

III-242 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE LÍQUIDO DE UM ATERRO SANITÁRIO E PROPOSIÇÃO DE SISTEMA DE TRATAMENTO AVANÇADO

Samara Teixeira Pereira⁽¹⁾

Graduada em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal da Bahia - IFBA. Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB.

Elisângela Maria Rodrigues Rocha⁽²⁾

Professora Adjunta da UFPB.

Larissa Granjeiro Lucena⁽³⁾

Graduado em Engenharia Ambiental pela UFPB. Msc. em Engenharia Civil e Ambiental pela UFPB. Doutoranda em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará – UFC.

Arthur Marinho Cahino⁽⁴⁾

Graduado em Engenharia Ambiental pela UFPB. Mestrando em Energias Renováveis pela UFPB.

Mariana Medeiros Batista⁽⁵⁾

Graduada em Engenharia Ambiental pela UFPB.

Endereço⁽¹⁾: Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco - João Pessoa - PB - CEP: 58051-900 - Brasil - Tel: +55 (83) 3216-7200 - e-mail: samaraeng.amb@gmail.com

RESUMO

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) têm demonstrado ser uma opção adequada para o tratamento de efluentes contendo compostos tóxicos e/ou não biodegradáveis, inclusive no tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Esses processos diferenciam por transformar a grande maioria dos contaminantes orgânicos em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos, através de reações de degradação que envolvem espécies transitórias oxidantes, principalmente os radicais hidroxila. Nesse contexto, a presente pesquisa teve como objetivo a caracterização física e química do lixiviado bruto proveniente do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP) e a proposição de um sistema avançado como alternativa para o tratamento desse efluente. Para isso, foram analisados os seguintes parâmetros: pH, cor, condutividade elétrica, alcalinidade total, cloretos, demanda química de oxigênio total (DQO), nitrogênio amoniacal, nitrato, série de sólidos e demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅). A partir dessa caracterização, buscou-se uma proposta de tratamento avançado, através de levantamento bibliográfico. Considerou-se para isso, a eficiência dos POAs em relação à remoção de cor e de matéria orgânica recalcitrante (DQO), buscando, desta maneira, propor um sistema combinado de tratamento para o lixiviado do aterro estudado. Os valores encontrados referentes a caracterização conferem ao lixiviado bruto, características de aterro estabilizado ou antigo, pois o mesmo possui complexa composição, caracterizada por forte coloração, pH básico, elevados valores de condutividade, alcalinidade e íons, especialmente cloretos, e uma quantidade considerável de sólidos totais, com 66 % de fração inorgânica. Diante disso, o presente trabalho propõe um sistema combinado composto por fotocatalise homogênea (H₂O₂/UV) com a utilização de UV artificial e solar, visando aumentar a biodegradabilidade do efluente e diminuir o tempo de tratamento do sistema de lagoas já implantado no aterro sanitário em questão. Portanto, conclui-se que as características físicas e químicas do lixiviado bruto proveniente do aterro estudado, conferem a esse efluente elevado potencial poluidor e recalcitrância. Uma das formas de minimizar os impactos ambientais causados pelo seu lançamento no meio ambiente é o seu tratamento adequado. Sendo assim, ressalta-se a ineficiência dos processos biológicos para o tratamento do lixiviado bruto, tendo então a necessidade de estudos que busquem alternativas para complementar o sistema tradicional de tratamento desse efluente.

PALAVRAS-CHAVE: Recalcitrante, Efluente, Processos Avançados, Lixiviado Bruto.

INTRODUÇÃO

O constante aumento da população mundial, aliado ao consumismo desenfreado e a obsolescência dos produtos, são fatores que influenciam na maior geração de resíduos sólidos (RS) no mundo. No Brasil, são gerados anualmente cerca de 80 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, desses, 91% são coletados

(ABRELPE, 2015) e dispostos, quase a sua totalidade, no solo, seja na forma de aterros controlados e vazadouros a céu aberto (38%) ou aterros sanitários (59%), sendo que, os aterros sanitários constituem um dos métodos mais utilizados na gestão dos resíduos sólidos urbanos (ERKAN; APAYDIN, 2015).

O aterro sanitário consiste na disposição dos RS em área impermeabilizada com recobrimento e compactação dos mesmos com camadas sucessivas de solo. Além disso, os processos de decomposição física, química e biológica dos RS, geram efluentes líquidos e gasosos, dando-se destaque à parte líquida, mais conhecida como lixiviado, que é oriunda da umidade natural dos próprios resíduos, da decomposição da matéria orgânica e da água pluvial que infiltra e percola no interior das células de aterramento (TELLES, 2010). O lixiviado possui características intrínsecas como elevada demanda de oxigênio e de concentração de nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$), baixo potencial de degradação biológica e presença de metais e substâncias que garantem alta toxicidade ao efluente (CAMARGO, 2012). Portanto, essas características garantem ao lixiviado dificuldade no seu tratamento e grande potencial de contaminação dos recursos hídricos e do solo.

