

## ***Avaliação do efluente final de um aterro sanitário utilizando análise multivariada***

O chorume gerado pela decomposição dos resíduos em aterros sanitários é um dos maiores impactos negativos produzidos por esse tipo de empreendimento, e tem sido objeto de diversos estudos que visam o conhecimento das características e comportamento desse efluente, permitindo o desenvolvimento de ações que atenuem o impacto do mesmo no ambiente. A fim de verificar os parâmetros físico-químicos que mais influenciam na caracterização do efluente final, o objetivo deste trabalho é avaliar e interpretar os parâmetros físicos, químicos e biológicos do efluente final do sistema de tratamento de efluentes do aterro sanitário de Lages utilizando abordagens estatísticas multivariadas - Análise Fatorial (AF) e a Análise de Componentes Principais (ACP). Os dados são oriundos das análises do chorume realizadas no período de outubro de 2015 e setembro de 2016. Verificou-se que os quatro primeiros fatores explicam aproximadamente 69% da variabilidade dos dados. A CP 1 explicou 25,93% da variabilidade, cujos elementos mais expressivos foram tolueno, ferro dissolvido, DBO, DQO, OD e Cd, já a CP 2 explica 17,67% da variância total dos dados e variáveis mais expressivas foram CN-, Cu dissolvido e Cr6. A utilização de análise estatística multivariada mostra-se eficaz, sendo ideal para análises de grandes conjuntos de dados e apresentação dos resultados.

**Palavras-chave:** Análise Multivariada; Aterro Sanitário; Lixiviado.

## ***Evaluation of the final effluent of a sanitary landfill using multivariate analysis***

Leachate generated by the decomposition of waste in landfills is one of the major negative impacts produced by this type of enterprise, and has been being an object of many studies that aim the knowledge of the characteristics and the behavior of this effluent, allowing to develop actions that reduce its impact in the environment. In order to verify the physicochemical parameters that influence the most in the final effluent, the main objective of this work is to evaluate and interpret the physical, chemical and biological parameters of the final effluent of the effluent treatment system of the landfill of the municipality of Lages-SC, utilizing multivariate statistical approaches - Factorial Analysis (FA) and Principal Component Analysis (PCA). The data are from the analyzes of the leachate carried out in the period of October of 2015 and September of 2016. It was verified that the first four factors explain, approximately, 69% of the variability of the data. PC1 explained 25.93% of the variability, with the most expressive elements being toluene, dissolved iron, BOD, COD, DO and Cd; PC2 explains 17.67% of the total variability of the data, and had its most expressive variables were: CN-, dissolved copper and Cr6. The application of multivariate statistical analysis has shown to be effective, being ideal for analyzes of large datasets and presentation of results.

**Keywords:** Multivariate Analysis; Landfill; Leachate.

Topic: **Engenharia Química**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Bruno Dalledone Bittar**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3430091355686573>  
[bdbittar@gmail.com](mailto:bdbittar@gmail.com)

**Camila Angélica Baum**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0916266741102119>  
[eng.camilabaum@gmail.com](mailto:eng.camilabaum@gmail.com)

**Lais Lavnitcki**

Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1705367515568810>  
[laisbruski\\_13@hotmail.com](mailto:laisbruski_13@hotmail.com)

Received: **14/07/2017**

Approved: **15/10/2017**

**Valter Antonio Becegato**

Universidade Federal do Paraná, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3196823526572670>  
[valter.becegato@udesc.br](mailto:valter.becegato@udesc.br)

**Fabiane Toniazco**

Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6928346568594384>  
[fabiane\\_toniazco@yahoo.com](mailto:fabiane_toniazco@yahoo.com)

**Vitor Rodolfo Becegato**

Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7642634231071974>  
[vitorvrb92@gmail.com](mailto:vitorvrb92@gmail.com)



DOI: 10.6008/SPC2179-6858.2017.004.0012

**Referencing this:**

BITTAR, B. D.; BAUM, C. A.; LAVNITCKI, L.; BECEGATO, V. A.; TONIAZZO, F.; BECEGATO, V. R.. Avaliação do efluente final de um aterro sanitário utilizando análise multivariada. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.8, n.4, p.143-153, 2017. DOI: <http://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.004.0012>

## INTRODUÇÃO

A contaminação das águas superficiais e subterrâneas devido à disposição irregular de efluentes é uma realidade em nosso país. Em 2005, com o objetivo de normatizar o lançamento de efluentes, foi estabelecida a Resolução CONAMA nº357/2005, complementada e alterada pela Resolução CONAMA nº430/2011, a qual dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores.

Os aterros sanitários são considerados uma técnica adequada para tratamento e disposição final dos resíduos sólidos, porém o chorume proveniente da decomposição dos resíduos apresenta-se como a principal fonte de poluição (SOUZA, 2005; RENO et al., 2008; FREITAS, 2015). O chorume, conhecido também como lixiviado é o efluente resultante da ação enzimática dos microrganismos sobre a matéria orgânica e inorgânica, dos produtos resultantes da biodegradação e da água da chuva infiltrada nos resíduos sólidos ali dispostos (NASCENTES et al., 2015).

De acordo com Souto et al. (2007), a composição e a volumetria do chorume em aterros sanitários brasileiros é bastante ampla, devido a diversos fatores que vão desde as condições pluviométricas locais até tempo de disposição e características do próprio resíduo (CELERE et al., 2007). Assim, enfrenta-se um desafio quanto à variabilidade da composição do chorume em aterros, o que inviabiliza sua disposição sem coleta e tratamento. Oliveira et al. (2000) menciona que é necessário um tratamento adequado para o chorume, pois o mesmo apresenta altas concentrações de matéria orgânica e substâncias inorgânicas, com potencial de contaminação dos recursos naturais.

