



III-256 - AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE PRECIPITAÇÃO QUÍMICA UTILIZANDO HIDRÓXIDO DE CÁLCIO NO TRATAMENTO DO LIXIVIADO DO ATERRO DA MURIBECA-PE

Fabília Maria Santana Silva

Graduada em Ciências Biológicas pela UPE. Mestre em Engenharia Civil - Geotecnia Ambiental pela UFPE. Doutoranda em Engenharia Civil - Geotecnia Ambiental pela UFPE. Membro do Grupo de Resíduos Sólidos (GRS-UFPE). Pesquisadora do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) e Bolsista da Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental.

Rafael Fernandes Vieira Correia Santos

Graduando em engenharia química pela UFPE. Bolsista de Iniciação científica pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB).

Eduardo Antonio Maia Lins

Graduado em Engenharia Civil pela Escola de Politécnica de Pernambuco – UPE. Mestre em Geotecnia Ambiental pela UFPE. Doutorando em Geotecnia Ambiental pela UFPE. Responsável pelo monitoramento ambiental do Aterro da Muribeca. Professor do Instituto de Administração Municipal – IBAM, FUNDAJ e da Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental - RECESA. Pesquisador do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB).

Cecília Maria Mota Lins⁽¹⁾

Graduada em Engenharia Civil pela UFPE. Mestre em Engenharia Civil - Geotecnia Ambiental pela UFPE; Doutoranda em Engenharia Civil - Geotecnia Ambiental pela UFPE. Membro do Grupo de Resíduos Sólidos (GRS-UFPE). Pesquisadora do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) e da Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental.

José Fernando Thomé Jucá

Professor do Departamento de Engenharia Civil da UFPE. Doutor pela Universidad Politecnica de Madrid. Coordenador do Grupo de Resíduos Sólidos da UFPE (GRS-UFPE). Coordenador dos Projetos PROSAB-FINEP, PRONEX/FACEPE/CNPq e CHESF/UFPE Consultor do Ministério das Cidades na área de Resíduos Sólidos. Diretor do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste– CETENE.

Endereço⁽¹⁾: Rua Professor Pedro Augusto, 71 – Jardim São Paulo - Recife – PE - CEP: 50910-510 - Brasil - Tel: (81) 9913-1986 - e-mail: fabricia82@yahoo.com.br

RESUMO

O desenvolvimento de métodos de tratamento mais eficientes e de baixo custo para o lixiviado de aterros sanitários é um grande desafio, visto que esse tratamento apresenta inúmeras dificuldades devido à dinâmica das características qualitativas e quantitativas desse tipo de efluente. Um destes métodos é a precipitação química, esta envolve a adição de produtos químicos visando à remoção de substâncias dissolvidas e suspensas por sedimentação e tem sido empregada tanto no tratamento de água quanto no tratamento de diferentes tipos de efluentes. Os testes utilizando hidróxido de cálcio como agente precipitante no tratamento do Lixiviado proveniente do Aterro Sanitário da Muribeca- PE tiveram como principais objetivos: avaliar a aplicação do método de precipitação química como pré-tratamento de lixiviado, através do uso de hidróxido de cálcio, verificar a eficiência do uso do mesmo na remoção de alguns parâmetros físico-químicos e analisar o lodo remanescente do processo. Os resultados mostram que o tratamento com precipitação química, utilizando a concentração de 15g/L de hidróxido de cálcio, foi muito satisfatório principalmente para remoção de turbidez e cor, resultando em remoções superiores a 80%. Dentre os parâmetros físico-químicos analisados, é dado destaque à baixa remoção de matéria orgânica na forma de DQO, 18%, e a elevada remoção de metais pesados verificadas após o processo. Por fim, o lodo gerado na precipitação química não inviabiliza completamente a aplicação deste método, uma vez que a sua classificação como resíduo classe IIA possibilita diversas formas de seu aproveitamento.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de lixiviado, Precipitação química, Hidróxido de cálcio.



INTRODUÇÃO

A precipitação química tem sido empregada tanto no tratamento de água quanto no tratamento de diferentes tipos de efluentes, visando principalmente à remoção de compostos orgânicos não-biodegradáveis, nitrogênio amoniacal e metais pesados. Este método envolve a adição de produtos químicos que promovem a remoção de substâncias dissolvidas e suspensas por sedimentação (METCALF & EDDY, 2003).

De acordo com Kurniawan *et al.* (2006b) o método de precipitação química usualmente utiliza como precipitantes químicos: o fosfato de amônia e magnésio ou estruvita e hidróxido de cálcio ou cal hidratada, dependendo do alvo de remoção.

