

III-057 - AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/DECANTAÇÃO DE LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS URBANOS

Victor Fernandes Bezerra de Mello

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco (1981), mestrado em Engenharia Civil (área de Geotecnia Ambiental) pela Universidade Federal de Pernambuco (2011). Tem experiência na área de Engenharia Química.

Juliana dos Prazeres Gama de Abreu

Graduando do curso de Engenharia Química da UFPE.

Joelma Morais Ferreira

Engenheira Química e mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba e Doutora em Engenharia de processos pela Universidade Federal de Campina Grande. Atualmente é professora colaboradora do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco e Co-Orientadora do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Química, da Universidade Federal de Pernambuco.

José Fernando Tomé Jucá

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, mestre em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Doutor pela Universidad Politécnica de Madrid. Professor Titular da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Pesquisador do CNPq. Bolsista de Produtividade 1B. Em 1994 criou e coordena o Grupo de Geotecnia Ambiental aplicada a Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (GRS/UFPE), onde desenvolve vários projetos financiados por agências de fomento e Empresas e Poder Público.

Maurício da Motta⁽¹⁾

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Católica de Pernambuco (1992), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (1995) e doutorado em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine (2001). Atualmente é professor adjunto do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco e dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Química e em Engenharia Civil da UFPE. Pesquisador 2 do CNPq desde 2004

Endereço⁽¹⁾: Laboratório de Processos e Tecnologia Ambiental (LPTA) - Departamento de Engenharia Química - CTG - Universidade Federal de Pernambuco - Cidade Universitária - 50740-521 - Recife - Pernambuco - Brasil - Tel.: (81) 2126-7268 - Fax: (81) 2126-7278 - e-mail: mottas@ufpe.br

RESUMO

A disposição desordenada de resíduos a céu aberto gera impactos ambientais e sociais de grande porte. No Brasil, cerca de 84,4% dos municípios dispõem os resíduos gerados em lixões a céu aberto, sem qualquer controle ambiental. A disposição de resíduos sem os devidos cuidados pode gerar a proliferação de agentes patogênicos, poluição do solo, do ar e de recursos hídricos através da migração dos elementos constituintes do chorume e de gases produzidos através do processo de degradação da matéria orgânica desses depósitos. Todo lixiviado utilizado neste trabalho foi coletado na caixa de vazão do aterro de Muribeca, localizado na cidade de Jaboatão dos Guararapes - PE. De maneira geral, para lixiviados de aterros sanitários, utilizam-se métodos biológicos e físico-químicos. No caso dos métodos físico-químicos objetiva-se aumentar a biodegradabilidade da matriz. Dentre os métodos físico-químicos, a precipitação química utilizando hidróxido de cálcio vem sendo empregada com grande eficácia no tratamento de efluente com elevadas concentrações de compostos orgânicos e metais pesados. A escolha desta técnica, consiste, entre outros fatores, na simplicidade do processo, no baixo custo e na disponibilidade do agente precipitante adotado.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro Sanitário, Lixiviados, Tratamento Físico-Químico, Coagulação, Floculação.

INTRODUÇÃO

Todo resíduo que é gerado, precisa ser tratado ou disposto em algum local, e as formas de disposição final dos resíduos domésticos pode variar, sendo os mais empregados no Brasil os lixões e os aterros. Segundo SISINNO (2000), no Brasil, aproximadamente 84,4% dos municípios dispõem os resíduos gerados em lixões a céu aberto, sem qualquer controle ambiental, gerando impactos ambientais e sociais de grande porte.

Quando líquidos contaminantes percolam através dos materiais geológicos, parte dos íons e/ou moléculas podem ser adsorvidos pelas partículas minerais ou materiais orgânicos. Tal processo ocorre até uma condição de equilíbrio e adsorção e poderá modificar-se quando um ou mais atributos controladores (pH, pressão e temperatura) forem alterados (PALMA et al., 2004).

O Chorume é uma substância líquida resultante do processo de putrefação de matérias orgânicas. É viscoso e possui um cheiro muito forte e desagradável enquanto os lixiviados são o resultado da percolação de água, através da massa de resíduos, acompanhada de extração de materiais dissolvidos ou em suspensão, na maior parte das vezes formam-se a partir de água com origem em fontes externas tais como a chuva, escoamentos superficiais, águas subterrâneas ou águas de nascente e da decomposição dos resíduos.

Para tratar o chorume, pode-se utilizar os métodos biológicos e físico-químicos. O tratamento físico-químico é normalmente utilizado como um pré-tratamento, aumentando a biodegradabilidade da matriz ou polimento final, por meio de remediação de parâmetros que não são alcançados pelos tratamentos biológicos (MORAIS, 2005).

