

### III-280 - AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE COR E COLIFORMES TERMOTOLERANTES EM LIXIVIADOS DE ATERRO SANITÁRIO ATRAVÉS DO EMPREGO DE OZÔNIO E PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO

**Marina Medtler Seewald<sup>(1)</sup>**

Gestora Ambiental pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, Mestre em Engenharia Civil na área de Gerenciamento de Resíduos – PPGEC/UNISINOS

**Carina Inês dos Santos Soares**

Bióloga pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS,

Mestre em Engenharia Civil na área de Gerenciamento de Resíduos – PPGEC/UNISINOS

**Guilherme Wiltgen Zimmermann**

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

**Luis Alcides Schiavo Miranda**

Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos

**Luciana Paulo Gomes**

Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Unisinos, 950. Bairro Cristo Rei. São Leopoldo - RS - Brasil. CEP: 93022-000 - Tel: +55 (51) 3592-1122 – R.1699 - e-mail: lugomes@unisinos.br

#### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a remoção de cor de lixiviado de aterro sanitário por meio do emprego de ozônio e peróxido de hidrogênio como agentes oxidantes. Para tanto, foram realizados doze ensaios no sistema POA instalado para tratar lixiviado bruto e tratado por sistema de lagoas. O sistema POA tratou, em bateladas, 460L de lixiviado e os ensaios tiveram 96h de duração. A concentração de ozônio (gás) foi de 29 mg/L e a de peróxido de hidrogênio foi de 1000 mg/L no lixiviado. Através da caracterização do lixiviado, verificou-se alta variabilidade dos lixiviados gerados no aterro sanitário de São Leopoldo. Sendo assim, para a discussão dos resultados de remoção de cor, optou-se por dividir os ensaios por grupos, utilizando como critério a concentração inicial de cor verdadeira no lixiviado estudado. ANOVA de dois fatores com medidas repetidas foi realizada comprovando que houve diferença entre os agentes oxidantes utilizados na remoção de cor, sendo observado que o ozônio + peróxido de hidrogênio apresentou melhor desempenho. Todos os ensaios realizados alcançaram mais de 90% de eficiência na remoção de cor verdadeira em 96h de ensaio e mais de 92% de eficiência na eliminação de coliformes termotolerantes em 24h.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lixiviado, ozônio, peróxido de hidrogênio, processos oxidativos avançados.

#### INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a pressão da sociedade humana sobre o meio ambiente tem aumentado como consequência não só do crescimento populacional, mas também do consumismo desenfreado. De acordo com Renou et al. (2008), o gerenciamento de resíduos sólidos domésticos é considerado atualmente o maior problema ambiental, econômico e social em todo o mundo, principalmente devido a taxa de crescimento de resíduos gerados aumentar mais rapidamente do que a taxa de crescimento da população.

A alternativa mais utilizada para disposição de resíduos sólidos urbanos é o aterro sanitário. Conforme Lange e Amaral (2009) os lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos são resultado da interação entre o processo de biodegradação da fração orgânica desses resíduos e da infiltração de águas pluviais que solubilizam componentes orgânicos e inorgânicos. O lixiviado de aterro sanitário possui coloração escura e composição variável, geralmente apresentando altos teores de matéria orgânica e nitrogênio amoniacal. Outra característica do lixiviado a ser ressaltada é sua patogenicidade, devido ao fato de no aterro sanitário serem dispostos resíduos contaminados com excreções humanas.

Na literatura, o lixiviado é frequentemente classificado pela sua idade (antigo ou novo), fator que se relaciona com a biodegradabilidade do mesmo. De acordo com Morais e Zamora (2005), lixiviado antigo é composto por substâncias muito complexas, contendo alta concentração de ácidos húmicos e fúlvicos, possuindo baixa relação DBO/DQO (menor do que 0,5). Lixiviados novos são prontamente biodegradáveis, pois possuem alta relação DBO/DQO (maior do que 0,5). Conforme Chiang (1977) apud Wang (2004), os principais componentes de um lixiviado antigo bruto são grandes moléculas orgânicas recalcitrantes (substâncias húmicas as quais incluem ácidos húmicos e ácidos fulvicos). Marañón et al. (2010) e Kulikowska e Klimiuk (2008) atribuem a forte coloração do lixiviado (principalmente de lixiviados antigos) à ácidos húmicos e fúlvicos e a fração hidrofílica desse efluente.

Os processos biológicos são vastamente utilizados para tratamento de lixiviado devido a seu baixo custo e facilidade operacional. De acordo com Renou et al. (2008) esses processos têm se mostrado muito eficientes na remoção de matéria orgânica e nitrogenada de lixiviados novos que possuem alta relação DBO/DQO ( $>0,5$ ). No entanto, com o envelhecimento do aterro, a presença de compostos recalcitrantes (em sua maior parte ácidos húmicos e fúlvicos) tende a limitar a efetividade do processo. Além disso, pós-tratamento de lixiviados geralmente é necessário para atendimento aos padrões exigidos pela legislação ambiental.