Nesse contexto, a caracterização e o monitoramento da composição dos resíduos sólidos urbanos dispostos e a evolução dos processos biológicos que envolvem a sua decomposição (SOUZA, 2005), além de outros fatores como condições climáticas, cobertura e idade do aterro permitem conhecer, de forma qualitativa e quantitativamente, o chorume gerado (KETTUNEM et al., 1998; TAVARES, 2011).

As técnicas comumente empregadas para o tratamento dos efluentes provindos de aterros são o tratamento biológico, recirculação do chorume e tratamento físico-químico (D'ALMEIDA et al., 2000). Renou et al. (2008) afirma que a relação existente entre a idade do aterro e a composição da matéria orgânica pode constituir um critério útil para a escolha de um processo de tratamento adequado.

No ano de 2013, após vistoria realizada no Aterro Sanitário de Lages/SC pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, foi suspensa a outorga de Concessão das Obras de Implantação, Serviços de Operação e Manutenção do Aterro Sanitário devido a diversas irregularidades no empreendimento, inclusive pela deposição de chorume em valas escavadas no solo. Ainda no mesmo ano uma nova empresa recebeu a outorga de Concessão dos serviços, a qual se mantém no serviço até os dias atuais.

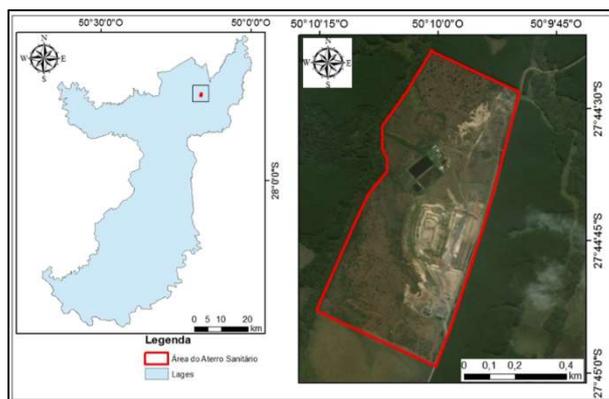
Atualmente o Aterro Sanitário de Lages, local de estudo, possui tratamento biológico e físico-químico do lixiviado, sendo realizado monitoramento mensal do efluente final gerado, que tem como destinação final uma zona de *wetlands* natural. Assim, a fim de verificar os parâmetros físico-químicos que mais influenciam na caracterização do efluente final o objetivo deste trabalho é avaliar e interpretar os parâmetros físicos,

químicos e biológicos utilizando abordagens multivariadas, como a Análise Fatorial (AF) e a Análise de Componentes Principais (ACP).

## METODOLOGIA

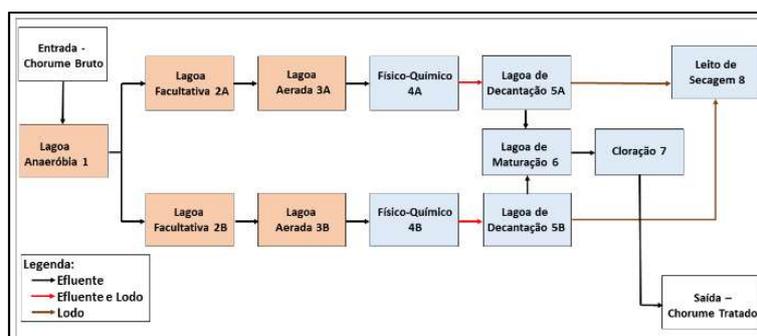
### Localização do empreendimento

Os dados utilizados nesse estudo são provenientes do monitoramento do sistema de tratamento de efluentes do Aterro Sanitário de Lages/SC, licenciado desde o ano de 2006 para tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos, está localizado no distrito dos Índios, distante aproximadamente 11km da área urbana de Lages (Figura 1).



**Figura 1:** Localização do Aterro Sanitário em Lages/ SC.

O empreendimento atende alguns dos municípios da região serrana de Santa Catarina: Lages, Bom Retiro, Bom Jardim da Serra, Correia Pinto, Capão Alto, Ituporanga, Painel, Rio Rufino, São José do Cerrito, Urupema, Urubici e São Joaquim. O aterro em estudo também recebe resíduos de algumas empresas privadas, além de distritos localizados no interior dos municípios próximos, sendo registrado o recebimento em média de 3.800 toneladas de resíduos mês. Para atender a demanda, o Aterro Sanitário realiza atividades de recebimento dos resíduos sólidos urbanos passando pela triagem para posterior destinação ambientalmente adequada em valas impermeabilizadas, sendo enviado o chorume proveniente da decomposição para uma estação de tratamento de efluentes (ETE) que é composta por sete etapas, conforme a figura 2.



**Figura 2:** Fluxograma das etapas que compõe o tratamento do chorume no Aterro Sanitário de Lages/SC.

## Coleta de dados

Os dados são oriundos das análises do chorume realizadas no período de outubro de 2015 e setembro de 2016. Os resultados foram obtidos com a empresa operadora do Aterro, que mensalmente realiza análise dos parâmetros de condições e padrões de lançamento de efluentes, na entrada e na saída do sistema de tratamento. As análises físico-químicas e biológicas são realizadas por laboratório externo certificado, o qual segue métodos laboratoriais orientados pela NBR10.599, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, EPA 8260 e ISO 15705:2005.