O termo cal, de maneira geral, refere-se ao óxido de cálcio ou cal virgem (CaO), hidróxido de cálcio ou cal hidratada (Ca(OH)₂) e a cal dolomítica. Entretanto, as duas formas de cales mais usadas no tratamento de efluentes são a cal virgem e a cal hidratada. No tratamento de efluentes, o hidróxido de cálcio é usado principalmente para a correção de pH, como agente precipitante para matéria orgânica, fosfatos, metais traços, e como coagulante para remoção de materiais coloidais (SEMERJIAN e AYOUB, 2003).

A cal hidratada é o nome genérico de todas as formas de hidratos. Mas a cal hidratada propriamente dita se apresenta como pó seco, pouco solúvel em água à temperatura de 25° C, com 17% a 19% de água combinada (quando dolomítica normal) e 24% a 27% de água combinada quando cálcica (REBELATTO, 2006). Keenan *et al.* (1984) compararam a eficiência de 3 tipos diferentes de cales para o tratamento de lixiviado, sendo elas: cal com alta concentração de magnésio; cal com alta concentração de cálcio e cal hidratada. Tais autores constataram que a cal hidratada além de apresentar um bom desempenho no tratamento do lixiviado, também apresentou o menor custo comparado aos outros tipos.

O hidróxido de cálcio foi bastante utilizado há muitos anos no tratamento de lixiviado de aterro sanitário com dosagens de aproximadamente 1 a 15 g/L. Sua eficiência foi verificada especialmente para a remoção de cor, turbidez, metais, sólidos suspensos, além de óleos dispersos e DQO (AMOKRANE *et al.*, 1997).

O grau de clarificação ou remoção de cor de um efluente está diretamente relacionado com a quantidade de agente químico usado e dos cuidados necessários para o controle do processo, sendo possível obter por precipitação química um efluente claro e livre de matéria orgânica em suspensão e em estado coloidal (METCALF & EDDY, 2003). Diversos autores descrevem a combinação da precipitação química com outros métodos físicos ou biológicos de tratamento de lixiviado, alcançando assim uma maior eficiência do tratamento de lixiviado (Schoeman, 2008; Kapetanios *et al.*, 1995).

O hidróxido de cálcio além de ser usado com agente precipitante, também pode funcionar como auxiliar de coagulação no tratamento de efluentes em geral. Tatsi *et al.* (2003), por exemplo, examinaram a aplicação do método de coagulação/ floculação utilizando diferentes reagentes químicos, entre eles o hidróxido de cálcio. Verificaram que o uso de sulfato de alumínio e/ou adição de hidróxido de cálcio apresentaram uma menor remoção de DQO (39% e 18%, respectivamente) quando comparados a eficiências dos sais de ferro (acima de 50%). Os autores constataram que uma elevada capacidade de remoção de DQO foi observada durante a ação combinada de sulfato de alumínio e cal para o tratamento de lixiviado estabilizado.

Pesquisadores relatam que a precipitação com hidróxido de cálcio para o tratamento de efluentes inorgânicos tem sido considerada como um dos mais efetivos meios para remoção de metais com concentração acima de 1000mg/L. Kurniawan *et al.* (2006a) relataram o emprego desse agente precipitante na remoção de metais pesados como Zn (II), Cd (II) e Mn (II) com concentração inicial de 450, 150, 1085 mg/l respectivamente. Çeçen e Gursoy (2000) também descreveram a eficiência da remoção de metais pesados como Cu (II), Pb (II), Fe (II), Mn (II) e Ni (II), em um lixiviado novo, utilizando apenas 8g/l de hidróxido de cálcio. Tal eficiência dá-se pelo fato que quando o pH é ajustado para condições alcalinas (pH 11) os íons metálicos são convertidos para uma fase sólida insolúvel e precipitam na forma de hidróxido metálico.

A Equação 1 apresenta o mecanismo de remoção de metal pesado pela precipitação química (KURNIAWAN *et al.*, 2006a), onde M²⁺ e OH⁻ representam os íons metálicos dissolvidos e o agente precipitante, respectivamente, enquanto M(OH)₂ é o insolúvel hidróxido metálico.





As principais vantagens da aplicação de hidróxido de cálcio na precipitação química incluem: disponibilidade do reagente em muitos países; não contribui para o aumento da salinidade, como é o caso quando se emprega sais de alumínio ou ferro; baixo custo e simplicidade do método. O pré-tratamento com hidróxido de cálcio é mais barato do que a aplicação de outros produtos químicos tais como: sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato de magnésio etc. Todavia, como todo método empregado para o tratamento de lixiviado, a precipitação também apresenta algumas desvantagens, tais como: aumento do pH e dureza do efluente, geração de lodo e conseqüentemente, aumento no custo de disposição do lodo (TATSI *et al.*, 2003 ; KURNIAWAN *et al.* , 2006b; SEMERJIAN & AYOUB, 2003).