A depender da natureza do poluente, utilizam-se no tratamento desses efluentes líquidos, métodos primários, secundários e terciários. Os processos biológicos são os mais utilizados no cenário nacional, porém, eles vêm se mostrando insuficientes para o atendimento aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação vigente (MORAVIA *et al.*, 2011). Em alguns casos, não se aplicam os tratamentos biológicos devido ao caráter refratário de muitos compostos orgânicos a este tipo de tratamento. Por essa razão, métodos físico-químicos são perfeitamente aplicados.

Dentro deste contexto, os Processos Oxidativos Avançados (POAs) aparecem como uma alternativa promissora, especialmente devido às características como elevadas capacidade e velocidade de degradação de compostos recalcitrantes (CAVALCANTI, 2013). Os POAs destacam-se dentre os processos desenvolvidos para tratar efluentes complexos, pois possui alta eficiência na degradação de numerosos compostos orgânicos empregando excelentes resultados na remediação de espécies químicas recalcitrantes (MARTINS, 2014). A principal característica para a elevada eficácia dos POAs consiste na produção de radicais livres reativos, tendo o radical hidroxila ($\text{OH}\bullet$) como o principal. A geração desse radical pode ocorrer por aplicação da radiação UV (natural ou artificial) ou pela utilização de agentes oxidantes fortes como ozônio (O_3) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), bem como através diversas combinações possíveis, entre radiação e os agentes oxidantes (ARAÚJO, 2016).

Além disso, a depender do número de fases envolvidas no processo, os POAs dividem-se em processos heterogêneos e homogêneos. A ativação de um catalizador semiconductor por irradiação, na maioria das vezes, em estado sólido é o princípio do processo heterogêneo. Os homogêneos não utilizam catalizadores na forma sólida, sendo o H_2O_2 (peróxido de hidrogênio) um dos principais oxidantes, sob irradiação UV, podendo atingir uma maior eficiência com o uso em excesso deste peróxido em condições controladas de pH (LOPES; BIDOIA, 2011). A utilização de luz solar é uma alternativa promissora do ponto de vista econômico para fornecer energia ao processo quando comparada com o emprego de outras fontes artificiais, como a radiação UV artificial (COSTA *et al.*, 2013).

Portanto, mediante ao que foi exposto, o presente trabalho tem como objetivo a caracterização física e química do lixiviado bruto proveniente do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa e a proposição de um sistema avançado como alternativa para o tratamento desse efluente.

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E COLETA DAS AMOSTRAS

O Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP) está localizado na região metropolitana do município de João Pessoa e possui uma área de aproximadamente 100 hectares (Figura 1). Em operação desde 2003, o aterro recebe resíduos sólidos urbanos (classe II-A) de seis municípios: Alhandra, Conde, Cabedelo, Bayeux, Santa Rita e João Pessoa (JOÃO PESSOA, 2014).

Para o tratamento do lixiviado proveniente do ASMJP, tem-se um sistema biológico composto por três tanques de decantação, associados a duas lagoas anaeróbias e duas facultativas (Figura 1). Ao final do tratamento, o efluente é conservado em três lagoas de reservação, posteriormente, parte desse líquido é direcionada à massa

de resíduos, possibilitando a recirculação do lixiviado nas células. As amostras do lixiviado bruto foram coletadas na tubulação, antes da chegada do mesmo no sistema de lagoas. O período de coleta foi nos meses de abril, maio, julho e setembro do ano de 2015, abrangendo os períodos chuvosos e secos no município de João Pessoa. No ano de 2016, só foram possíveis realizar as coletas nos meses de agosto e setembro, por motivo de logística para a realização das mesmas. Sendo assim, tem-se um total de seis amostras que foram colocadas em recipientes plásticos (5L) e encaminhadas ao Laboratório de Saneamento da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), onde foram armazenadas a 4 °C para preservação de suas características (APHA; AWWA; WEF, 2005).

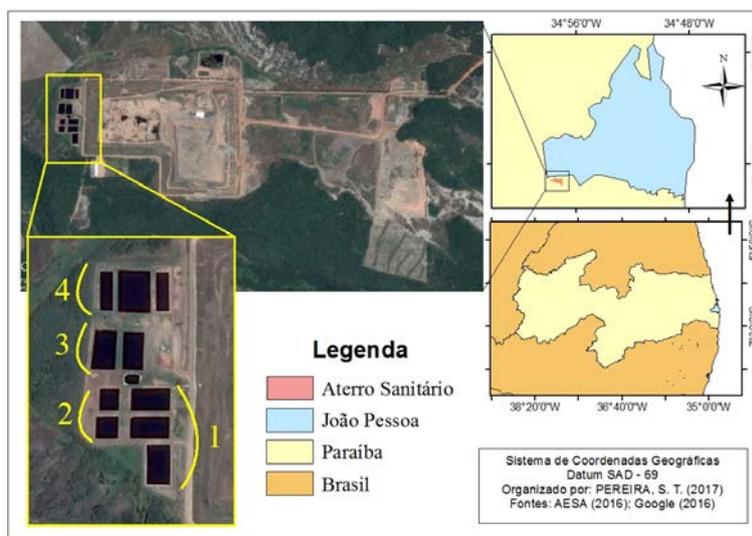


Figura 1: Aterro Sanitário metropolitano de João Pessoa, com destaque para o sistema de tratamento de lixiviado: (1) Tanques de decantação, (2) Lagoas anaeróbicas, (3) Lagoas facultativas, (4) Lagoas de reservação.

DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

Para a caracterização do lixiviado bruto, foram analisados os seguintes parâmetros: pH, cor, condutividade elétrica (CE), alcalinidade total, cloretos, demanda química de oxigênio total (DQO), amônia (nitrogênio amoniacal), nitrato e série de sólidos (sólidos totais – ST, sólidos totais fixos – STF e sólidos totais voláteis – STV), seguindo metodologias do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2005) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), pela leitura direta em aparelho OxiTop S6/IS12/IS12-6, conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros Físicos e Químicos e Respetivos Métodos de Análises.

PARÂMETROS	MÉTODO
pH	Método Eletrométrico
Cor (mg. Pt-Co. L ⁻¹)	Método do Platina-Cobalto
Turbidez (NTU)	Método Nefelométrico
Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹)	Método Eletrométrico
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	Método da Titulação Potenciométrica
Nitrogênio amoniacal (mg N.L ⁻¹)	Método Fotométrico da Nesslerização Direta
Nitrato (mg. N-NO ₃ .L ⁻¹)	Método do Salicilato
Cloretos (mg. Cl ⁻ . L ⁻¹)	Método Argentométrico
DBO ₅ (mg. O ₂ .L ⁻¹)	Método Respirométrico
DQO (mg. O ₂ .L ⁻¹)	Método Titulométrico da Refluxação Fechada
Série de Sólidos (mg.L ⁻¹)	Método Gravimétrico

PROPOSIÇÃO DE TRATAMENTO AVANÇADO

A partir da caracterização do lixiviado bruto originado no ASMJPA, buscou-se uma proposta do tratamento avançado, através de levantamento bibliográfico. A pesquisa foi realizada em trabalhos científicos produzidos nos últimos dez anos, em periódicos nacionais e internacionais e acerca dos POAs. Considerou-se para isso, a eficiência dos POAs em relação à remoção de cor e de matéria orgânica recalcitrante (DQO), buscando, desta maneira, propor um sistema combinado de tratamento para o lixiviado do aterro estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO BRUTO DO ASMJP

Na Tabela 2, estão expostos os dados referentes à caracterização física e química do lixiviado bruto. Vale ressaltar que, a referida tabela não apresenta uma estatística totalmente descritiva por tratar-se de um trabalho com número reduzido de amostras. Mesmo assim, nota-se que variabilidade das amostras foi representativa, apresentando coeficiente de variação (CV) superior a 35%, na maioria dos parâmetros, indicando que os dados se apresentaram distintos ao longo do período de coleta. Essa variação pode estar relacionada com as mudanças sazonais no decorrer do ano (inverno e verão) e interferindo na concentração de determinados compostos presentes no lixiviado.

De acordo com Moravia *et al.* (2011), a biodegradabilidade decresce ligeiramente em períodos de baixo volume de chuva, provavelmente devido a presença de amônia e metais que inibem a ação de microrganismos envolvidos na degradação. Além disso, segundo Contrera (2008), alterações referentes à vazão gerada, à composição química e à concentração do lixiviado, ocorrem conforme mudanças de local para local, sazonais e também ao longo da vida útil do aterro.

Tabela 2: Caracterização Física e Química do Lixiviado Bruto do ASMJP no Ano de 2015.

PARÂMETROS	NÚMERO AMOSTRAL	MÉDIA± DP	CV
pH	6	7,72 ± 0,39	5.04
Cor (mg. Pt-Co. L ⁻¹)	6	7924,75 ± 3695,40	46.63
Turbidez (NTU)	6	301,89 ± 161,23	53.41
Condutividade elétrica - CE (µS.cm ⁻¹)	6	15,35 ± 6,06	39.43
Cloretos (mg. Cl ⁻ . L ⁻¹)	5	3162,03 ± 636,84	20.14
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	6	9220,83 ± 2565,46	27.82
ST (mg.L ⁻¹)	5	15137,50 ± 3764,95	24.87
STV (mg.L ⁻¹)	5	4557,23 ± 2422,21	53.15
STF (mg.L ⁻¹)	5	10580,27 ± 1406,82	13.10
N-amoniaco (mg N.L ⁻¹)	6	1853,76 ± 474,52	25.60
Nitrato (mg. N-NO ₃ .L ⁻¹)	5	7,18 ± 2,56	35.60
DBO ₅ (mg. O ₂ .L ⁻¹)	6	923,78 ± 727,38	78.74
DQO (mg. O ₂ .L ⁻¹)	6	9595,59 ± 6040,04	62.95
DBO ₅ /DQO	6	0,09 ± 0,04	41.88

