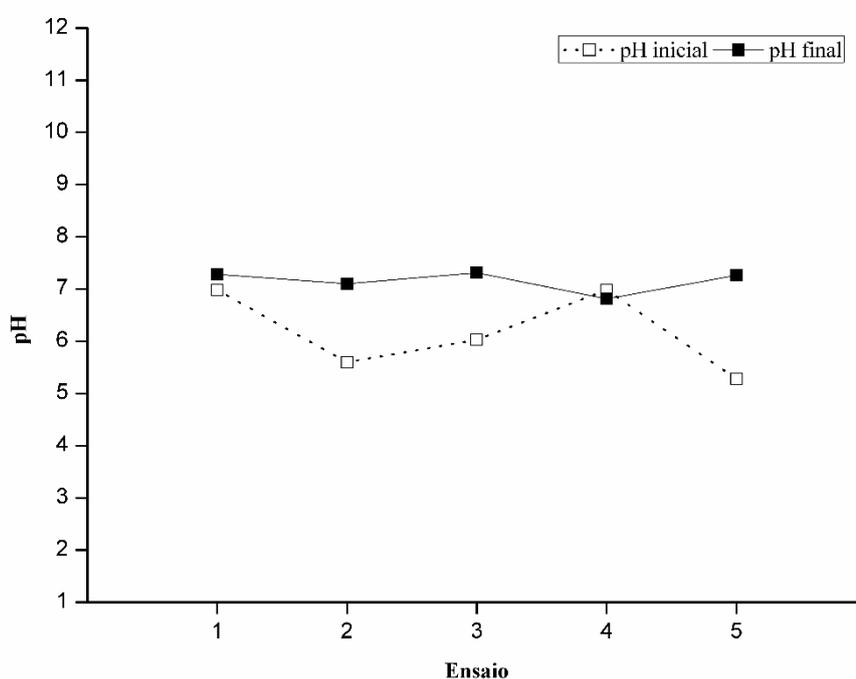
Letras semelhantes indicam que não houve diferença estatística significativa ($p \leq 0.05$).

Os resultados obtidos apontam a capacidade efetiva do lodo ativado na remoção do teor de óleos e graxas, já que a maioria dos ensaios realizados apresentou uma eficiência de remoção entre 96 e 99%, corroborando com o estudo desenvolvido por Tellez et al. (2002), que

apresentou resultados de eficiência de remoção de TOG de 98% ao utilizar o mesmo tratamento biológico em uma água produzida real, com teor de óleos e graxas de 147 ± 35 mg/L.

Os resultados também demonstram que a flora microbiana presente no lodo ativado foi capaz de se adaptar às diferentes condições salinas sem afetar a eficiência do tratamento, fato também observado por Freire et al. (2001). Dessa forma, apesar da salinidade ser um fator indesejado no tratamento, já que provoca estresse no ambiente, efeitos de quebra microbiana e perda da biomassa (PIEDAD DÍAZ et al., 2000), é possível afirmar que o período no qual os ensaios foram realizados (7 dias) foi suficiente para a adaptação dos microrganismos presentes no lodo. Essa capacidade da cultura microbiana do lodo ativado de se adaptar aos diferentes e severos meios salinos pode também ser observada através da Figura 1, denotando-se a tendência do meio em permanecer no pH neutro, independente das condições iniciais às quais foi submetido.

Figura 1: Comportamento do pH inicial e final do lodo ativado nos ensaios realizados



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do tratamento biológico através do lodo ativado se apresentou como promissora para a adequação ambiental da água produzida no que se refere ao teor de óleos e

graxas, além de ser uma alternativa em potencial para utilização na germinação e irrigação de plantas que não tenham a finalidade alimentícia.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório plenorelatório pleno / Agência Nacional de Águas**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura_completo.caf2236b.pdf#page=8&zoom=auto,-314,843>

ANVISA. **Farmacopéia Brasileira, volume 1**, 2010. (Nota técnica).

BITTON, G. **Wastewater Microbiology**, 3ª ed., Wiley, ISBN 0-47-65071-4, 2005.

CONAMA. Resolução CONAMA 430/2011. **Diário Oficial da União**, p. 9, 2011.