Diante do exposto, este trabalho teve principais objetivos: avaliar a aplicação do método de precipitação química como pré-tratamento de do Lixiviado proveniente do Aterro Sanitário da Muribeca- PE, através do uso de hidróxido de cálcio como agente precipitante; verificar a eficiência do uso de hidróxido de cálcio na remoção de parâmetros físico-químicos relevantes em termos ambientais; por fim, fazer um breve comentário a respeito da classificação e possível destinação do rejeito ou lodo gerado no processo de precipitação química.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios utilizando hidróxido de cálcio ou cal hidratada (Ca(OH)_2) como parte do tratamento químico do lixiviado, foram divididos em duas etapas. A primeira etapa consistiu em um ensaio preliminar para selecionar o produto (hidróxido de cálcio) mais adequado a ser utilizado na pesquisa como agente precipitante, com base nos resultados obtidos quanto à remoção de cor e turbidez. A segunda etapa objetivou otimizar a dosagem de hidróxido de cálcio em relação à remoção de cor, bem como avaliar a eficiência do método quanto à remoção de outros parâmetros físico-químicos.

A caracterização das amostras de lixiviado, bruto e após os métodos de tratamento, foi realizada de acordo com os procedimentos estabelecidos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

CARACTERIZAÇÃO DAS CALES E ENSAIOS PRELIMINARES

Um ponto fundamental no método de precipitação química é a seleção do hidróxido de cálcio que irá atuar como agente precipitante. Para isso, três marcas de hidróxido de cálcio foram caracterizadas quimicamente, das quais uma corresponde a hidróxido de cálcio puro (P.A.) e outras duas marcas comerciais.

A descrição dos produtos avaliados e fabricantes encontram-se descritos na Tabela 1 e para facilitar a identificação e descrição de cada um dos produtos testados, foi atribuída aos diferentes produtos à seguinte denominação: hidróxido de cálcio P.A., comercial A e B.

Tabela 1: Descrição das diferentes marcas comerciais de hidróxido de cálcio avaliadas na pesquisa.

Produto	Descrição	Custo
P.A.	Uso em laboratório	R\$ 10,00 (0,5 kg)
Comercial A	Construção civil	R\$ 5,00 (10 kg)
Comercial B	Construção civil	R\$ 8,00 (10 kg)

As cales são constituídas basicamente de óxido de cálcio ou óxido de magnésio ou mais comumente pela mistura destes dois compostos. A escolha do hidróxido de cálcio foi baseada nos resultados correspondente a análise química semi-quantitativa, que aponta a percentagem de óxidos presentes na amostra (Tabela 2).

A seleção do hidróxido de cálcio foi baseada também em ensaios em batelada, nos quais foram avaliadas a eficiência de todas as marcas de hidróxidos quanto à remoção dos parâmetros de cor e turbidez.

Os ensaios em batelada foram efetuados em uma mesa agitadora (Marca Tecnal – TE 140) e consistiram em adicionar diferentes concentrações de hidróxido de cálcio, na faixa de 0,5 - 3,5g variando a cada 0,25g, em erlenmeyers de 250 mL, contendo 100 mL de lixiviado cada. Os frascos foram agitados a 200 rpm por 5 min e



após a agitação foram deixados em repouso por 1 hora, para que houvesse a sedimentação dos sólidos. Os parâmetros de cor e turbidez foram analisados no sobrenadante e no final dos ensaios, a eficiência de remoção dos parâmetros avaliados foi determinada.

Tabela 2: Caracterização das diferentes marcas comerciais de hidróxido de cálcio avaliadas na pesquisa.

Análise	Resultados (%)		
	Cal P.A.	Comercial A	Comercial B
CaO	73,88	73,22	75,02
MgO	--	4,89	--
SiO ₂	0,14	0,95	0,23
P ₂ O ₅	0,25	0,43	0,2
Fe ₂ O ₃	0,07	0,32	0,18
Al ₂ O ₃	--	0,1	0,05
SrO	0,34	0,1	0,34
Na ₂ O	--	0,09	--
K ₂ O	--	0,05	0,05
SO ₃	0,02	0,03	--
ZnO	0,05	--	--
MnO	--	--	0,02
Cl	--	0,03	--
PF	25,29	19,78	23,91
Total	100	100	100

OTIMIZAÇÃO DA DOSAGEM DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO

Os ensaios de otimização da dosagem de hidróxido de cálcio foram realizados em testes de jarro. Este equipamento é composto de seis reatores ou jarros com capacidade para 2 litros em cada reator e possui controle de rotação (agitação mecânica) ajustável até 120 rpm e capacidade de realizar seis ensaios simultâneos.