Processos oxidativos avançados (POA) têm sido utilizados para melhorar a biodegradabilidade de efluentes contendo diversos compostos orgânicos não biodegradáveis (MORAIS E ZAMORA, 2005), ou parcialmente biodegradáveis. Esses processos apresentam também boa eficiência na remoção de cor e na desinfecção de efluentes devido ao alto potencial de oxidação dos agentes químicos empregados.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a remoção de cor e desinfecção de efluentes por meio de POA utilizando ozônio e peróxido de hidrogênio como agentes oxidantes.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a realização dos ensaios lixiviado bruto e tratado em sistema de lagoas foi coletado no aterro sanitário de São Leopoldo. Os ensaios foram realizados em reator de fibra de vidro com volume útil de 460L em que o lixiviado foi recirculado a uma vazão de  $7\text{m}^3/\text{h}$ . Foram realizados doze ensaios, sendo seis utilizando somente ozônio e seis utilizando ozônio em combinação com peróxido de hidrogênio. Cada ensaio foi realizado durante 96 horas. A concentração de ozônio foi de 29 mg/L (gás) e a de peróxido de hidrogênio (no lixiviado) de 1000 mg/L. O ozônio foi gerado por processo corona a partir de oxigênio produzido por concentrador de oxigênio. Já o peróxido de hidrogênio foi adicionado em solução líquida no início dos ensaios.

Os lixiviados coletados apresentaram alta variabilidade quanto às suas características, especialmente quanto a cor verdadeira. Por isso optou-se por agrupar os ensaios em grupos para a discussão dos resultados de cor, dividindo-os por concentração inicial de cor verdadeira. O Quadro 1 apresenta divisão dos Grupos para a discussão dos resultados de cor verdadeira.

**Quadro 1 – Grupos de ensaios: divisão por cor verdadeira**

Grupo	Ensaio	Lixiviado	Agente oxidante	Concentração de Cor Verdadeira (mg/L Pt/Co)	Coefficiente de Variação (cor verdadeira média dos ensaios por grupo)
<b>Grupo 1</b> - 10.000 a 13.000 mg/L Pt/Co de cor verdadeira	<b>1A</b>	Bruto	Ozônio	12.365	12%
	<b>1B</b>	Bruto	Ozônio	12.857	
	<b>4B</b>	Pré-Tratado	Ozônio e Peróxido de hidrogênio	10.110	
<b>Grupo 2</b> – 7.500 a 8.500 mg/L Pt/Co de cor verdadeira	<b>3A</b>	Pré-Tratado	Ozônio	7.544	4%
	<b>3B</b>	Pré-Tratado	Ozônio	7.974	
	<b>3C</b>	Pré-Tratado	Ozônio	7.997	
	<b>4A</b>	Pré-Tratado	Ozônio e Peróxido de hidrogênio	8.322	
<b>Grupo 3</b> – 3.500 a 4.500 mg/L Pt/Co de cor verdadeira	<b>2B</b>	Bruto	Ozônio e Peróxido de hidrogênio	3.776	8%
	<b>2C</b>	Bruto	Ozônio e Peróxido de hidrogênio	4.380	
	<b>4C</b>	Pré-Tratado	Ozônio e Peróxido de hidrogênio	4.333	
<b>Grupo 4</b> – 1.050 a 1.150 mg/L Pt/Co de cor verdadeira	<b>1C</b>	Bruto	Ozônio	1.123	3%
	<b>2A</b>	Bruto	Ozônio e Peróxido de hidrogênio	1.072	

Para a caracterização do lixiviado e acompanhamento do tratamento no sistema POA foram realizadas análises de cor verdadeira, coliformes termotolerantes, pH, turbidez, DQO e DBO no lixiviado de aterro sanitário ao início dos ensaios ( $t=0$ ) e às 24h, 48h, 72h e 96h. Para coliformes termotolerantes foram realizadas análises adicionais às 3h, 6h e 9h de ensaio. A análise deste parâmetro foi realizada pelo método Substrato cromogênico enzimático (IDEXX Laboratories, 2013). As demais análises foram realizadas conforme APHA (1995).

Análise de variância (ANOVA) de dois fatores com medidas repetidas foi realizada utilizando os dados de cor verdadeira de todos os ensaios e tempos de amostragem para averiguar se houve diferença entre agentes oxidantes utilizados, lixiviados utilizados e influência do agente oxidante em lixiviados de cor verdadeira diferentes. A análise foi realizada no software SPSS versão 20 empregando nível de significância de 0,05 (95% de confiança).

## RESULTADOS

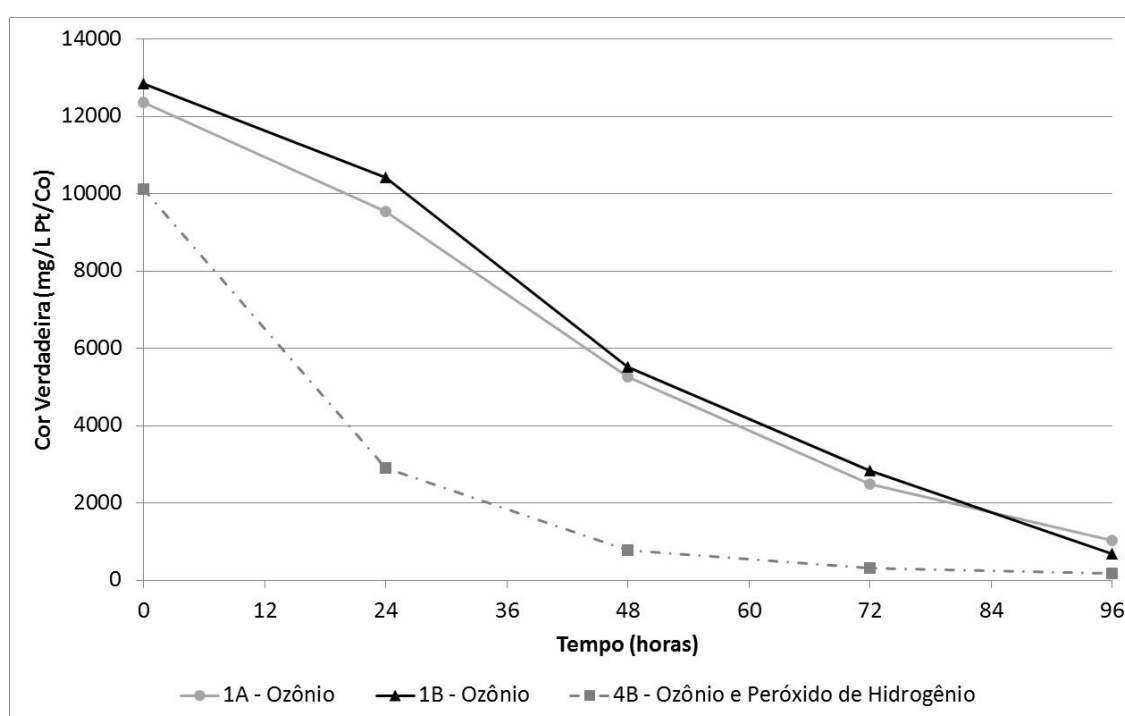
### CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO

O lixiviado coletado no aterro sanitário de São Leopoldo apresentou características de lixiviado estabilizado, que conforme Wu et al. (2004) apresentam baixa biodegradabilidade (relação DBO/DQO <0,5) e pH acima de 7,5.

### REMOÇÃO DE COR

#### Grupo 1

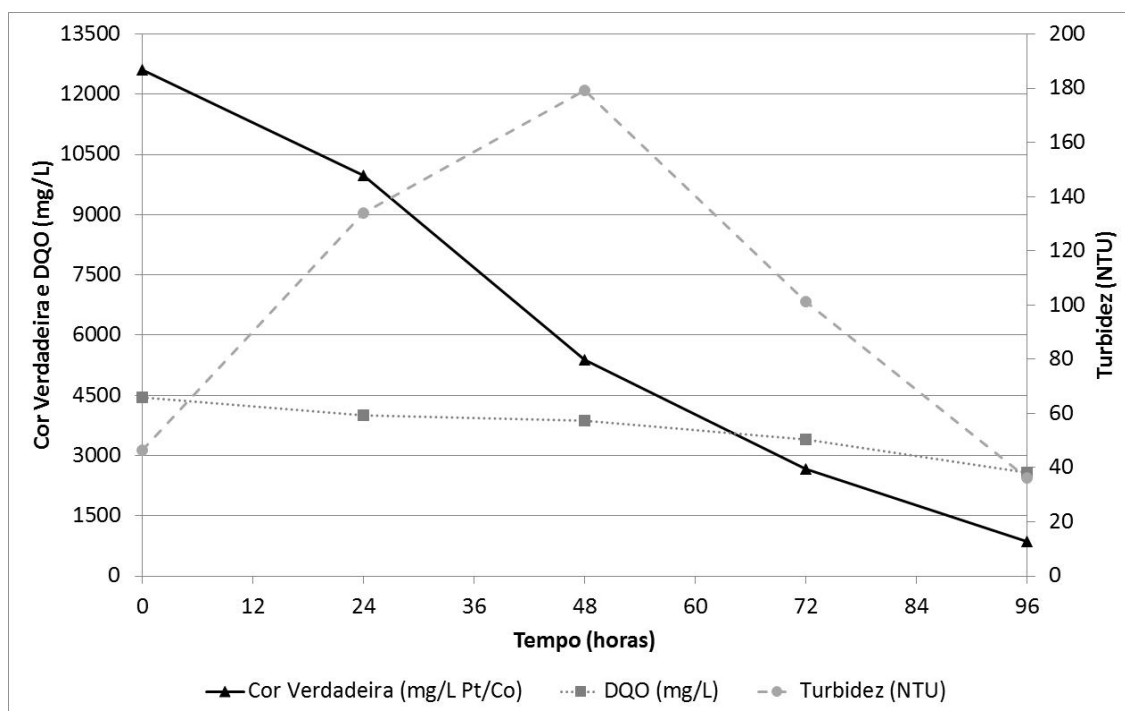
O Grupo 1 é composto pelos ensaios com concentração inicial de cor verdadeira na faixa de 10.000 a 13.000 mg/L Pt/Co. A Figura 1 apresenta gráfico do comportamento de cor verdadeira desses ensaios ao longo de 96h de tratamento.



**Figura 1 – Comportamento da Cor Verdadeira durante os ensaios do Grupo 1**

Observa-se na Figura 1 que os ensaios 1A e 1B apresentaram comportamento similar na remoção de cor verdadeira. A eficiência de remoção de cor verdadeira nos ensaios 1A, 1B e 4B (em 96h de ensaio) foi de 91,7; 94,7 e 98,3%, respectivamente. Embora o ensaio 4B, de maior eficiência neste grupo, tenha sido realizado com adição de peróxido de hidrogênio, não é possível afirmar que este tenha sido o fator responsável por sua maior eficiência e comportamento diferenciado. Como a cor verdadeira é causada por substâncias orgânicas dissolvidas de composição variável, podem ocorrer diferentes reações químicas no lixiviado durante o processo de ozonização em lixiviados de cor verdadeira similar.