Foram utilizados e analisados 28 parâmetros na saída do sistema de tratamento: DBO, DQO, pH, Temperatura, Oxigênio Dissolvido, Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos, Sólidos Totais Voláteis, Sólidos Sedimentáveis, Coliforme Termotolerantes, Arsênio, Benzeno, Cádmio, Chumbo, Cianeto, Cobre Dissolvido, Cromo Hexavalente, Cromo Trivalente, Ferro Dissolvido, Fósforo Total, Mercúrio Total, Nitrogênio Amoniacal, Prata Total, Sulfeto, Etilbenzeno, Tolueno, Xileno, Fenóis Totais. Os dados pluviométricos do período monitorado foram obtidos no site do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia.

## Análise estatística

Inicialmente procedeu-se uma análise descritiva dos parâmetros de saída do efluente no sistema de tratamento de efluentes do aterro estudado. Foram analisados média, desvio padrão e o coeficiente de variação. Para o estudo multivariado dos dados, elaborou-se uma matriz de correlação de Pearson com vista a eliminar o problema de escalas e unidades diferenciadas em que as variáveis foram medidas. Em seguida realizou-se Análise Fatorial (AF) e Análise dos Componentes Principais (ACP) para estudar a formação dos grupos de variabilidades equivalentes.

Para a formação desses grupos foi elaborada a matriz de correlação dos autovalores, e extraídos os autovalores superiores a 1, seguindo-se a regra sugerida por Kaiser (KAISER, 1960, citado por MARDIA, 1979). Cada um desses autovalores é um dos componentes principais (grupo de variabilidade equivalente). A principal característica da ACP, além da ortogonalidade, é que as componentes principais são obtidas em ordem decrescente de máxima variância. Assim, a primeira componente explica o máximo da variabilidade total dos dados; a segunda, explica o máximo da variabilidade dos dados restantes, não correlacionados com a primeira e assim sucessivamente (GUEDES et al., 2012).

Por fim elaborou-se a matriz de ACP, contudo, devido aos resultados da ACP, em alguns casos, apresentarem alta complexidade para sua interpretação adota-se o procedimento de rotação ortogonal da matriz das cargas fatoriais que possibilita melhor interpretação dos fatores ao redistribuir a variância explicada pelas componentes. No estudo adotou-se o procedimento de rotação ortogonal pelo método Varimax, que permite um melhor ajuste ao modelo fatorial possível de explicação. Toda a análise estatística foi realizada no *software* Statistica 10.0.

## RESULTADOS

As estatísticas descritivas do efluente final do aterro sanitário estão apresentadas na Tabela 1. Os parâmetros pH, mercúrio total e prata total apresentaram coeficiente de variação baixo, caracterizando dados homogêneos com baixa dispersão em torno da média, já os parâmetros temperatura, sólidos totais, benzeno e xileno tiveram média dispersão e o restante dos parâmetros representando aproximadamente 67% apresentaram dados considerados heterogêneos com alta dispersão dos dados em torno da média.

**Tabela 1:** Análise descritivas dos parâmetros do efluente final do Aterro Sanitário de Lages/SC.

	Média	DP**	CV		Média	DP**	CV
<b>DBO</b>	92	111,92	121,65	<b>Cr<sup>3+</sup></b>	0,05	0,037	75,77
<b>DQO</b>	657,08	246,8	37,56	<b>Fe<sub>(diss)</sub></b>	0,54	0,308	52,80
<b>pH</b>	7,49	0,16	2,20	<b>P</b>	0,98	0,861	88,00
<b>T</b>	20,68	3,98	19,27	<b>Hg</b>	0,001	0	2,91
<b>OD</b>	4,436	2,05	46,09	<b>N-NH<sub>3</sub></b>	23,98	61,92	258,25
<b>ST</b>	2770,54	461,48	16,66	<b>Ag</b>	0,005	0,001	11,18
<b>Col.</b>	18129,68	54444,85	300,31	<b>S<sup>2-</sup></b>	0,104	0,101	97,08
<b>Prec.</b>	159,42	83,39	52,31	<b>Benzeno</b>	0,001	0	28,17
<b>Cd</b>	0,004	0,003	78,15	<b>Etilben.</b>	0,001	0	29,54
<b>Pb</b>	0,021	0,017	82,23	<b>Tolueno</b>	0,003	0,004	137,11
<b>CN<sup>-</sup></b>	0,024	0,011	43,75	<b>Xileno</b>	0,003	0,001	29,14
<b>Cu<sub>(diss)</sub></b>	0,006	0,002	38,65	<b>Fenóis</b>	0,1	0,042	41,90
<b>Cr<sup>6+</sup></b>	0,034	0,016	46,83				

**Legenda:** (\*) DBO (mg/L): Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO: Demanda Química de Oxigênio; pH: Potencial Hidrogeniônico; T (°C): Temperatura; OD (mg/L): Oxigênio Dissolvido; ST (mg/L): Sólidos Totais; Col. (NPM/100ml): Coliformes Termotolerantes; Prec. (mm): Precipitação; Cd (mg/L): Cádmio Total; Pb (mg/L): Chumbo Total; CN<sup>-</sup> (mg/L): Cianeto Total; Cu<sub>(diss)</sub> (mg/L): Cobre Dissolvido; Cr<sup>6+</sup> (mg/L): Cromo Hexavalente; Cr<sup>3+</sup> (mg/L): Cromo Trivalente; Fe<sub>(diss)</sub> (mg/L): Ferro Dissolvido; P (mg/L): Fósforo Total; Hg (mg/L): Mercúrio Total; N-NH<sub>3</sub> (mg/L): Nitrogênio Amoniacal Total; Ag (mg/L): Prata Total; S<sup>2-</sup> (mg/L): Sulfeto; Etilben. (mg/L): Etilbenzeno; Tolueno (mg/L): Tolueno; Xileno (mg/L): Xileno; Fenóis(mg/L): Fenóis Totais; (\*\*\*) DP: Desvio padrão.