A principal finalidade dos ensaios de precipitação química em jarros foi determinar a concentração ótima de hidróxido de cálcio tendo como principal parâmetro a remoção de cor visível, para isso diferentes concentrações de hidróxido de cálcio, na faixa entre 5 a 35 g, foram adicionadas a 1 litro de lixiviado, variando-se essa concentração a cada 2,5g. Os parâmetros de agitação e tempo adotados foram 120 rpm por 5 min e 1 hora de sedimentação.

Definida a melhor dosagem de hidróxido de cálcio para cada amostra de lixiviado, a qualidade do efluente tratado foi analisada. Nessa etapa, utilizando a Equação 2, foi verificada a eficiência do método de precipitação química na remoção de cor e de outros parâmetros físico-químicos tais como: turbidez, DBO, DQO, fósforo, cloretos e metais.

$$E (\%) = [(C_i - C_f) / C_i] \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: E = eficiência de remoção, em porcentagem; C_i = concentração inicial (Lixiviado bruto) e C_f = concentração final (lixiviado tratado)

CARACTERIZAÇÃO DO LODO QUANTO À PERICULOSIDADE

O volume de lodo obtido após o tratamento de precipitação química foi seco em estufa a uma temperatura entre 30 e 35 °C, por aproximadamente uma semana. Em seguida, a massa de lodo seca foi conservada a 4 °C e posteriormente caracterizada qualitativamente de acordo com os ensaios de solubilização e lixiviação



seguindo as NBRs 10005 e 10006 (ABNT, 2004b; ABNT, 2004c). Com base nos resultados dos respectivos ensaios, o lodo foi classificado em termos de sua periculosidade de acordo a NBR 10004 (ABNT, 2004a).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO DAS CALES E ENSAIOS

Os resultados da caracterização química, apresentados na Tabela 2, apontam as percentagens de óxidos encontradas nas três amostras de hidróxido de cálcio, dentre eles os principais são os óxidos de cálcio e magnésio. Alguns óxidos, tais como SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , P_2O_5 , podem ser considerados impurezas e esses podem interferir na qualidade do hidróxido de cálcio comercial. Portanto, dentre as marcas de hidróxido de cálcio analisadas, a comercial A apresenta a maior percentagem dessas impurezas que representam 1,8% do total, enquanto as outras apresentam uma percentagem de 0,46% para o P.A. e 0,66% para a comercial B.

Na Figura 1 são encontrados os perfis de remoção de cor e turbidez do lixiviado em função da concentração de diferentes marcas de hidróxido de cálcio testadas.

A cor inicial do lixiviado foi de 12800 Hz e baseada na relação maior remoção e menor concentração, pode ser observado na Figura 2 que o melhor resultado de remoção para esse parâmetro corresponde ao hidróxido de cálcio P.A., seguido da comercial B. Para a menor concentração (1g/100mL) o hidróxido de cálcio P.A. removeu aproximadamente 91%, enquanto os comerciais A e B removeram cerca de 39% e 63%, com valores de cor final de 1111, 7737 e 4761 Hz, respectivamente. Já os resultados correspondentes a remoção de turbidez mostraram que para a menor concentração (1g/100mL) a remoção foi de aproximadamente 92% para o hidróxido de cálcio P.A., 3,5% para a comercial A e 48% para a comercial B. O valor de turbidez inicial da amostra de lixiviado testada foi de 280 NTU e após a adição das diferentes marcas de hidróxido de cálcio, a turbidez foi reduzida para valores compreendidos entre 22 e 270 NTU.

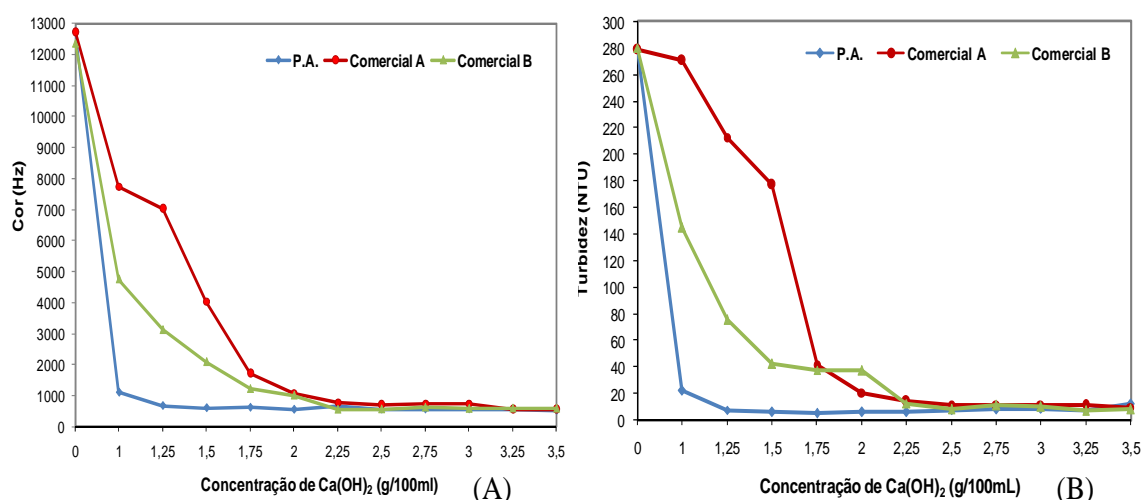


Figura 1: Perfis de remoção de cor e turbidez do lixiviado em função da concentração de diferentes marcas de hidróxido de cálcio.