DA COSTA, J. A. et al. Enhanced enzymatic hydrolysis and ethanol production from cashew apple bagasse pretreated with alkaline hydrogen peroxide. **Bioresource Technology**, v. 179, p. 249–259, 2015.

DAL'MOLIN, L. F. C. S. et al. Avaliação microbiológica e física química de produtos minimamente processados comercializados na região de Cuiabá-MT. **Connectionline**, n. 10, p. 130-139, 2013.

FREIRE, D. D. C.; CAMMAROTA, M. C.; SANT'ANNA, G. L. Biological Treatment of Oil Field Wastewater in a Sequencing Batch Reactor. **Environmental Technology**, v. 22, n. 10, p. 1125–1135, 2001.

GERNAEY, K. V et al. Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: state of the art. **Environmental Modelling & Software**, v. 19, n. 9, p. 763–783, 2004.

HAILEI, W. et al. Metagenomic insight into the bioaugmentation mechanism of *Phanerochaete chrysosporium* in an activated sludge system treating coking wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 321, p. 820–829, 2017.

LU, M. et al. Biological treatment of oilfield-produced water: A field pilot study. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 63, n. 3, p. 316–321, 2009.

MARQUES, M. R. DA C. et al. Effects of untreated and treated oilfield-produced water on seed germination, seedling development, and biomass production of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 20, p. 15985–15993, 2015.

MMA. Programa Água Doce - Documento Base. **Ministério do Meio Ambiente**, p. 324, 2012.

MNIF, I.; GHRIBI, D. Review lipopeptides biosurfactants: Mean classes and new insights for industrial, biomedical, and environmental applications. **Biopolymers**, v.104, n.3, p.129–147, 2015.

OEHMEN, A. et al. Incorporating microbial ecology into the metabolic modelling of polyphosphate accumulating organisms and glycogen accumulating organisms. **Water Research**, v. 44, n. 17, p. 4992–5004, 2010.

PETROBRAS. **Água Na Petrobras**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/sociedade-e-meio-ambiente/meio-ambiente/recursos-hidricos/>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

PICA, N. E. et al. Produced water reuse for irrigation of non-food biofuel crops: Effects on switchgrass and rapeseed germination, physiology and biomass yield. **Industrial Crops and Products**, v. 100, p. 65–76, 2017.

PIEDAD DÍAZ, M. et al. Isolation and Characterization of Novel Hydrocarbon-Degrading Euryhaline Consortia from Crude Oil and Mangrove Sediments. **Marine Biotechnology**, v. 2, n. 6, p. 522–532, 2000.

SAUNDERS, A. M. et al. The activated sludge ecosystem contains a core community of abundant organisms. **ISME Journal**, v. 10, n. 1, p. 11–20, 2016.

SIAGIAN, U. W. R. et al. **Oilfield Produced Water Reuse and Reinjection with Membrane**. MATEC Web of Conferences, 156, 08005, 2018

SPERLING, M. VON. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. 452 p. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2005.

STRINGFELLOW, W. T.; ALVAREZ-COHEN, L. Evaluating the relationship between the sorption of PAHs to bacterial biomass and biodegradation. **Water Research**, v. 33, n. 11, p. 2535–2544, 1999.

TELLEZ, G. T.; NIRMALAKHANDAN, N.; GARDEA-TORRESDEY, J. L. Performance evaluation of an activated sludge system for removing petroleum hydrocarbons from oilfield produced water. **Advances in Environmental Research**, v. 6, n. 4, p. 455–470, 2002.

YOUNKER, J. M.; WALSH, M. E. Bench-scale investigation of an integrated adsorption-coagulation-dissolved air flotation process for produced water treatment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n. 1, p. 692–697, 2014.

TELLEZ, G. T.; NIRMALAKHANDAN, N.; GARDEA-TORRESDEY, J. L. Kinetic evaluation of a field-scale activated sludge system for removing petroleum hydrocarbons from oilfield-produced water. **Environmental Progress**, v. 24, n. 1, p. 96–104, 2005.

ZHAO, X. et al. Oil field wastewater treatment in Biological Aerated Filter by immobilized microorganisms. **Process Biochemistry**, v. 41, n. 7, p. 1475–1483, 2006.