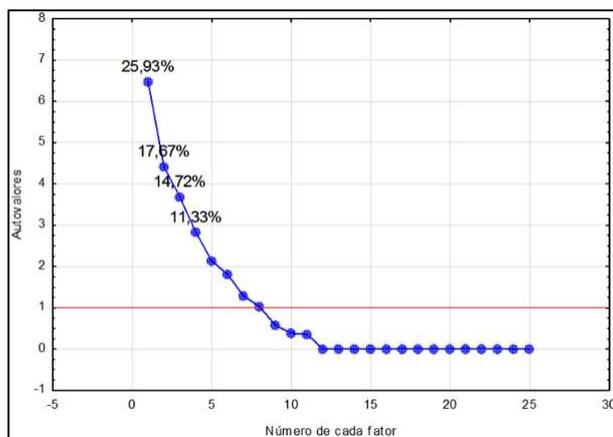
Os altos coeficientes de variações, visualizados na tabela 1, obtidos para a maioria dos parâmetros analisados se deve principalmente pela variabilidade da composição do chorume, que é afetada por diversos fatores como: tipo de resíduo recebido pelo aterro, processo de tratamento empregado, fatores climáticos, não se tendo assim uma homogeneidade dos dados. Segundo Morais et al. (2006), a composição química do chorume apresenta grande variabilidade, uma vez que, além de depender da natureza dos resíduos depositados, da forma de disposição, manejo e da idade do aterro, é extremamente influenciada por fatores climáticos, dentre os quais pode-se destacar a precipitação e a temperatura.

Para verificar a adequabilidade dos dados à Análise Fatorial e Análise de Componentes Principais (AF e ACP) realizou-se análise preliminar de teste de esfericidade de Bartlett ( $p \approx 0,000$ ). Ao testar a hipótese de que a matriz de correlação é uma matriz identidade (teste Bartlett) foi descartada a hipótese nula, verificando a existência de correlações significativas entre as variáveis, estando dessa forma os dados adequados, conforme sugere Hair et al. (2005). Na tabela 2 os valores destacados em negrito indicam maior correlação entre as variáveis. Na análise fatorial, pelo método gráfico, definiu-se o número de componentes principais a serem utilizadas. Esse método representa a porcentagem de variação explicada pela componente nas ordenadas e os autovalores em ordem decrescente nas abscissas (VICINI, 2005). A regra de Kaiser, segundo Figueiredo Filho & Silva Júnior (2010), diz que todos os fatores acima de 1 explicam a variação entre as variáveis, nesse caso foram obtidos oito fatores, contudo, Hair et al., (2005) sugere que o número de componentes que representem 60% da variância acumulada, refletem uma ideia aceitável da variância original.