Avaliando-se os resultados descritos na Figura 1 e com base na Tabela 2, denota-se claramente que o hidróxido de cálcio P.A. apresentou uma menor quantidade de impurezas na sua composição e conseqüentemente, uma melhor eficiência de remoção dos parâmetros físicos de cor e turbidez. Porém, na prática verifica-se que o uso desse tipo de hidróxido é inviável economicamente devido a seu elevado custo em relação às outras marcas comerciais testadas. Logo, optou-se em utilizar em toda a pesquisa o hidróxido comercial B por apresentar um bom desempenho e por ser acessível economicamente.

De modo geral, os resultados mostraram que a clarificação do lixiviado ocorreu progressivamente com o aumento da concentração de hidróxido de cálcio, sendo observada que a cor marrom escuro a preta inicial muda gradualmente de marrom claro a amarelo translúcido. Essa coloração amarela é observada quando se atinge a melhor dosagem de hidróxido de cálcio e no caso específico dessa pesquisa tal coloração foi obtida

utilizando 15g/L de hidróxido de cálcio (Figura 2). O valor inicial de cor medido em uma das amostras brutas de lixiviado foi de 14535 Hz e após o tratamento com 15g/L foi alcançada uma redução significativa de cor, superior a 85%, cujo valor final encontrado foi de 2400 Hz. A redução progressiva de cor obtida com o aumento das concentrações de hidróxido de cálcio, bem como os gráficos de redução de concentração versus remoção em porcentagem para cada uma das amostras analisadas encontra-se na Figura 2.

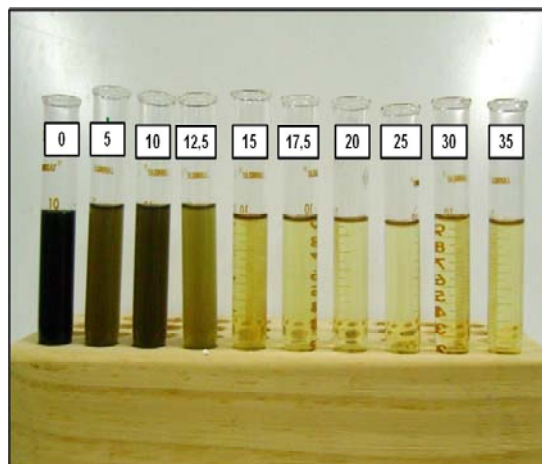
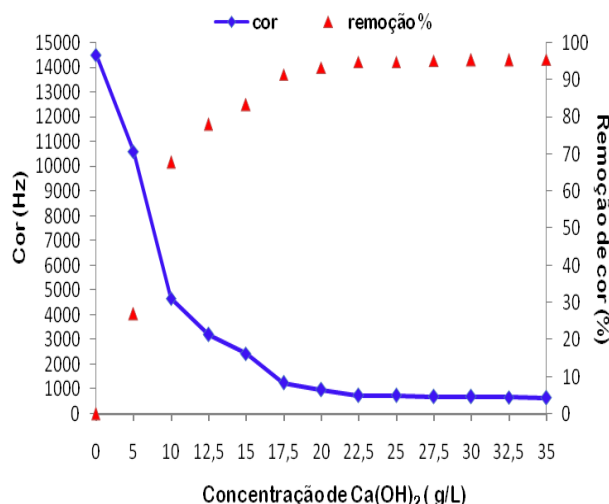


Figura 2: Gráfico e fotografia ilustrativas da remoção gradual de cor em uma amostra de lixiviado do Aterro da Muribeca promovida pelo adição de diferentes concentrações de hidróxido de cálcio

Definida o melhor hidróxido de cálcio, com base na composição química e ensaios em batelada, o próximo passo foi avaliar em oito amostras de lixiviado, coletadas no período de janeiro a julho de 2008, a remoção de parâmetros orgânicos e inorgânicos relevantes em termos ambientais utilizando a concentração pré-definida de 15g/L de hidróxido de cálcio. Na Tabela 3 são apresentadas as características físico-químicas dos lixiviados bruto e após o tratamento com precipitação química analisados na pesquisa, com os seus respectivos valores médios, mínimos e máximos.

Tabela 3: Intervalos de variação dos parâmetros físico-químicos de monitoramento determinados nas amostras de lixiviado do Aterro da Muribeca no período de janeiro a julho de 2008.