Não foi detectado peróxido de hidrogênio residual no ensaio 4B (análise realizada após 3h de ensaio), devido a reação do peróxido de hidrogênio com o lixiviado e o ozônio ter ocorrido rapidamente. A Figura 2 apresenta gráfico do comportamento da cor verdadeira, DQO e turbidez nos ensaios do Grupo 1. Neste gráfico, foram utilizadas as médias do ensaio 1A e 1B para cada parâmetro. Os valores do ensaio 4B não foram utilizados por esse apresentar comportamento diferente dos demais.

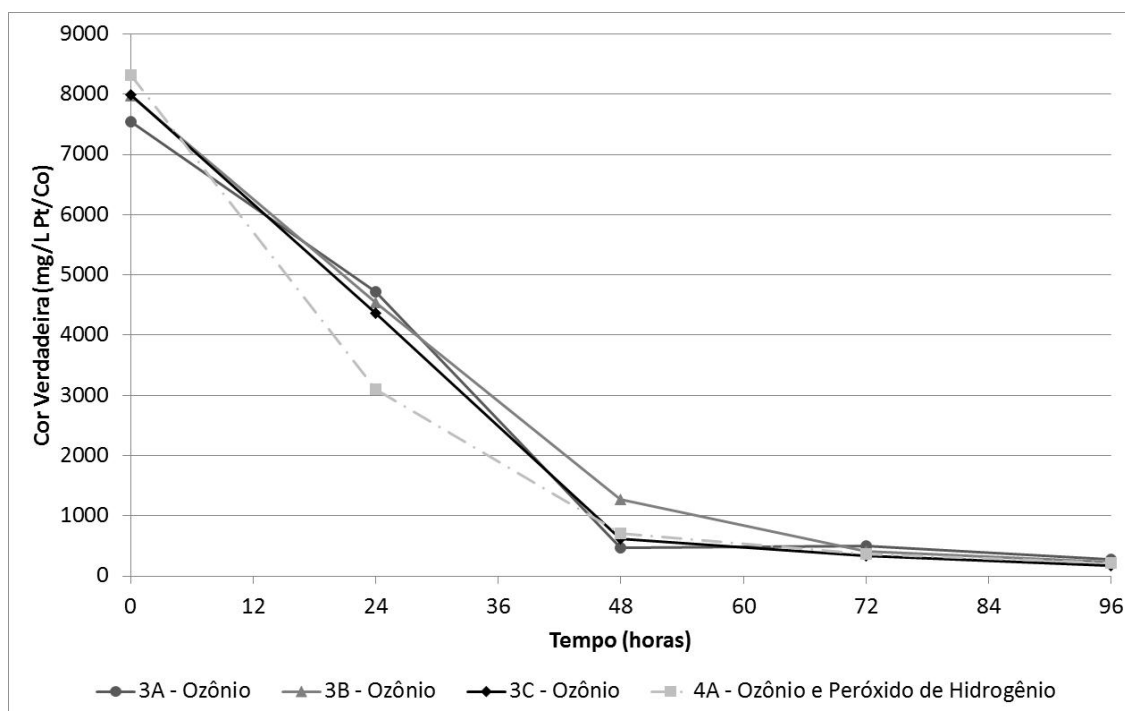


**Figura 2 – Comportamento da cor verdadeira, DQO e turbidez durante os ensaios 1A e 1B**

A remoção de cor verdadeira foi mais expressiva que a remoção de DQO. Atribui-se este fato ao ozônio quebrar compostos orgânicos dissolvidos de elevado tamanho molecular em cadeias menores, não podendo mineralizar completamente substâncias orgânicas dissolvidas. Dessa forma, o ozônio estaria clivando os compostos responsáveis pela coloração do lixiviado, mas não oxidando a matéria orgânica representada pela DQO.

## Grupo 2

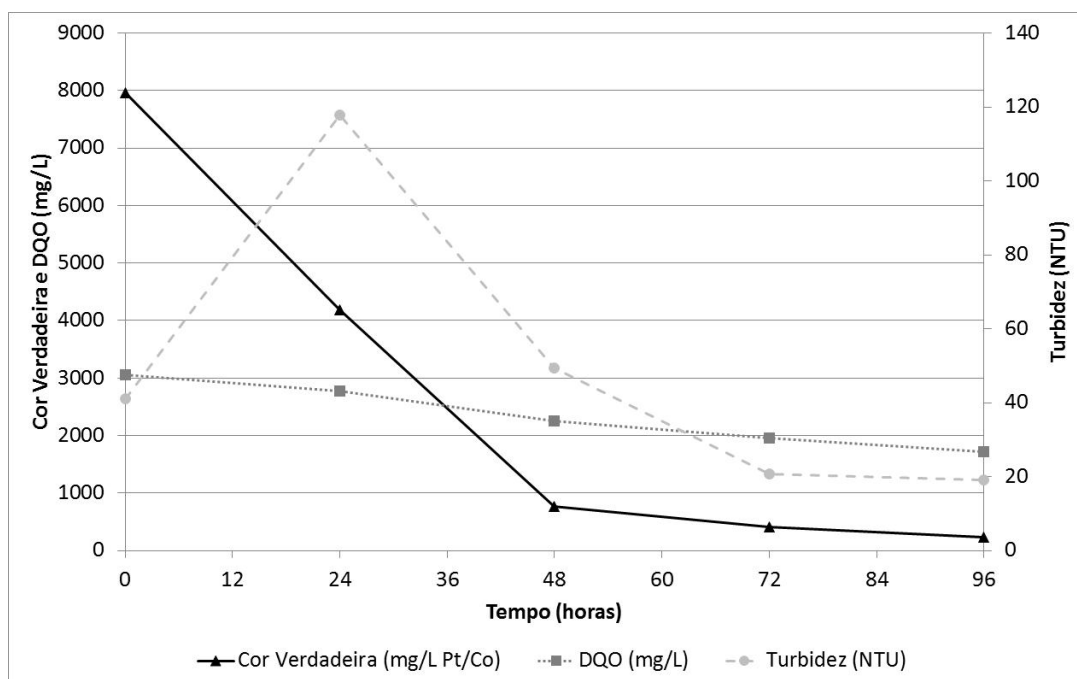
O Grupo 2 é composto pelos ensaios com concentração de cor verdadeira na faixa de 7.500 a 8.500 mg/L Pt/Co (Figura 3).