Existem diferentes metodologias na literatura para a caracterização do lixiviado quanto à idade do aterro. Diante disso, o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB aponta que para uma relação DBO/DQO > 0,5 o aterro é considerado novo e instável, entre 0,1 e 0,5 indica um aterro moderadamente estável, e finalmente, para uma relação DBO/DQO < 0,1 o aterro é considerado antigo. De forma similar, Hermosilla, Cortijo e Huang (2009), afirmam que lixiviados jovens (< 1-2 anos) possuem na maioria das vezes, uma razão DBO₅/DQO > 0,6, enquanto em lixiviados antigos (> 10 anos) essa razão, geralmente, não ultrapassa 0,3, garantindo elevada fração de substâncias refratárias. Portanto os valores expostos na Tabela 2 conferem ao lixiviado bruto do ASMJP, de forma geral, características de aterro estabilizado ou antigo, pois o mesmo possui também complexa composição, caracterizada por forte coloração, pH básico, elevados valores de condutividade, alcalinidade e íons, especialmente cloretos, e uma quantidade considerável de sólidos totais, com 66 % de fração inorgânica.

Conforme Souto e Povinelli (2007), no Brasil, os lixiviados de aterros sanitários antigos possuem uma faixa de pH entre 7,2 e 8,6, já os de aterros mais novos apresentam pH mais baixos. Portanto, o pH básico (7,54 em média) encontrado do lixiviado em estudo corrobora com a característica de aterro antigo do ASMJP (>10 anos), visto que este aterro está operando desde o ano de 2003. Além disso, mesmo o lixiviado provindo de resíduos em diferentes estágios de decomposição, o mecanismo de recirculação também favorece o envelhecimento do mesmo com a inserção de materiais mais recalcitrantes na célula do aterro (RIGUETTI, 2015).

Os valores médios de DBO₅ e DQO foram 923,78 e 9595,59 mg. O₂.L⁻¹, respectivamente. Os dados de DQO revelam a elevada concentração de substâncias orgânicas não-biodegradáveis, tais como ácidos húmicos e fúlvicos. Enquanto que, a DBO₅ indica a concentração de materiais biodegradáveis, possuindo valores elevados especialmente em lixiviados de aterro sanitário produzidos em estágios iniciais de decomposição de resíduos (PAREDES, 2012).

Quanto à razão de DBO₅/DQO, conforme a fase de degradação do lixiviado, o mesmo pode apresentar elevada variação dessa razão, indo de valores semelhantes aos característicos de efluentes sanitários (>0,5), que são altamente biodegradáveis, a valores próximos a 0,1 (MORAIS, 2005).

Durante o envelhecimento do aterro há um aumento na concentração de amoníaco no lixiviado, o que contribui para a toxicidade desse efluente, sendo essa característica atribuída ainda à presença de grande variedade de compostos persistentes, metais potencialmente tóxicos, presença de elevada alcalinidade (RAGASSON, 2013) e ao efeito sinérgico entre essas diferentes substâncias.

Em relação à condutividade elétrica verificou-se a média de 15,35 µScm⁻¹, o que indica a elevada presença de espécies iônicas na solução. Ressalta-se que há uma forte correlação entre a condutividade e nitrogênio amoniacal total e a interferência do período chuvoso nos valores desse parâmetro, em que a diluição do lixiviado proporciona valores menores de condutividade. Os elevados valores de condutividade expostos assemelham-se com os encontrados por Rigueti *et al.* (2015), em que seus estudos apresentaram valores de condutividade elétrica acima de 5 µS.cm⁻¹, indicando grande capacidade poluidora do lixiviado podendo, ao longo do tempo, provocar a contaminação e a salinização de um provável ambiente receptor. Vale destacar ainda que a elevada condutividade verificada no efluente pode estar relacionada à elevada concentração de sais, como cloretos (2851,28 mg Cl⁻. L⁻¹, em média).

Outro fator importante é a presença de sólidos totais, a qual contribui de forma expressiva para o aumento da turbidez, em que tendo uma grande carga de sólidos presentes no lixiviado, tem-se em concomitância, pouca entrada de luz no líquido, levando a diminuição do valor de saturação do oxigênio dissolvido.

Diante do exposto, as características físicas e químicas do lixiviado bruto proveniente do ASMJP, conferem a esse efluente elevado potencial poluidor e recalcitrância. Uma das formas de minimizar os impactos ambientais causados pelo seu lançamento no meio ambiente é o seu tratamento adequado. Sendo assim, ressalta-se a ineficiência dos processos biológicos para o tratamento do lixiviado bruto, tendo então a necessidade de estudos que busquem alternativas para complementar o sistema tradicional de tratamento desse efluente.

PROPOSIÇÃO DE TRATAMENTO AVANÇADO

Dentro do contexto apresentado e com base nas características que atribuem ao lixiviado bruto do ASMJP caráter tóxico e recalcitrante, torna-se de grande valia estudos de técnicas que minimizem a geração e busquem o tratamento adequado deste efluente, uma vez que, danos irreversíveis ao meio ambiente e problemas à saúde da população podem ser causados com o lançamento direto do lixiviado no solo ou em recursos hídricos.

Todavia, ressalta-se que, na escolha do sistema de tratamento do lixiviado, os principais fatores que devem ser levados em consideração são: as características do efluente, que podem variar tanto ao longo do tempo, quanto espacialmente; os aspectos legais; custos e tecnologias disponíveis (QUEIROZ *et al.*, 2011).