PARÂMETROS	LIXIVIADO BRUTO			LIXIVIADO TRATADO		
	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média
Cor (Hz)	3260	14520	8709	207	2028	956,3
Turbidez (NTU)	16,5	289	192,2	5,7	82,0	27,5
DBO (mg/L)	3200	4965	4326	1670	3677	2154
DQO (mg/L)	5384	8259	6520	2064	7451	5333
pH	7,8	8,3	8,0	11,8	13	12,2
Fósforo (mg/L)	7,3	12,3	9,5	3,8	10,7	5,4
Cloretos (mg/L)	103	176,5	142,7	96	162	126,6
ST (mg/L)	5260	10820	8884	4120	9620	6870
SST (mg/L)	300	560	412	100	230	150

Na Figura 3 são apresentados os valores de concentração médios de cor e turbidez referentes ao lixiviado bruto e tratado por precipitação química. Em relação a tais parâmetros o tratamento com o hidróxido de cálcio provou ser muito eficiente atingindo valores médios de remoção de 89% e 85,7 %, respectivamente. O



tratamento reduziu os valores médios de concentração de cor e turbidez do lixiviado bruto de 8709 Hz e 192,2 NTU para valores médios de 956 Hz e 82 NTU referentes ao lixiviado tratado, respectivamente. Segundo AMOKRANE et al. (1997) o hidróxido de cálcio remove cerca de 70 a 90 % da cor e turbidez do lixiviado.

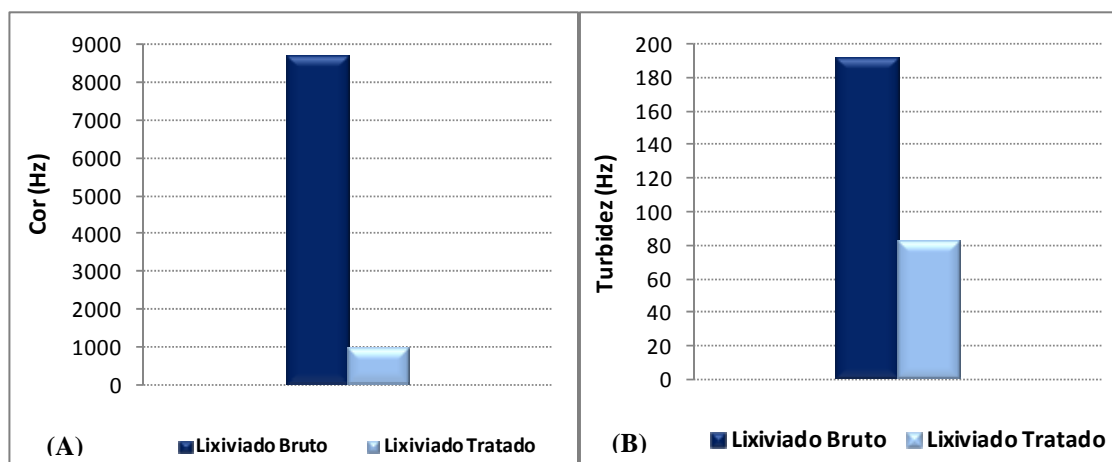


Figura 3: Variação média da concentração de cor (a) e turbidez (B) nas amostras de lixiviado bruto e tratado por precipitação química.

A concentração média de DBO no lixiviado bruto foi de 4326 mg/L, sendo essa reduzida para um valor médio de 2154 mg/L no lixiviado tratado após a adição de hidróxido de cálcio. Comportamento semelhante pode ser observado ao analisar o teor de DQO, cujo valor médio inicial de 6520 mg/L foi reduzido para um valor médio de 5333 mg/L (Figura 4). As eficiências remoção encontradas foram de 50% de DBO e 18% de DQO. A remoção de matéria orgânica através do método de precipitação química varia de acordo com a qualidade e procedência do lixiviado. SCHOEMAN (2008) e alguns Pesquisadores citados por QASIN & CHIANG (1994) afirmam que a remoção de DBO e DQO por precipitação química é realmente pequena, ou seja, presumisse que as substâncias recalcitrantes e medianamente biodegradáveis permanecem no lixiviado após o tratamento.

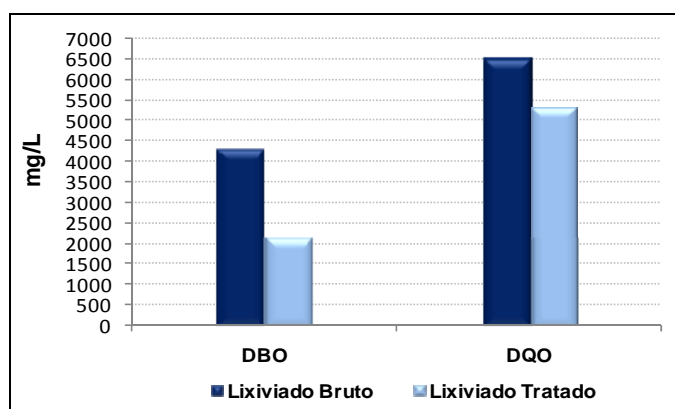


Figura 4: Variação média da concentração de DBO e DQO entre as amostras de lixiviado bruto e tratado por precipitação química.