**Tabela 2:** Matriz de correlação dos parâmetros do efluente final do Aterro Sanitário de Lages/SC.

	DBO	DQO	pH	T	OD	ST	Col.	Prec.	Cd	Pb	CN-	Cu	Cr 6+	Cr3+	Fe	P	Hg	N-NH3	Ag	S2-	Benzeno	Etilben.	Tolueno	Xileno	Fenóis
DBO	1,00	<b>0,62</b>	-0,26	0,21	<b>-0,70</b>	<b>-0,58</b>	-0,23	0,34	<b>0,74</b>	-0,07	0,09	-0,05	-0,17	-0,12	<b>0,65</b>	0,04	-0,12	-0,25	0,06	-0,15	0,31	0,48	<b>0,91</b>	0,48	-0,35
DQO		1,00	-0,11	-0,10	<b>-0,56</b>	-0,23	-0,21	0,03	<b>0,51</b>	-0,10	<b>0,68</b>	0,48	<b>0,50</b>	-0,02	<b>0,75</b>	0,06	0,00	-0,16	-0,26	0,06	-0,18	-0,10	<b>0,67</b>	-0,10	-0,34
pH			1,00	-0,12	0,11	0,09	0,08	-0,25	-0,41	<b>-0,68</b>	-0,26	-0,14	-0,21	-0,34	-0,17	0,26	-0,11	0,09	<b>-0,71</b>	0,24	-0,12	-0,49	-0,15	-0,48	-0,45
T				1,00	<b>-0,62</b>	0,32	0,16	<b>0,59</b>	0,38	0,23	<b>-0,57</b>	-0,28	-0,39	0,35	-0,04	0,30	-0,39	-0,42	0,07	-0,48	0,11	0,27	0,38	0,27	0,18
OD					1,00	0,23	-0,07	-0,49	<b>-0,79</b>	-0,01	-0,04	-0,15	-0,01	-0,29	-0,37	-0,41	0,36	<b>0,54</b>	0,26	0,46	-0,17	-0,34	<b>-0,81</b>	-0,33	0,38
ST						1,00	-0,19	0,05	-0,39	0,27	-0,14	-0,01	0,07	0,34	-0,06	-0,11	-0,09	0,11	0,02	0,12	-0,25	-0,41	-0,37	-0,41	<b>0,58</b>
Col.							1,00	0,10	-0,14	-0,22	-0,14	-0,12	-0,10	0,05	-0,36	<b>0,50</b>	0,09	-0,13	-0,10	0,00	0,18	0,17	-0,17	0,17	0,00
Prec.								1,00	<b>0,61</b>	<b>0,52</b>	-0,16	-0,13	-0,18	0,37	0,32	<b>0,67</b>	<b>-0,77</b>	-0,13	0,29	-0,25	0,41	0,49	0,51	<b>0,50</b>	0,28
Cd									1,00	0,33	0,17	0,17	0,04	0,25	0,35	0,34	<b>-0,52</b>	-0,36	0,06	-0,37	0,28	0,44	<b>0,82</b>	0,44	-0,31
Pb										1,00	0,14	0,29	0,33	0,31	0,05	0,09	-0,35	-0,18	<b>0,74</b>	-0,47	-0,07	0,11	-0,07	0,11	<b>0,64</b>
CN-											1,00	<b>0,78</b>	<b>0,87</b>	0,21	0,48	-0,02	0,13	0,20	-0,13	0,16	-0,25	-0,14	0,08	-0,14	-0,14
Cu												1,00	<b>0,90</b>	0,18	0,20	0,00	0,11	-0,01	-0,11	-0,29	-0,46	-0,37	-0,09	-0,37	-0,19
Cr 6+													1,00	0,25	0,23	0,04	0,07	0,01	-0,07	-0,19	<b>-0,58</b>	-0,34	-0,15	-0,35	0,00
Cr3+														1,00	0,03	0,23	-0,35	0,17	-0,16	-0,14	0,10	0,47	0,10	0,46	0,10
Fe															1,00	0,05	-0,09	0,12	0,05	0,21	0,09	0,17	<b>0,64</b>	0,17	0,06
P																1,00	<b>-0,75</b>	-0,22	-0,23	-0,21	0,16	0,18	0,28	0,18	-0,08
Hg																	1,00	0,11	0,09	0,23	-0,13	-0,21	-0,40	-0,21	0,00
N-NH3																		1,00	-0,12	<b>0,66</b>	0,00	0,10	-0,21	0,10	0,00
Ag																			1,00	-0,23	0,13	0,21	-0,15	0,21	<b>0,75</b>
S2-																				1,00	0,28	-0,10	-0,08	-0,09	0,00
Benzeno																					1,00	<b>0,59</b>	0,26	<b>0,61</b>	0,00
Etilben.																						1,00	0,45	<b>1,00</b>	0,00
Tolueno																							1,00	0,45	-0,37
Xileno																								1,00	0,00
Fenóis																									1,00

Dessa forma, foram utilizados na ACP os quatro primeiros fatores, também tratados como componentes principais, que explicam aproximadamente 69% da variabilidade dos dados (Figura 3). A tabela 3 apresenta a matriz não rotacionada de pesos fatoriais que indica a contribuição que cada variável possui na componente principal; Os valores em negrito destacam os pesos mais expressivos para aquela Componente Principal (CP). Esse valor deve ser maior que o valor absoluto de 0,5 e deve corresponder a uma única componente (ROCHA et al., 2016). Apesar dos parâmetros pH e Cr<sup>6+</sup> apresentarem valores maiores que 0,5 em mais de uma componente, ao rotacionar a matriz pelo método Varimax, o problema foi resolvido (Tabela 4), não sendo necessário a exclusão de tais parâmetros da análise.



**Figura 3:** Gráfico de explicação da proporção de variação de cada componente principal.

**Tabela 3:** Matriz de pesos fatoriais dos parâmetros analisados para as quatro componentes principais selecionadas.

Variáveis	Componente Principal (CP)			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
DBO	<b>0,78</b>	0,30	-0,30	-0,30

DQO	0,38	<b>0,85</b>	-0,08	-0,06
pH	-0,39	0,03	<b>-0,63</b>	<b>0,53</b>
T	<b>0,55</b>	-0,43	0,13	0,46
OD	<b>-0,83</b>	-0,26	0,14	-0,34
ST	-0,34	-0,21	0,47	0,29
Col.	0,01	-0,29	-0,18	0,26
Prec.	<b>0,77</b>	-0,30	0,27	0,16
Cd	<b>0,89</b>	0,25	0,05	0,04
Pb	0,27	-0,11	<b>0,92</b>	-0,03
CN <sup>-</sup>	-0,01	<b>0,84</b>	0,27	-0,24
Cu <sub>(diss)</sub>	-0,08	<b>0,78</b>	0,42	0,16
Cr <sup>6+</sup>	-0,15	<b>0,77</b>	<b>0,52</b>	0,10
Cr <sup>3+</sup>	0,35	-0,06	0,36	0,10
Fe <sub>(diss)</sub>	0,45	0,51	0,02	-0,36
P	0,47	-0,09	-0,04	<b>0,58</b>
Hg	<b>-0,55</b>	0,15	-0,13	-0,46
N-NH <sub>3</sub>	-0,33	0,00	-0,10	-0,46
Ag	0,11	-0,36	<b>0,64</b>	-0,46
S <sup>2-</sup>	-0,36	0,01	-0,41	-0,46
Benzeno	0,43	-0,45	-0,31	-0,35
Etilben.	<b>0,69</b>	-0,37	-0,08	-0,43
Tolueno	<b>0,85</b>	0,28	-0,30	-0,06
Xileno	<b>0,69</b>	-0,37	-0,09	-0,43
Fenóis	-0,13	-0,45	<b>0,72</b>	-0,19
Variância Explicada (%)	25,93	17,67	14,72	11,33
Variância Acumulada (%)	25,93	43,60	58,32	69,65