Em relação aos POAs, estes possuem a capacidade de decompor total ou parcialmente os compostos recalcitrantes em substâncias mais facilmente degradáveis, mudando sua estrutura química, resultando em substâncias menos ofensivas ou inertes como dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos de fácil

degradação por tecnologias comuns (BRITO; SILVA, 2012). Porém, tem-se a possibilidade da geração de subprodutos mais tóxicos e menos biodegradáveis do que os compostos originais, como os poluentes orgânicos persistentes (POPs), sendo a geração desses, um critério importante na avaliação de tecnologias de tratamento.

Diante disso, vários métodos têm sido considerados no desenvolvimento de metodologias eficientes para destruir os POPs, como fotólise, fotocatalise, ozonólise, oxidação Fenton, biodegradação, entre outros (VALLEJO *et al.*, 2015). A Tabela 3 apresenta alguns estudos desenvolvidos utilizando POAs no tratamento de lixiviado e os percentuais de remoções de cor e DQO.

Tabela 3: Tratamentos Utilizando POAs Aplicados em Lixiviado de Aterro Sanitário.

REFERÊNCIA	POA	COR (PT-CO)	DQO (mg/l)	REMOÇÃO DE COR	REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA	TIPO DE LIXIVIADO	LIMITAÇÕES
Batista (2015)	Foto-Fenton/ UVsolar	5.739	3356	87%	82%	Lixiviado previamente tratado por sistema de lagoas facultativas	Problemas operacionais referentes à perda de carga do fotorreator. Elevada geração de lodo. Presença de nitrogênio amoniacal no efluente final.
Brito (2014)	Ozonização + Ferro	1483	3565	87%	82%	Lixiviado Bruto	Elevado custo de implantação e operação. A concentração de ferro interferiu na reação de ozonização do ferro, com a formação de espuma e de material insolúvel. Dificuldade no ajuste do pH.

Brito-Pelegri <i>et al.</i> , (2011)	H ₂ O ₂ /UV artificial	2,260 (Absorbância – Abs.)	1588 (carbono orgânico total)	91%	46%	Lixiviado previamente tratado por um sistema de filtração lenta	Dificuldade em manter a alcalinidade do efluente durante e ao final do processo de tratamento.
Carissimi e Rosa (2012)	Foto- Fenton/ UVartifi- cial	-	5100	-	80%	Lixiviado Bruto	Elevada geração do lodo
Hilles <i>et al.</i> (2016)	Persulfato de Sódio combinado com H ₂ O ₂	-	2000	-	81%	Lixiviado previamente tratado por filtração	A maior remoção foi obtida em pH altamente alcalino (pH 11).
Lucena (2014)	Foto- Fenton/ UVsolar	-	3456	-	89%	Lixiviado proveniente do sistemas de lagoas de estabilização	Dificuldade na determinação de razão ótima entre os reagentes devido a variabilidade do lixiviado
Martins (2014)	H ₂ O ₂ e Foto- Fenton/ UVartifi- cial	18951	17700	95% para Foto- Fenton/ UVartifi- cial	67% para H ₂ O ₂ /U Vartifi- cial E 96% para Foto- Fenton/ UVartifi- cial	Lixiviado Bruto	No processo de H ₂ O ₂ /UVartifi- cial a DQO ainda de manteve elevada e não houve remoção de cor, tendo a necessidade de aumento da incidência da radiação UV. No processo de Foto- Fenton/UVartifi- cial tem-se a exigência de duas etapas de acerto de pH.
Meeroff <i>et al.</i> (2012)	TiO ₂ /UV artificial	>500	5200	90%	70%	Lixiviado Bruto	Necessidade elevado tempo de incidência da radiação UV artificial
Vasconcelos <i>et al.</i> , (2017)	Fenton/ H ₂ O ₂	6227	3370	-	82%	Lixiviado Bruto	Elevada concentração de H ₂ O ₂ residual

Vilar <i>et al.</i> , (2011)	Foto- Fenton/ UVsolar	1.07 (Abs. Com diluição o 1:25)	4505	86%	89%	Lixiviado previamente tratado por lodos ativados	Aumento da concentração do nitrato após o experimento
---------------------------------	-----------------------------	--	------	-----	-----	--	--

Com base nos trabalhos supracitados, nos POAs, diversos reagentes podem ser utilizados para a geração dos radicais hidroxilas, sendo os mais utilizados o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o reagente de fenton e o dióxido de titânio (TiO_2). Além desses, necessita-se ainda a adição de ativadores tais como sais de ferro, ozônio e/ou luz ultravioleta para produzir a alta taxa de radicais requerida (SANTOS, 2010).

Portanto, mesmo apresentando bons resultados de eficiência, existem fatores que podem afetar o processo oxidativo, tais como a dosagem de reagentes, destacando a relação entre a dosagem de oxidante e catalisador, tipo de catalisador, o tempo de reação, o pH do meio e a temperatura (AMORIM *et al.*, 2009). Em muitos casos, esses fatores, são responsáveis pela elevação do custo dos POAs no tratamento de lixiviado, tornando inviáveis suas aplicações. Além disso, assim como o ASMJP, grande parte dos aterros sanitários no Brasil, possui o sistema biológico no tratamento de lixiviado, porém o mesmo não garante boa eficiência de remoção de compostos recalcitrantes. Os insucessos obtidos no Brasil e no mundo mostram a necessidade de atualização dos sistemas empregados, buscando novas tecnologias adequadas para o tratamento de lixiviado e que possam ser aplicados dentro da realidade brasileira (POVINELLI; SOBRINHO, 2009).