Em relação ao fósforo, a concentração média encontrada no lixiviado bruto foi de 9,5 mg/L, sendo essa reduzida para um valor médio de 5,4 mg/L no lixiviado tratado, atingindo assim uma remoção de 43%. Quanto aos cloretos o valor médio inicial no lixiviado bruto 142 mg/L foi reduzido para um valor médio de 126,6 mg/L após o tratamento com o hidróxido de cálcio, apresentando assim uma remoção média de apenas 11%. Na Figura 5 é apresentada variação média da concentração de fósforo e cloretos nas amostras de lixiviado bruto e tratado por precipitação química.

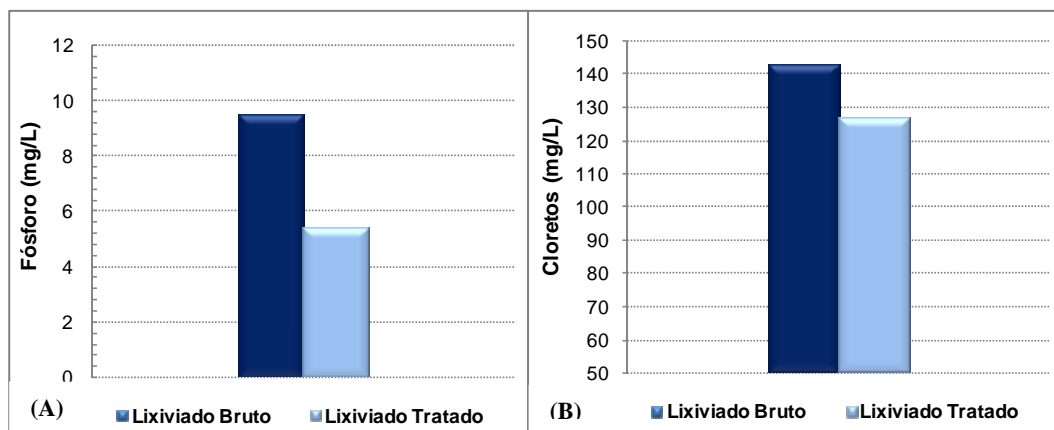


Figura 5: Variação média da concentração de fósforo (a) e cloretos (B) nas amostras de lixiviado bruto e tratado por precipitação química

O pH básico (superior a 11) após o tratamento faz com que os íons metálicos dissolvidos sejam convertidos para uma fase insolúvel através da reação com Ca(OH)_2 , precipitando-os na forma de hidróxido (KURNIAWAN *et al.*, 2006). As concentrações médias de metais pesados e os respectivos valores de remoção presentes na amostra de lixiviado bruto e após tratamento com hidróxido de cálcio são mostradas na Tabela 4, juntamente com os valores máximos de descarte permissíveis. O tratamento com o Ca(OH)_2 promoveu remoção significativa para vários metais pesados analisados (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb e Cr), como se percebe na comparação com os dados antes do tratamento.

De modo geral, dentre os metais pesados analisados, o Fe apresentou maiores remoções com valor máximo de 95,5%, seguido do Mn com 89% e do Pb com 77%. Os restantes dos metais pesados também mostraram boas remoções, com valores médios de 43,5%, 22% e 14%, respectivamente para Cr, Zn e Cu, respectivamente.

Tabela 4: Resultados médios das análises de metais pesados presentes nas amostras de lixiviado bruto e tratado com precipitação química, e os respectivos limites de lançamento para efluentes em corpos receptores.

Elementos	Lixiviado		Remoção %	VMP*
	Bruto	Tratado		
Fe	48,07	2,17	95,5	15,0 (dissolvido)
Mn	0,48	0,05	89,6	1,0 (dissolvido)
Zn	1,33	1,03	22,6	5,0
Cu	0,21	0,18	14,3	1,0 (dissolvido)
Ni	N.D.	N.D.	0	2,0
Pb	0,22	0,05	77,3	0,5
Cr	0,23	0,13	43,5	0,5

*Valores Máximos Permitidos para lançamento de efluentes determinados pela Resolução CONAMA 357/05. N.D. – não detectado. Unidade: mg/L

ANÁLISE DO LODO

Quanto ao lodo gerado no processo de precipitação química, as análises foram realizadas de acordo com as prescrições da NBR 10004, com a finalidade de classificá-lo quanto à sua periculosidade em resíduos Classes I e II - A e B, considerando seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. A classificação foi baseada nos resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização, nos quais são exigidos análises de parâmetros orgânicos e inorgânicos, referentes às normas 10005 e 10006, respectivamente.