**Figura 3 – Comportamento da Cor Verdadeira durante os ensaios do Grupo 2**

É possível observar na Figura 3 que a maior remoção de cor verdadeira ocorreu nas primeiras 48h de tratamento, fato que não ocorreu nos ensaios do Grupo 1, de concentração superior de cor verdadeira. Os quatro ensaios do Grupo 2 tiveram comportamento e eficiências de remoção semelhantes. As eficiências de remoção de cor verdadeira para os ensaios 3A, 3B, 3C e 4A foram de 96,3%, 97%, 97,9% e 97,4%, respectivamente. O ensaio 4A, com adição de peróxido de hidrogênio, obteve eficiência de remoção similar aos demais ensaios em 96h de tratamento apenas com ozônio. Porém, em 24h de tratamento, apresentou cor verdadeira inferior aos outros ensaios (cerca de 1500 mg/L Pt/Co a menos). Não foi detectado peróxido de hidrogênio residual no ensaio 4A, provavelmente pelo fato da dissociação do peróxido de hidrogênio em íon hidroperóxido e sua reação com o ozônio para geração de radicais hidroxila ter ocorrido rapidamente. A maior eficiência da remoção de cor verdadeira em 24h de tratamento mostra que as substâncias geradas a partir da adição do peróxido de hidrogênio potencializaram a geração de radicais hidroxila no processo de ozonização.

A Figura 4 apresenta comportamento médio da cor verdadeira, DQO e turbidez ao longo dos ensaios do Grupo 2.

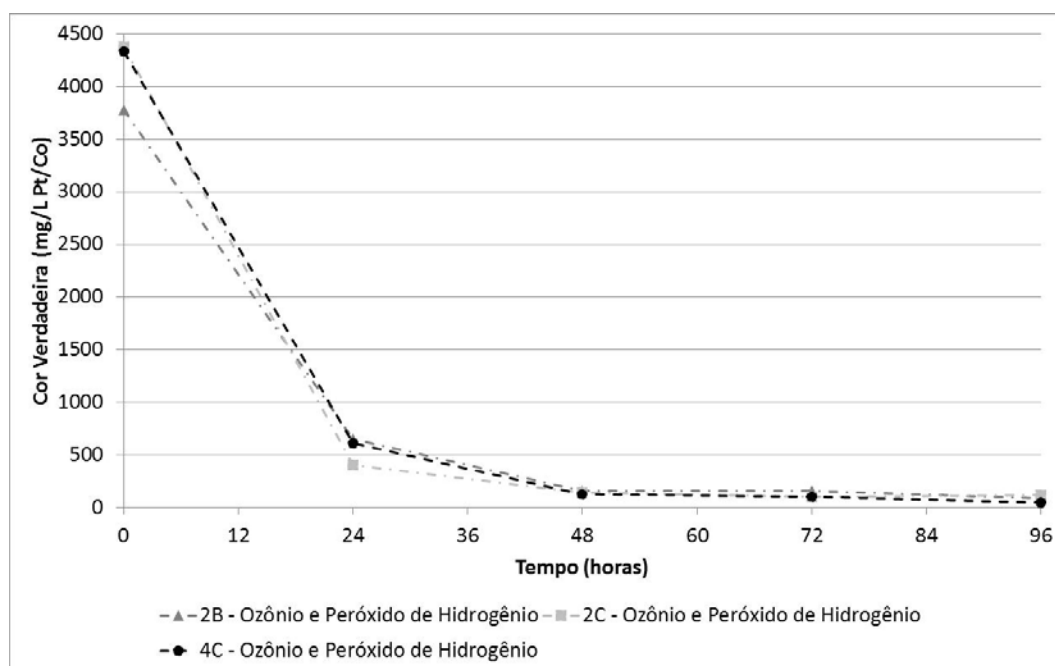


**Figura 4 - Comportamento da cor verdadeira, DQO e turbidez durante os ensaios do Grupo 2**

Assim como nos do Grupo 1 nos ensaios do Grupo 2 a remoção de cor verdadeira foi mais expressiva do que a de DQO, o que justifica-se pela característica do ozônio de clivar a matéria orgânica dissolvida em compostos menores não mineralizando-a completamente. Nos ensaios do Grupo 2 também houve aumento da turbidez nas primeiras horas de ensaio. O pH permaneceu constante durante os ensaios do Grupo 2.

### Grupo 3

O Grupo 3 é composto pelos ensaios com concentração de cor verdadeira na faixa de 3.500 a 4.500 mg/L Pt/Co. A Figura 5 apresenta gráfico do comportamento de cor verdadeira dos ensaios do Grupo 3 durante o tratamento no sistema POA.