Nesse contexto, o POA pode ser uma alternativa para o pré ou pós-tratamento, formando um sistema combinado. Segundo Costa e Cangerana (2016), os POAs proporcionam compatibilidade na junção com os processos convencionais, possibilitando benefícios aos processos biológicos, como também são favoráveis na etapa de tratamento final para remoção dos recalcitrantes, diminuindo assim custo de implantação e manutenção desses processos.

Queiroz *et al.* (2011), que utilizaram em seus estudos, *stripping* como pré-tratamento de lixiviado bruto para redução da carga de amônia a montante de sistemas biológicos de tratamento. Os autores afirmam que esse processo é especialmente atrativo, uma vez que o efluente bruto possui, normalmente, valores de pH > 8,5, tornando-se dispensável a utilização de alcalinizante e, de certo modo, desonera o processo de tratamento.

Ao considerar a ineficiência do sistema de lagoas facultativas no tratamento de lixiviado do ASMJP, afirmada por Batista *et al.* (2016), quando dizem que, esse efluente final possui forte coloração, uma quantidade considerável de sólidos totais e elevados valores de DBO e DQO, tem-se a necessidade de modernização dessa tecnologia. Diante disso, o presente trabalho propõe um sistema combinado composto por fotocatalise homogênea (H_2O_2/UV), visando aumentar a biodegradabilidade do efluente e diminuir o tempo de tratamento do sistema de lagoas já implantado no aterro sanitário em questão (Figura 2).

O H_2O_2 é um oxidante eficiente, seguro e de custo acessível, tendo como principal característica a elevada ação energética oxidante e não contaminante, mas necessita da adição de ativadores (Moravia, 2007). Nesse caso, sugere-se a utilização da combinação de radiação ultravioleta (UV) artificial e solar. A utilização dessa combinação justifica-se pela ampla disponibilidade da UV solar na região nordeste, o que gera benefícios econômicos e ambientais, contudo está sujeita as variâncias climáticas. Fato esse, não observado nas referências supracitadas que se utilizaram de radiação artificial. Porém, a utilização da energia artificial, pode acarretar em custos mais elevados com a aquisição e utilização das lâmpadas.

Sendo assim, espera-se, a partir de estudos mais avançados, encontrar um equilíbrio entre as vantagens e desvantagens de ambas as radiações ultravioletas. Vale ressaltar, a dificuldade de encontrar estudos que utilizaram sistemas que utilizaram as radiações UV artificial e solar em combinação.

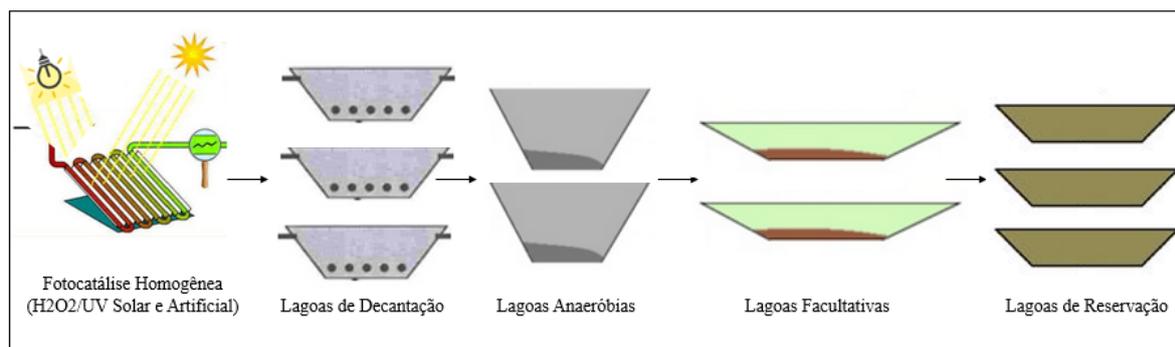


Figura 2: Esquema de sistema combinado com Fotocatálise homogênea e lagoas facultativas para o tratamento do lixiviado do ASMJP.

Conforme Martins 2014, fatores como intensidade de radiação, concentração de H_2O_2 , tempo de exposição e volume da solução podem contribuir para boa eficiência na remoção de cor e DQO no tratamento de lixiviado. Sendo assim, para obter resultados significativos é necessário a realização de planejamentos experimentais que visam a otimização do processo, baseados nas variáveis interferentes e respostas.

Brito-Pelegrini *et al.* (2011), utilizaram como variáveis interferentes, em seus estudos, a vazão de ar, temperatura e potência da lâmpada, e como respostas a remoção da coloração, no processo de H_2O_2/UV artificial aplicado ao tratamento de lixiviado proveniente do aterro sanitário localizado na cidade de Limeira – SP. Segundo os autores, foi obtida, a uma temperatura de $45^\circ C$, com lâmpada de 400 W e sem injeção de ar, a porcentagem de 90,70% de redução da cor e 46% de matéria orgânica.