De acordo com Vicini (2005), a rotação *Varimax normalized* possibilita uma melhor visualização dos fatores, nos quais a proporção de variação das variáveis está melhor representada. A realização de rotação permite a manutenção da inércia no conjunto analisado enquanto os eixos são rotacionados permitindo uma melhor visualização dos pontos no plano. Nesse sentido é possível afirmar que a variância explicada do sistema não é alterada após a realização da rotação, pois apenas as coordenadas dos eixos são rotacionadas, sendo validadas as análises realizadas anteriormente, estando agora, associadas às variáveis originais e os fatores (LIRIO, 2004). Na tabela 4, Os valores em negrito destacam os pesos mais expressivos para o Fator Varimax – FV.

**Tabela 4:** Matriz de pesos fatoriais dos parâmetros analisados para as quatro componentes principais selecionadas após rotação Varimax.

Variáveis	Fator Varimax (FV)			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
DBO	<b>0,85</b>	0,13	-0,03	0,00
DQO	<b>0,84</b>	-0,49	-0,16	-0,05
pH	-0,16	0,24	<b>-0,70</b>	0,21
T	0,19	0,41	0,05	0,26
OD	<b>-0,66</b>	0,04	0,26	-0,24
ST	-0,21	0,02	0,19	0,05
CT	-0,24	0,06	-0,11	0,07
Plu	0,31	0,17	0,33	<b>0,77</b>
CdT	<b>0,59</b>	-0,12	0,02	0,40
PbT	-0,09	-0,29	<b>0,79</b>	0,33
CianetoT	0,29	<b>-0,90</b>	0,02	-0,06
CuD	0,06	<b>-0,92</b>	-0,02	-0,01
CrH	0,02	<b>-0,98</b>	0,08	-0,01
CrT	-0,09	-0,32	-0,07	0,25
FeD	<b>0,86</b>	-0,19	0,16	0,07
PT	0,06	-0,04	-0,14	<b>0,85</b>
HgT	-0,08	-0,07	0,03	<b>-0,95</b>
NAT	-0,19	-0,09	-0,11	-0,04

AgT	-0,05	0,12	<b>0,96</b>	-0,08
Sulfeto	0,11	0,16	-0,16	-0,16
Benzeno	0,19	0,49	0,09	0,16
Etilbenz	0,18	0,24	0,12	0,13
Tolueno	<b>0,86</b>	0,12	-0,17	0,26
Xileno	0,19	0,25	0,12	0,13
FenóisT	-0,17	0,12	<b>0,86</b>	0,02

Conforme pode ser observado na tabela 3 a primeira componente principal (CP1), que explica cerca de 26% da variância total dos dados, teve como variáveis mais expressivas tolueno, ferro dissolvido, DBO, DQO, OD e CdT, sendo que das variáveis estudadas foram as que apresentaram maior número de correlação, tendo a DBO e tolueno o maior coeficiente. A DBO se refere ao teor de matéria orgânica, sendo que quanto maior a concentração de matéria orgânica menores são os níveis de OD (MENDES, 2004), explicando a correlação negativa do OD para com a DBO, assim como é possível explicar, a correlação com o tolueno, pois a fração orgânica encontrada no chorume é composta de diversos elementos, dentre eles, poluentes orgânicos persistentes como o tolueno (SISINNO et al., 2002).

O tolueno também apresentou correlação com a DQO. Ziyang et al. (2009) menciona em seu trabalho que a DQO é normalmente considerada como o total de contaminantes no lixiviado, podendo ser maiores ainda quando se tem quantidades significativas de matéria orgânica resistentes a oxidação biológica, sendo o tolueno um poluente orgânico persistente de difícil degradação.

A relação DBO/DQO do efluente dos aterros sanitários é utilizada como indicativo da biodegradabilidade (LO, 1996), cujo valor da relação encontrado para o efluente em estudo foi de 0,14. De acordo com Santos (2003) os valores entre 0,05 e 0,2 para relação DBO/DQO são comuns em aterros antigos, os quais indicam baixa biodegradabilidade, e portanto, a provável existência de compostos orgânicos recalcitrantes, aos quais os microrganismos não possuem capacidade de degradar ou transformar essas substâncias, persistindo no meio ambiente. O Cd apresentou um coeficiente de correlação acima de 0,7 para DBO, tolueno e de forma negativa mas expressiva para o OD. Já o Fe dissolvido apresentou um coeficiente mais expressivo para DQO, DBO e tolueno porém mais baixos quando comparados ao Cd.

Os metais tóxicos como Fe dissolvido e Cd podem ser encontrados em concentrações variadas nos efluentes, e quando elevadas, causam a redução de microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica (RIBEIRO, 2002). Isso explica a correlação positiva dos metais com a DBO e DQO já que expressão os teores de matéria orgânica, sendo que quanto menor a concentração de microrganismos maiores serão os teores de matéria orgânica, assim como, o tolueno que por ser um dos compostos da fração orgânica do chorume tende a aumentar, tendo como consequência de todo esse aumento da fração orgânica a diminuição das concentrações de OD.