**Figura 5 - Comportamento da Cor Verdadeira durante os ensaios do Grupo 3**



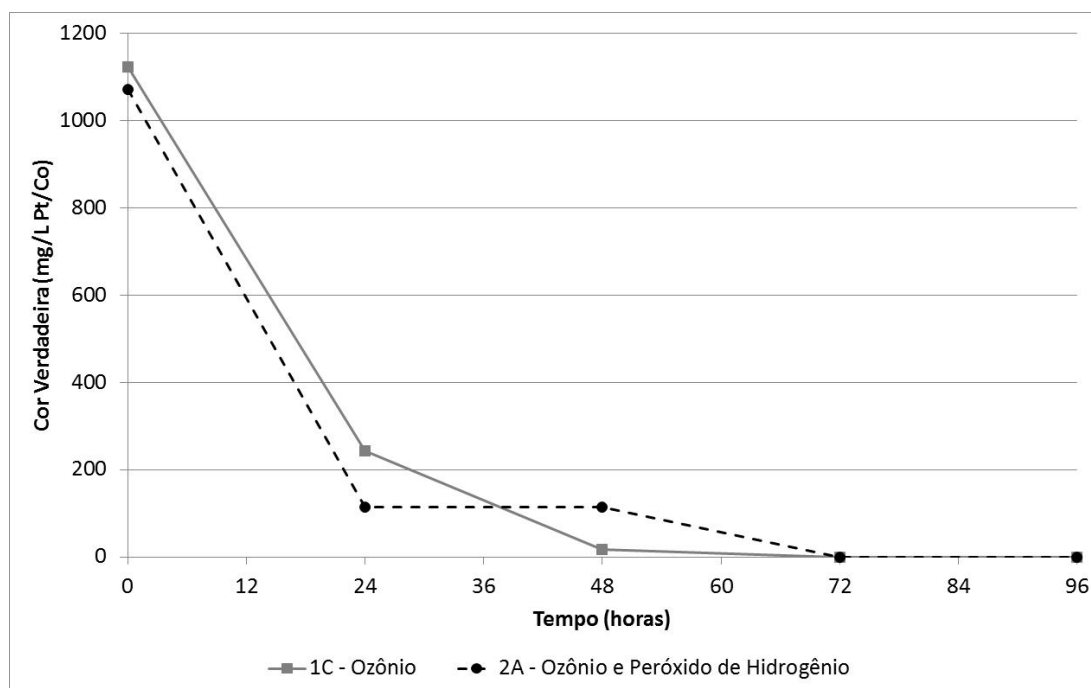
Observa-se na Figura 5 que a remoção de cor verdadeira para os ensaios do Grupo 3 ocorreu de forma mais expressiva nas primeiras 24h de ozonização, parecendo ser esta uma característica do emprego do  $H_2O_2$ . O mesmo não ocorreu para os grupos anteriormente monitorados. Este fato pode ter ocorrido também pelo fato de os ensaios do Grupo 3 terem iniciado com uma concentração de cor verdadeira bastante inferior se comparados aos do Grupo 1 e 2. Além disso, a adição do peróxido de hidrogênio provavelmente contribuiu para potencializar a formação de radicais hidroxila aumentando a remoção de cor nas primeiras 24h de tratamento.

Como no Grupo 3 todos os ensaios foram realizados utilizando ozônio em combinação com peróxido de hidrogênio, não é possível comparar tratamentos com e sem peróxido de hidrogênio para a faixa de cor verdadeira do Grupo 3. Não foi detectado peróxido residual no lixiviado nos ensaios 2B, 2C e 4C (análise realizada 3h após a adição de  $H_2O_2$ ). As eficiências de remoção de cor verdadeira dos ensaios 2B, 2C e 4C foram de 97,7%, 97,4% e 98,8% respectivamente.

Para esse grupo, os resultados médios de cor verdadeira, DQO, turbidez e pH tiveram comportamento similar aos dois grupos anteriores.

#### Grupo 4

O Grupo 4 é composto pelos ensaios com concentração de cor verdadeira na faixa de 1.050 a 1.150 mg/L Pt/Co. O lixiviado utilizado nos ensaios deste grupo foi coletado em período de chuvas, sendo apresentado na Figura 6 o comportamento da cor verdadeira dos dois ensaios deste grupo.



**Figura 6 – Comportamento da Cor Verdadeira durante os ensaios do Grupo 4**

O ensaio 1C, que utilizou somente ozônio como agente oxidante, teve comportamento similar ao ensaio 2A, que utilizou ozônio e peróxido de hidrogênio. Não foi detectado peróxido de hidrogênio residual no ensaio 2A (coleta realizada 24h após a adição de  $H_2O_2$ ). Como dito anteriormente, isso se deve provavelmente a reação do peróxido de hidrogênio com o ozônio ter ocorrido nas primeiras horas de tratamento, sendo os radicais hidroxila formados responsáveis pela maior remoção de cor verdadeira às 24h de tratamento. Dessa forma, embora não houvesse mais peróxido de hidrogênio neste tempo de amostragem, o peróxido de hidrogênio potencializou a formação de radicais hidroxila no processo de ozonização no início do tratamento causando maior remoção de cor em 24h de tratamento.