Resultados semelhantes foram encontrados por Cahino *et al.* (2014), em que, tendo como variáveis estudadas a concentração de H_2O_2 , pH e tempo de exposição da radiação solar, encontraram resultados com redução de cor próxima aos 70%.

Sendo assim, considerando os bons resultados de remoção de cor e matéria orgânica recalcitrante, encontrados na literatura, são de grande valia pesquisas que analisem o uso dos POAs, no tratamento do lixiviado bruto proveniente do ASMJP. Dessa maneira, o presente trabalho possui um diferencial em virtude de apontar a possibilidade da utilização em conjunta das radiações UV artificial e solar. Nesse caso, buscou-se equilibrar benefícios e os danos, dos dois tipos de radiação referentes, principalmente, ao tempo de exposição e custos econômicos.

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que o lixiviado em estudo possui características refratárias, o que evidencia a necessidade de um tratamento físico-químico que venha a aumentar biodegradabilidade deste efluente, o tornando possível de ser tratado pelo sistema biológico já implantando no ASMJP.

Neste contexto, ressaltam-se os POAs como alternativa de pré-tratamento, em especial a fotocatalise homogênea (H_2O_2/UV), a partir do emprego conjunto das radiações UV artificial e solar. Sendo essa combinação um fator atrativo, pois busca o equilíbrio entre as vantagens e desvantagens de ambas as radiações, principalmente, quanto ao tempo de exposição, aos custos econômicos, bem como à eficiência de degradação de poluentes recalcitrantes.

Porém, para resultados mais precisos é necessário estudar as variáveis interferentes no processo, buscando um sistema otimizado, um monitoramento por um período maior das características do lixiviado bruto e estudos mais aprofundados quanto à viabilidade, custo e eficiência do POA sugerido com presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. São Paulo: ABRELPE, 2015. 92p.
2. AMORIM, A. K. B. LANGE, L.C. JUCA, J. F.T. MOREIRA, F.A. MORAVIA, W.G. MORETTO, M. R. D.SILVA, F. M.S. LINS, E. A. M. Tratamento Físico-químico de Lixiviados: estudos em escala de bancada com precipitação química, coagulação/floculação, adsorção em carvão ativado e reagente de fenton. In: PROSAB. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Cap. 4.
3. APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19^a Ed. American Public Health Association, Washington, DC, 2005.
4. ARAÚJO, K. S. *Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais*. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. vol. 11, n. 2, p. 387-401, 2016.
5. BATISTA, M.M. Eficiência do processo foto-Fenton solar em um fotorreator piloto no pós-tratamento do lixiviado do aterro sanitário metropolitano de João Pessoa. 2016. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba – Centro de Tecnologia, João Pessoa, 2016.
6. BRITO, R. A. Ozonização catalítica de chorume proveniente do aterro de Cachoeira Paulista – SP na presença de ferro em sistema contínuo. 2014, 129p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.
7. BRITO-PELEGRINI, N. N. et al. *Avaliação da Redução da poluição do Chorume Tratado por Processo Fotoquímico*. *AUGMDOMUS*, v. 3. P. 20-30, out. 2011.
8. BRITO, N. N.; SILVA, V. B. M. Processo oxidativo avançado e sua aplicação ambiental. *Revista eletrônica de Engenharia Civil*, v. 1, n.3, p. 36-47, 20 abril 2012.
9. CAHINO, A. M. et al. *Uso da fotocatalise solar homogênea (uv/h₂o₂) na remoção da cor do lixiviado visando a proteção dos corpos hídricos*. In: *Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, 7, 2014, Natal. Anais...Natal, 2014.
10. CAMARGO, C. C. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário: remoção de amônia por formação de estruvita. 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.
11. CARISSIMI, E.; ROSA, E. *Tratamento de Chorume por Processos Oxidativos Avançados*. In: *Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente*, 3, 2012, Bento Gonçalves – RS.
12. CAVALCANTI A. S. et al. *Estudo da aplicação de foto-fenton (Fe²⁺/H₂O₂) solar no pré-tratamento do chorume*. *Revista UNLP*, Vol.5, p 141-153, 2013.
13. CONTRERA, C. R. Tratamento de lixiviado de aterros sanitários em sistema de reatores anaeróbio e aeróbio operados em batelada sequencial. 2008. 731 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica de Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.
14. COSTA, M. P. D. et al. *Combinação de processos oxidativos fotoirradiados por luz solar para tratamento de percolado de aterro sanitário: catálise heterogênea (TiO₂) versus catálise homogênea (H₂O₂)*. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*: v. 8, n.1, 2013.
15. COSTA, G.; CANGERANA, F. *Estudo do processo oxidativo avançado como uma alternativa tecnológica e eficaz no tratamento de efluentes*. *Revista Eletrônica de Tecnologia e Cultura*, v. 19, p. 63-84, out. 2016.
16. DIAS, I. N. Degradação de fluoreno, sulfametoxazol e trimetoprima por fotocatalise, foto-fenton e foto-fenton mediado por complexos de ferrioxalato utilizando radiação solar natural e artificial. 2015. 139 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Química, Rio de Janeiro, 2015.
17. ERKAN, H. S.; APAYDIN, O. *Final treatment of young, middle-aged, and stabilized leachates by Fenton process: optimization by response surface methodology*. *Desalination and Water Treatment*, v. 54, n. 2, p. 342–357, 2015.
18. HILLES, A. H., et al. *Performance of combined sodium persulfate/H₂O₂ based advanced oxidation process in stabilized landfill leachate treatment*. *Journal of Environmental Management*, v.166, p. 493-498. 2016
19. HERMOSILLA, D.; CORTIJO, M.; HUANG, C. P. *Optimizing the treatment of landfill leachate by conventional Fenton and photo-Fenton processes*. *The Science of the Total Environment*, v. 407, n. 11, p. 3473–81, 15 maio 2009.

20. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa nacional de saneamento básico. Apresentada em 2008. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em 25/05/2017.
21. JOÃO PESSOA. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do município de João Pessoa - PMGIRS/JP. 2014. Disponível em: < <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/emlur/plano-municipal-de-residuos-solidos/>>. Acesso em: 18. nov. 2016.
22. LOPES, P. R. M.; BIDOLA, E. D. *Tratamento de efluentes por fotocatalise heterogênea*. Rio Claro: Clube dos autotres, 2011. 105 p.
23. MARTINS, P. M. Aplicação de processos oxidativos avançados no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. 2014. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.
24. MEEROFF, D. E. *et al. Application of photochemical technologies for treatment of landfill leachate. Journal of Hazardous Material*. v. 209–210, p. 299– 307, 2012.
25. MORAIS, J. L. de. Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário. 2005. 207 f. Tese (Doutorado em Química) - Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, 2005.
26. Moravia, W. G. Estudos de caracterização, tratabilidade e condicionamento de lixiviados visando tratamento por lagoas. 2007. 179 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
27. MORAVIA, W. G. et al. Caracterização sazonal de lixiviado de aterro sanitário com ênfase em parâmetros coletivos específicos e não específicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26., 2011, Porto Alegre. *Anais...*Porto Alegre: FIERGS, 2011. P. 19.
28. PAREDES, J. M. R. Dessorção de nitrogênio amoniacal de lixiviado de aterro sanitário em reatores de fluxo pistonado. 2012. 75 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, 2012.
29. POVINELLI, J.; SOBRINHO, P. A. Introdução. PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterro sanitários para as condições brasileiras - tema 3. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 2009. 360 p.
30. PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO - PROSAB - Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterro sanitários para as condições brasileiras - tema 3. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 2009. 360 p.
31. QUEIROZ, L.M. *et al. Aplicações de processos físico-químicos como alternativa de pré-tratamento e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 16, n.4, p. 403-410, out/dez. 2011.
32. RAGASSON, M. K. *Aplicação do Reagente Fenton no tratamento de lixiviado de aterros sanitários. Revista Especialize*. vol. 6, p. 1-22, jan. 2013.
33. RIGUETTI, P. F. et al. *Manganês, zinco, cádmio, chumbo, mercúrio e crômio no chorume de aterro sanitário em Dourados, MS, Brasil. Revista Ambiente e Água*, v. 10, n. 1, p. 153-163 Jan. / Mar. 2015.
34. SANTOS, A. S. P. Aspectos Técnicos e Econômicos do Tratamento Combinado de lixiviado de Aterro Sanitário com Esgoto Doméstico em Lagoas de Estabilização. Tese de Doutorado. Programa de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
35. SOUTO, G. D. B.; POVINELLI, J. Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2007.
36. SOUZA, R. P. *Vinasse treatment using a vegetable-tannin coagulant and photocatalysi. Acta Scientiarum. Technolog*, v. 35, n. 1, p. 89-95, Jan-Mar 2013.
37. TELLES, C. A. S. Processos combinados para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário. 2010. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
38. TERAN, F. *Aplicação de fotocatalise heterogênea e homogênea para a remoção de cor em efluentes provenientes de indústria de processamento de couro. Revista Monografias Ambientais – REMOA*, v.14, n.3, , p.3316-3325, mai-ago. 2014.
39. VALLEJO, M.; ROMÁN, M. F. S. R.; ORTIZ, I.; IRABIEN, A. *Overview of the PCDD/Fs degradation potential and formation risk in the application of advanced oxidation processes (AOPs) to wastewater treatment. Chemosphere*, v. 118, p. 44-56, 2015.
40. VASCONCELOS, D. V. *Estudo da tratabilidade de lixiviado gerado em um aterro sanitário. Revista Ambiente e Água*, v. 12, n. 3, p. 457-467, Mai/ Jun. 2017.



41. VILAR, V. J. P. et al. *Treatment of a sanitary landfill leachate using combined solar photo-Fenton and biological immobilized biomass reactor at a pilot scale.* **Water Research**, v. 45, n. 8, p. 2647–58, maio 2011.