Os lixões respondem pelo destino final de cerca de 22,5% de todo resíduo produzido no Brasil e se caracterizam por serem depósitos a céu aberto onde o lixo é apenas dispensado, sem nenhum tratamento dos resíduos em decomposição. Por isso, há alta contaminação do solo e da região ao redor desses lixões, e contaminação do lençol freático pela percolação do chorume no solo (JUCÁ, 2003). Corpos-d'água, receptores finais de efluentes industriais e urbanos, estão com a qualidade cada vez mais comprometida, representando um sério risco à saúde humana.

Os perigos dos lixiviados, são devidos às altas concentrações de poluentes orgânicos e nitrogênio amoniacal. Agentes patogênicos e substâncias químicas tóxicas podem estar presentes (LANG, 2009).

Para o tratamento de lixiviados de aterros sanitários, podem ser utilizados métodos biológicos e físico-químicos. O método físico-químicos visa proporcionar um pré-tratamento ou a diminuição dos parâmetros como por exemplo cor e turbidez, que são objeto de estudo deste trabalho.

Dentre os métodos físico-químicos, um processo simples e de baixo custo que vem sendo utilizado é a precipitação química a partir do leite de cal preparado em várias concentrações de hidróxido de cálcio. Este método vem apresentando grande eficácia no tratamento de efluentes com elevadas concentrações de compostos orgânicos e metais pesados.

O processo de coagulação desestabiliza as partículas coloidais pela adição do coagulante. Para aumentar o tamanho da partícula, o processo da coagulação é geralmente seguido pela floculação das partículas instáveis, onde há formação de flocos volumosos por agruparem-se mais facilmente. Esta técnica facilita a remoção de sólidos suspensos e partículas coloidais da solução (KURNIAWAN, 2006).

No tratamento do lixiviado de aterros sanitários antigos, estes processos tem se mostrado eficientes. Tem sido largamente utilizados no pré-tratamento obtendo melhores resultados que nos tratamentos biológicos ou por osmose reversa. Ainda podem ser utilizados com um polimento final ao pré-tratamento para remoção da matéria orgânica não biodegradável (RENOU, et al, 2008).

Os processos de Coagulação-floculação têm sido largamente empregados para remoção de compostos orgânicos não biodegradáveis e metais pesados do lixiviado (URASE et al.,1997). Amokrane et al. (1997) utilizaram sais de ferro e de alumínio no tratamento de lixiviados com baixa relação DBO5/DQO, obtendo eficiências de até 65% na redução DQO e de carbono orgânico total.

Bila (2000), tratando lixiviados por coagulação com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , Tanfloc SG, Cloralfloc 18 alcançou eficiências de 40%, 43%, 37% e 26%, respectivamente, na redução de DQO.

A execução da coagulação/floculação é muito importante ao tratamento do lixiviado. As Vantagens deste tratamento físico-químico é principalmente sua simplicidade e baixo custo, eficiência e pode ser facilmente executado no local (TATSI, 2006).

O presente trabalho objetiva-se a fazer um planejamento experimental, através do estudo de planejamento fatorial 2⁶, para determinar as melhores condições para tratamento do chorume utilizando leite de cal, selecionando as principais variáveis que irão influenciar no processo de adsorção.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para os ensaios de coagulação foi utilizado o lixiviado proveniente do aterro da Muribeca (Jaboatão dos Guararapes – PE).

O aterro controlado da Muribeca, que até 2009 recebeu todo lixo das cidades de Recife e Jaboatão dos Guararapes, possui uma área de 64 ha (Figura 1) e localiza-se a 16 km da Cidade do Recife, no Município de Jaboatão dos Guararapes. Foi o maior aterro em operação na Região Metropolitana do Recife de 1985 até meados de 2009, estando atualmente fechado para receber resíduos, teve seu processo de recuperação iniciado em 1994 com a construção de 9 células revestidas por uma camada de solo impermeabilizante onde é depositado e compactado o lixo (BRAGA et al, 2002). Durante sua operação, o aterro da Muribeca recebia até 3000 toneladas/dia de resíduos (lixo doméstico, hospitalares e industriais)



Figura 1 - Vista aérea da célula de resíduos e da estação de tratamento de lixiviado do Aterro da Muribeca em 2007. Fonte: LINS, 2008.

Neste trabalho o pré-tratamento do chorume foi realizado utilizando hidróxido de cálcio para preparação do leite de cal nas concentrações de 50, 125 e 200g/L.

A coleta do chorume foi realizada em bombonas de polietileno com capacidade de volume de 20 litros da caixa de vazão localizada entre a lagoa de decantação e lagoa anaeróbica da Estação de tratamento de Lixiviado no aterro da Muribeca localizado em Jaboatão dos Guararapes – PE. O chorume coletado foi conservado sob refrigeração até sua utilização.

Para as análises de caracterização do lixiviado foi seguida a metodologia Standart Methods for Examination of Water and Wastewater. Na Tabela 1 são apresentadas as referências dos métodos utilizados. Para medição de DBO e DQO foi utilizado um bloco digestor (termoreator) da marca VELP Scientifico (modelo FTC 90).