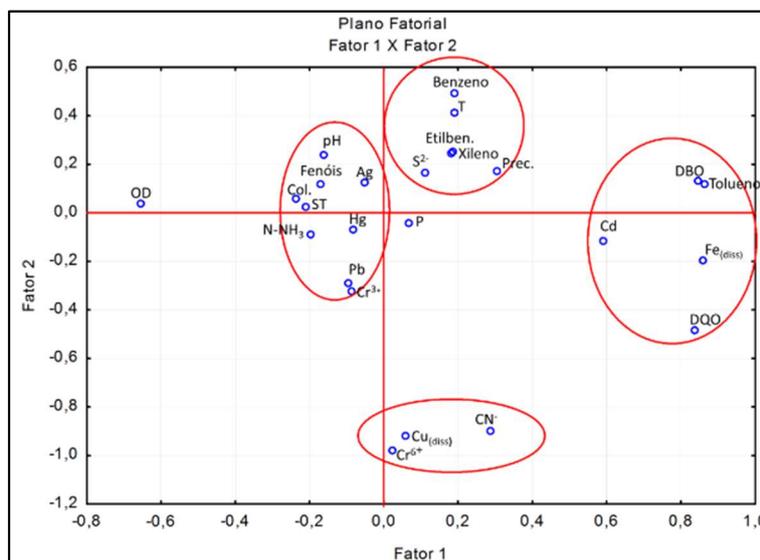
Na componente principal 2 (CP2), que explica cerca de 17% da variância total dos dados, as variáveis mais expressivas foram Cianeto total, Cu dissolvido e Cr<sup>6+</sup>. Essas mesmas variáveis apresentaram altos coeficientes de correlações entre si (Tabela 2). A ocorrência tanto de cromo quanto o cobre em efluentes de aterros sanitários pode estar relacionada a disposição de resíduos industrializados que possuem esses elementos. De acordo com Bayer (2005) o Cr de origem antropogênica é introduzido no ambiente tanto como resíduo industrial, como em produtos descartados (roupas, sapatos, produtos tingidos com pigmentos de Cr

e madeira tratada). Uma vez que o  $\text{CN}^-$  apresenta elevada afinidade com os metais (CASAGRANDE et al., 2010), o fato do  $\text{CN}^-$ , Cu dissolvido e  $\text{Cr}^{6+}$  serem as variáveis mais expressivas da CP2 é explicada.

Conforme pode ser observado na Tabela 3 a terceira componente principal (CP3), que explica cerca de 15% (Figura 3) da variância total dos dados, teve como variáveis mais expressivas o pH, Pb, Ag e Fenóis. Além do agrupamento pela AF, as variáveis pH, Pb e Ag possuem forte correlação entre si (Tabela 2). De acordo com Renou et al., (2008), metais pesados, como chumbo e prata; compostos organoclorados e principalmente fenólicos, tendem a ser mais resistentes à degradação biológica, o que pode explicar a associação entre as variáveis da terceira componente.

Por fim, as variáveis mais expressivas da quarta componente (CP4), que explica cerca de 11% da variância total, sendo responsáveis o P e Hg. Essas mesmas variáveis apresentaram altos coeficientes de correlação entre si (Tabela 2). O Hg se manteve praticamente estável durante o período monitorado. O P no efluente de aterros sanitários é originário da decomposição de resíduos orgânicos de origem doméstico e podas de árvores. O P e a precipitação apresentaram alto coeficiente de correlação positiva, o que indica que a precipitação está atuando, em relação ao fósforo, no carreamento de matérias contendo esse nutriente e elevando seus níveis, conforme sugere Lôbo (2006).

No entanto o mesmo autor ainda destaca que em muitas situações a correlação entre essas duas variáveis pode ser negativa, onde altos índices pluviométricos podem causar diluição do percolado, diminuindo assim os valores de P, em alguns casos. A Figura 4 apresenta o gráfico relativo aos Fatores 1 e 2, por serem as componentes mais importantes para a análise, uma vez que as mesmas explicam aproximadamente 44% da variância total.



**Figura 4:** Gráfico representando a relação entre fatores (Fator 1 e Fator 2) e variáveis.

As variáveis analisadas estão espacializadas, sendo perceptível as quatro componentes formadas na análise fatorial. As CP 1 e CP 2 explicam aproximadamente 44% da variância total, e as variáveis dessas componentes são as que representam resultados mais expressivos, conforme apresentado na figura 4. As variáveis que apresentaram resultados mais expressivos na CP 1 estão localizados na parte direita do plano, enquanto as variáveis mais expressivas da CP2 estão localizadas na parte inferior do plano. Ambos os

agrupamentos estão localizados distantes de zero, o que significa que possuem alta representatividade, enquanto os grupos formados pelas variáveis principais das CP 3 e CP4 estão localizadas próximas ou em cima, da origem do plano principal da nuvem de pontos, logo, possuem baixa representatividade (VICINI, 2005).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da análise estatística multivariada através de AF/ACP permitiu que fossem selecionadas quatro componentes principais, sintetizando o grande número de dados e explicando 69,65% da sua variabilidade. Através disso, foi possível identificar os parâmetros de maior influência na caracterização do efluente final do sistema de tratamento do aterro sanitário, tendo-se uma coerência entre as correlações dos parâmetros encontrados.

Salienta-se, contudo, que o ideal na gestão ambiental dos aterros sanitários é identificar o tipo de material que são recebidos, realizando-se juntamente, a separação dos mesmos de acordo com a sua classificação e respectivos tratamentos, o que permite um maior conhecimento sobre o efluente gerado. O aterro sanitário de Lages não realiza a separação dos resíduos sólidos urbanos de acordo com sua classificação, sendo todos tratados como rejeitos e dispostos em valas que são impermeabilizadas com o chorume direcionado para a estação de tratamento, não tendo um conhecimento de sua composição, aumentando consideravelmente a probabilidade de impactos no meio.