Observa-se ainda na Figura 6, que após 72h de ozonização chegou-se a 100% de eficiência de remoção de cor verdadeira em ambos os ensaios (cor verdadeira de 0 mg/L Pt/Co). É importante relembrar que o lixiviado utilizado nestes ensaios se tratava de lixiviado diluído, coletado em período de chuvas intensas. Assim como nos ensaios do Grupo 3, a maior remoção de cor verdadeira ocorreu nas primeiras 24h de tratamento. O pH permaneceu constante durante os ensaios e a DQO apresentou comportamento similar aos demais grupos de ensaios.

### Avaliação geral dos grupos de cor

A Figura 7 apresenta imagem da cor aparente de ensaios de cada grupo de cor verdadeira.

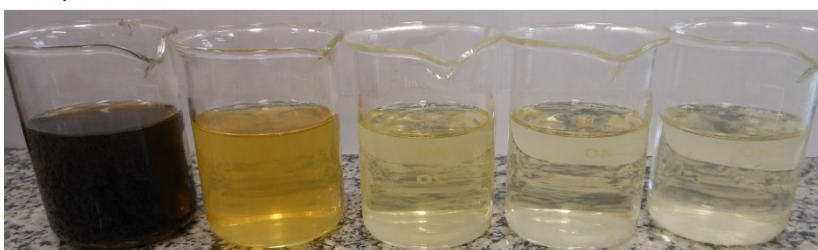
Grupo 1 - 1A



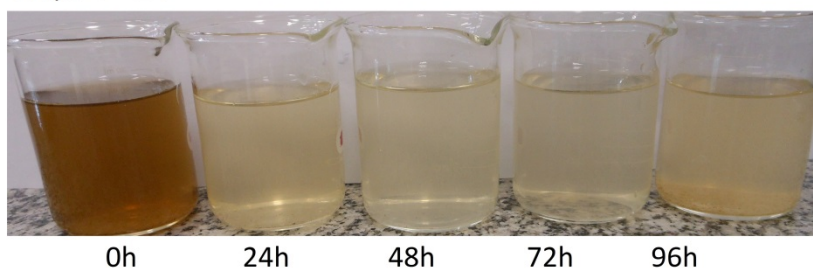
Grupo 2 - 3A



Grupo 3 - 2B



Grupo 4 - 2A



0h      24h      48h      72h      96h

**Figura 7 – Cor aparente em ensaios de diferentes grupos ao longo de 96h de tratamento no sistema POA**

Pode-se observar na Figura 7, a grande diferença da cor aparente do lixiviado dos ensaios de diferentes grupos ao longo de 96h de ozonização. No tempo 96h do ensaio 2A (Grupo 4) observa-se elevada turbidez da amostra.

Para avaliar a diferença entre os agentes oxidantes empregados, entre os grupos de cor e verificar se houve influência dos grupos de cor no efeito do oxidante, foi realizada análise de variância de dois fatores com medidas repetidas utilizando os dados de cor verdadeira de todos os ensaios e tempos de amostragem. O resultado da ANOVA de dois fatores é apresentado no Quadro 2.

**Quadro 2 – ANOVA de dois fatores com medidas repetidas: Grupos de cor verdadeira e agente oxidante**

**Testes de Efeitos Entre Variáveis**

Medida: Cor verdadeira

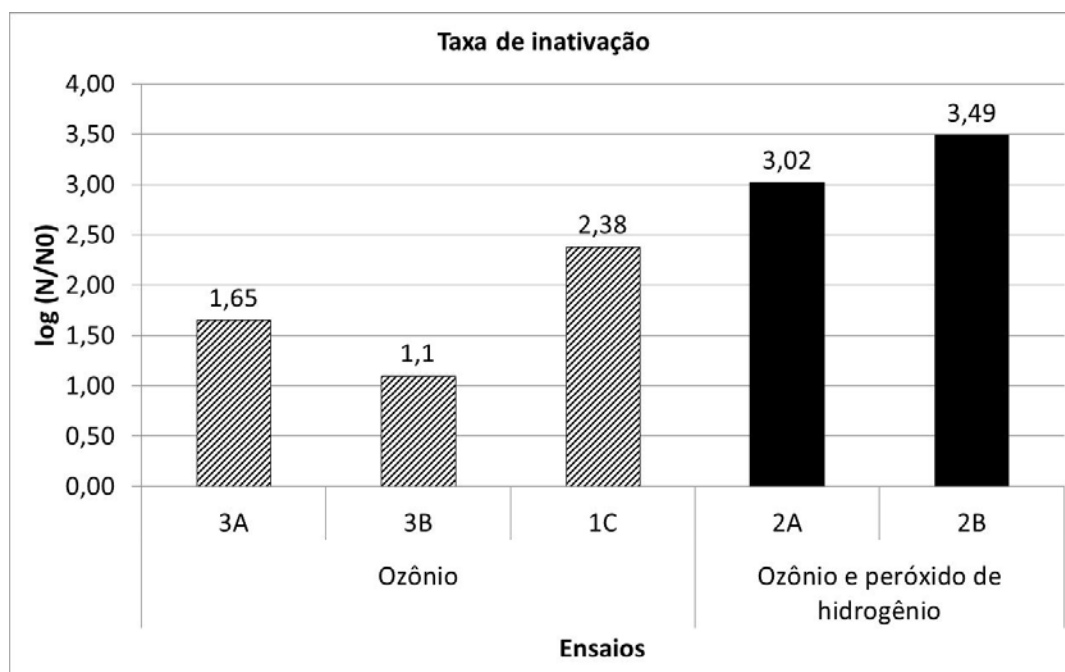
Variável Transformada: Média

Fonte	Tipo III Soma dos Quadrados	df	Média dos Quadrados	F	Sig.
Intercepção	278170128,634	1	278170128,634	3504,514	,000
Grupos cor	111652994,461	3	37217664,820	468,885	,000
Agente oxidante	14014709,472	1	14014709,472	176,564	,000
Grupos cor * Agente oxidante	23836102,143	2	11918051,072	150,149	,000
Erro	396874,100	5	79374,820		