A amostra de lodo, segundo com as normas da ABNT 10004, 10005 e 10006, é classificada como resíduos Classe II A (Não Perigoso – Não Inerte), sendo também classificado como não Corrosivo e não Reativo. Os



resíduos Classe II A - não-inertes são os resíduos que não apresentam periculosidade, porém podem apresentar propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água (SBRT, 2008). De acordo com SANTANA-SILVA (2008), o lodo precipitado pode conter diversos compostos, tais como: hidróxido de cálcio, carbonato de cálcio, fósforo precipitado, nitrogênio orgânico, dessa forma poderia ser facilmente utilizado como fertilizante ou até mesmo utilizá-lo na correção de solos ácidos.

CONCLUSÕES

O método de precipitação química utilizando hidróxido de cálcio na concentração pré-estabelecida de 15g/L mostrou-se satisfatório no tratamento do lixiviado do Aterro da Muribeca - PE, principalmente no que se refere aos parâmetros de cor e turbidez. Aliado a tais resultados, o referido tratamento foi eficiente também para a remoção de outros parâmetros físico-químicos de relevância ambiental tais como fósforo e metais pesados. Em contrapartida, não apresentou remoção significativa para matéria orgânica, principalmente DQO, fato observado em literatura. O lodo gerado na precipitação química não inviabiliza completamente a aplicação deste método, uma vez que a sua classificação como um resíduo não perigoso, não inerte- classe IIA possibilita diversas formas de seu aproveitamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. _____.NBR 10005 (2004b): Procedimento para a obtenção de extrato lixiviado em resíduos sólidos. Rio de Janeiro.
2. _____.NBR 10006 (2004c): Procedimento para a obtenção do extrato solubilizado em resíduos sólidos.
3. AMOKRANE, A., COMEL, C., VERON, J. (1997). Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation. *Water research*, v. 31, n. 11, p. 2775-2782.
4. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20. ed. Washington: American Public Health Association. 1220 p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). .NBR 10004 (2004a): Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro.
6. ÇEÇEN, F., GURSOY, G. (2000). Characterization of landfill leachates and studies on heavy metal removal. *Journal of Environmental Monitoring*, v. 2, n. 5, p. 436-442.
7. KAPETANIOS, L.; PAPADOPOULOS, A.; LOIZIDOU, M.; HARALAMBOUS, K.J. (1995). Physical-chemical-biological treatment of leachates from stabilised landfills. In: *Proceedings Sardinia, Fifth International Landfill Symposium*, Cagliari, Italy. Cagliari: CISA, v.2, p.551.
8. KEENAN, J.D.; STEINER, R.L.; FUNGAROLI, A.A. (1984). Chemical-physical leachate treatment. *Journal Water Pollution Control Federation*, v. 56.
9. KURNIAWAN, T.A.; CHAN, G.Y.S.; LO, W.; BABEL, S. (2006a) Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, n. 118, p. 83-98.
10. KURNIAWAN, T.A.; LO, W.; CHAN, G.Y.S. (2006b). Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, n. 28, p. 80-100.
11. METCALF E EDDY. (2003). *Waste engineering: Treatment and reuse*. 4. ed. Boston: McGraw-Hill. 1819 p.
12. REBELATTO, M.F. (2006). Avaliação de métodos de desinfecção de resíduo infeccioso e de seu percolado. Dissertação de Mestrado - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC. 117 p.
13. SANTANA-SILVA, F. M. (2008). Avaliação do método de precipitação química associado ao stripping de amônia no tratamento do lixiviado do Aterro da Muribeca-PE. Dissertação de Mestrado – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 117 p.
14. SCHOEMAN, J.J. (2008). Evaluation of electrodialysis for the treatment of a hazardous leachate. *Desalination*, v. 224, n. 1-3, p. 178-182.
15. SEMERJIAN, L.; AYOUB, G. (2003). High ph-magnesium coagulation-flocculation in wastewater treatment. *Advances in Environmental Research*, v. 7, n. 2, p. 389–403.
16. SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS – SBRT. Disponível em: <<http://sbrtv1.ibict.br/upload/sbrt6047.pdf?PHPSESSID=88b1b4d2cd3443f5ba7c6b29362ae16>>. Acesso em: 10 de abril de 2008.
17. TATSI, A.A., ZOUBOULIS, A.I., MATIS, K.A., SAMARAS, P. (2003). Coagulation–flocculation pre-treatment of sanitary landfill lichgates. *Chemosphere*, v. 53, p. 737–744.