## REFERÊNCIAS

- BASSANI, F.. **Monitoramento do lixiviado do aterro controlado de Maringá, Paraná, e avaliação da tratabilidade com coagulantes naturais, radiação ultravioleta (UV) e ozônio.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.
- BAYER, V.. **Estudo da extração de cromo hexavalente, pela técnica de membranas líquidas surfatantes, visando o tratamento de efluentes líquidos de curtumes.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- BRASIL. **Lei n.12305 de 2 agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: DOU, 1998.
- CASAGRANDE, D. F. M.; OLIVEIRA, C. T.; MALFATTI, C. D. F.; VEIT, H. M.. Estudo de camadas eletrodepositadas a partir de soluções livres de cianeto. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.63, n.2, p.307-313, 2010.
- CASTILHOS JUNIOR, A. B.; MEDEIROS, P. A.; FIRTA, I. N.; LUPATINI, G.; SILVA, J. D.. **Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos:** alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
- CELERE, M. S.; OLIVEIRA, A. D. S.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURA-MUÑOZ, S. I.. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v.23, n.4, p.939-947, 2007.
- FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A.. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Opinião Pública**, v.16, n.1, p.160-185, 2010
- FREITAS, C. M.. Levantamento da disposição final de resíduos sólidos urbanos em 32 municípios do Estado de Goiás. **Revista de Biologia Neotropical**, v.12, n.2, p.120-124, 2016.
- GUEDES, H. A.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A.; RIBEIRO, C.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H.. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.5, p.558-563, 2012.
- HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.. **Análise multivariada de dados.** 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- JARDIM, N. S.; D'ALMEIDA, M. L. O.; PRANDINI, F. L.; RECICLAGEM, C. E.. **Lixo municipal:** manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT, 2000.
- KETTUNEN, R. H.; RINTALA, J. A.. Performance of an on-site UASB reactor treating leachate at low temperature. **Water Research**, v.32, n.3, p.537-546, 1998.

LEMA, J. M.; MENDEZ, R.; BLAZQUEZ, R.. Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment: a review. **Water, Air, and Soil Pollution**, v.40, n.3-4, p.223-250, 1988.

LENORE, S. C.; ARNOLD E. G.; ANDREW D. E.. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington, APHA, 1998.

LIRIO, G. S.. **Métodos multivariados: uma metodologia para avaliar a satisfação dos clientes da RBS-TV na Região Noroeste do RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

LO, I. M. C.. Characteristics and Treatment of Leachates from Domestic Landfills. **Environment International**, v.22, n.4, p.433-442, 1996.

LÔBO, E. M. P. S.. **Estudo comparativo das características dos líquidos percolados gerados no Aterro dos líquidos percolados gerados no Aterro Metropolitan/PB e no Aterro da Muribeca/PE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

MARDIA, K. V.; KENT, J. T.; BIBBY, J. M.. **Multivariate analysis**. London: Academic, 1979.

MENDES, J. C.. **Caracterização dos efluentes líquidos, em termo de ecotoxicidade, gerados na disposição de RSU nos aterros de entorno de Criciúma–SC**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2004.

MONTEIRO, J. H. P.; MANSUR, G. L.. **Manual de gestión integrada de residuos sólidos municipales em cidades da Améric Latina y el Caribe**. Rio de Janeiro: IBAM, 2006.

MORAIS, J. L.; SIRTORI, C. G.; PERALTA-ZAMORA, P.. Tratamento de chorume de aterro sanitário por fotocatalise heterogênea integrada a processo biológico convencional. **Química Nova**, v.29, n.1, p.20-23, 2006.

NASCENTES, A. L.; NASCIMENTO, M. M. P.; COSTA BRASIL, F.; CAMPOS, J. C.; FERREIRA, J. A.. Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico: aspectos operacionais e microbiológicos. **Revista Teccen**, v.6, n.1, p.1-32, 2015.

OLIVEIRA, S.; PASQUAL, A.. Monitoramento do lixiviado de aterro sanitário. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE

INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 27. **Anais**. Porto Alegre: ABES, 2000.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J. G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P.. Landfill leachate treatment: review and opportunity. **Journal of hazardous materials**, v.150, n.3, p.468-493, 2008.

RIBEIRO, M. A.. **Estudos sobre a remoção de metais tóxicos em efluentes industriais após a irradiação com feixe de elétrons**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo, 2002.

ROCHA, C. H. B.; PEREIRA, A. M.. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista Ambiente & Água**, v.11, n.1, p.176, 2016.

SANTOS, A. F. M. S.. **Caracterização, avaliação da biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia e tratamento em reator UASB do chorume do aterro Muribeca**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M.. **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2006.

SOUTO, G. B.; POVINELLI, J.. Características de lixiviados de aterros sanitários no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24. **Anais**. Belo Horizonte: ABES, 2007.

SOUZA, G.. **Monitoramento de parâmetros qualitativos e quantitativos de líquidos percolados de aterros sanitários: estudo em piloto experimental**. Dissertação (Mestrado Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

TAVARES, B. F.. **Tratamento de chorume: análise dos efluentes da evaporação forçada**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

ZIYANG, L.; YOUCAI, Z.; TAO, Y.; YU, S.; HUILI, C.; NANWEN, Z.; RENHUA, H.. Natural attenuation and characterization of contaminants composition in landfill leachate under diferente disposing ages. **Science of Total Environment**, v.407, p.3385-3391, 2009.