Observa-se no Quadro 2, que o valor de “Sig” é “0,000” para as variáveis Grupos cor, Agente oxidante e Grupos cor x Agente oxidante. Se o valor de “Sig” (valor p) é menor que 0,05 (nível de significância adotado) há diferença significativa entre as variáveis avaliadas. Quanto mais perto de “0” mais significativo o resultado. Portanto, ao nível de significância de 0,05, pode-se afirmar que houve diferença entre os grupos de cor estudados, entre os agentes oxidantes (ozônio e ozônio combinado com peróxido de hidrogênio) e houve diferença no efeito dos agentes oxidantes sobre diferentes grupos de cor. Sendo assim, conforme a análise estatística realizada, tanto a concentração inicial de cor quanto o oxidante empregado tiveram influência no resultado do tratamento. Dessa forma, os ensaios com adição de peróxido de hidrogênio obtiveram maior eficiência na remoção de cor em relação aos ensaios que utilizaram somente o ozônio e eficiência ainda maior em ensaios que trataram lixiviados com cor verdadeira inicial inferior.

## DESINFECÇÃO

Outra avaliação realizada referiu-se a desinfecção do lixiviado, avaliada nos ensaios 3A, 3B, 1C, 2A e 2B. Os tratamentos obtiveram alta taxa de inativação e eficiência de remoção em 24h de ensaio, sendo assim desnecessária a continuação do tratamento após esse período. A Figura 10 apresenta gráfico com a taxa de inativação dos 5 ensaios em 24h. Para o cálculo da taxa de inativação, os resultados registrados como “< 1, < 25 e < 100” foram considerados como “0”.



**Figura 8 – Taxa de inativação  $\log(N/N_0)$  de coliformes termotolerantes nos ensaios realizados**

É possível observar na Figura 8, que os ensaios 2A e 2B (com adição de peróxido de hidrogênio) foram os que apresentaram maior taxa de inativação em 24h. A presença de matéria orgânica e turbidez não impediu que a desinfecção do lixiviado ocorresse. Os ensaios obtiveram altas taxas de inativação em 24h, período em que ainda havia altas concentrações de DQO. Nos ensaios 3A e 3B, por exemplo, a DQO após 24h de ozonização estava acima de 2800 mg/L.

## CONCLUSÕES

O sistema POA utilizando somente ozônio e ozônio em combinação com peróxido de hidrogênio obtiveram eficiências satisfatórias na remoção de cor e desinfecção de lixiviado de aterro sanitário. A adição de peróxido de hidrogênio no início dos ensaios potencializou a geração de radicais hidroxila aumentando consideravelmente a remoção de cor nas primeiras horas de tratamento. Os ensaios que utilizaram  $O_3$  em combinação com  $H_2O_2$  obtiveram maior taxa de inativação de coliformes termotolerantes (em 24h) do que os que utilizaram somente ozônio. A matéria orgânica e turbidez presentes no lixiviado não impediram que a desinfecção do lixiviado ocorresse.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, American public health association. **Standard methods for the examination of water and waste water**, 19th ed., Washington, 1995.
2. IDEXX Laboratories. **Colilert Procedimento**. Disponível em: <[http://al.idexx.com/html/es\\_es/water/water-testing-solutions.html](http://al.idexx.com/html/es_es/water/water-testing-solutions.html)> Acesso em: 13 de Janeiro de 2013.
3. KULIKOWSKA, Dorota; KLIMIUK, Ewa. The effect of landfill age on municipal leachate composition. **Bioresource Technology**, 99, p. 5981–5985, 2008.
4. LANGE, Liséte Celina; AMARAL, Miriam Cristina Santos do. Cap. 2: **Geração e Características do Lixiviado**. In: GOMES, Luciana Paulo. Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras. PROSAB 5 - Tema 3, v. 5, Rio de Janeiro: ABES, 2009.
5. MARAÑÓN, E. CASTRILLÓN, L. FERNÁNDEZ-NAVA, Y. FERNÁNDEZ-MÉNDEZ, A. FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, A. Colour, turbidity and COD removal from old landfill leachate by coagulation-flocculation treatment. **Waste Management & Research**, v. 28, p. 731-737, 2010.

6. MORAIS, Josmaria Lopes de; ZAMORA, Patricio Peralta. Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. **Journal Of Hazardous Materials**, p.181-186, 2005.
7. RENOU, S; GIVAUDAN, J.G; POULAIN, S; DIRASSOUYAN, F; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. **Journal of Hazardous Materials**, nº 150, p. 468–493, 2008.
8. WANG, F.; EL-DIN, M. Gamal; SMITH, D. W. Oxidation of aged raw landfill leachate with O<sub>3</sub> only and O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> treatment efficiency and molecular size distribution analysis. **Ozone: Science And Engineering**, v. 26, p.287-298, 2004.
9. WU, Jerry J; WU, Chih-Chao; MA, Hong-Wen; CHANG, Chia-Chi. Treatment of landfill leachate by ozone-based advanced oxidation processes. **Chemosphere**, 54, pag. 997–1003, 2004.