Tabela 1 – Análises realizadas para caracterização do lixiviado.

Parâmetros	Método Analítico	Referência (norma)
DQO (mg/L)	Titulométrico (Digestão com $K_2Cr_2O_7$)	SMEWW* 5220 C
DBO ₅ (mg/L)	Manométrico	Adaptado do SMEWW 5210
pH	Potenciométrico (marca Digimed)	SMEWW 4500 B
Cor (Hz)	Fotocolorimétrico	SMEWW 2120 C
Turbidez (NTU)	Nefelométrico	SMEWW 2130 B
Condutividade (mS/cm)	Condutância elétrica	SMEWW 2510 B
Série Sólidos	Gravimétrico	Adaptado do SMEWW 2540 B, 2540 C, 2540 D.

* SMEWW: Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater (APHA, 1998).

O Leite de cal utilizado foi preparado a partir da solução em água destilada da cal comercial fornecida pelo fabricante Qualical. De acordo com pesquisas anteriores, é a cal mais apropriada ao pré-tratamento dos lixiviados, devido ao alto teor de CaO.

Planejamentos Experimentais

Uma ferramenta bastante utilizada para otimização dos processos e para o estudo da influência de múltiplas variáveis em um número reduzido de experimentos é o planejamento experimental.

Para obtenção de melhores condições na determinação da concentração do leite de cal e otimização dos valores da turbidez, foi elaborado um planejamento fatorial experimental 2^6 , cujas variáveis e seus respectivos níveis podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Níveis das variáveis do planejamento fatorial fracionário experimental 2^6 .

Variáveis Níveis	Tc – Tempo de coagulação (segundos)	Vc – Velocidade de coagulação (rpm)	Tf – Tempo de floculação (minutos)	Vf – velocidade de floculação (rpm)	Leite de Cal (g/L)	Td – Tempo de Decantação (minutos)
-1	10	80	2	20	50	30
0	30	95	4	40	125	60
+1	50	110	6	60	200	120

Após a realização do planejamento fatorial fracionado 2^6 , foi realizado um novo planejamento para melhor analisar a influência das variáveis no processo, apenas com as variáveis que apresentaram maior significância no planejamento fracionado. Os valores das variáveis nos três níveis foram mantidos.

Os ensaios de otimização da dosagem de leite de cal foram realizados em Jar Test, Figura 2, (modelo JT- 203). Foram utilizados, no equipamento, 6 béqueres com capacidade de um litro, como reatores. O Jar test utilizado, permite o controle de rotação (agitação mecânica) até 120 rpm.

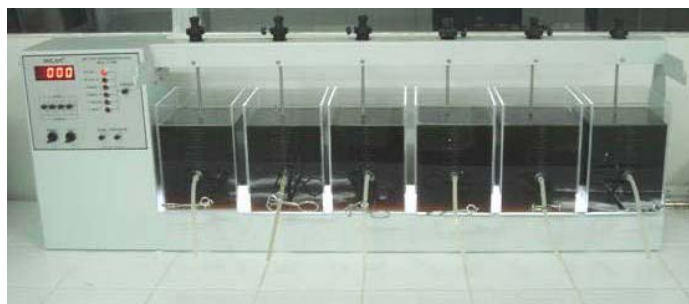


Figura 2 - Equipamento jar test utilizado nos ensaios de otimização para precipitação química

O objetivo da utilização do jar teste nos ensaios foi, simular, em escala de laboratório, as condições físicas de precipitação química que mais se aproxime da realidade.

Em cada béquer (reator) foi adicionado chorume numa escala de 1:10 em relação ao leite de cal, ou seja utilizou-se 450 mL de chorume para 50 mL de leite de cal. Decorridos os tempos de coagulação e floculação de cada ensaio, as amostras foram postas em repouso para decantação pelo tempo determinado no planejamento experimental que variou entre 30 e 120 minutos. Os dados foram analisados no software estatística versão 6.0.

A turbidez foi determinada na unidade NTU utilizando para isto, turbidímetro de marca Merk (modelo: Turbiquant 1000 IR).

A determinação da cor foi realizada utilizando-se o colorímetro spectroquant modelo Nova 60 de fabricação MERK

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Lixiviado utilizado, coletado na entrada da Estação de Tratamento de Chorume (ETC) do aterro controlado da Muribeca, foi analisado sob diversos parâmetros, a fim de caracterizar os diferentes tipos de materiais existentes em sua composição. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização do lixiviado utilizado nos ensaios.

PARÂMETROS	Setembro
DBO (mg/L)	1510,0
DQO (mg/L)	2822,0/2822,0
DBO/DQO (mg/L)	0,4075
SÓLIDOS TOTAIS (ST) (mg/L)	8840,0/8728,0
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS (STV) (mg/L)	2102,0/2038,0
STV/ST (mg/L)	0,2377/0,2335
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (STD) (mg/L)	8168,0/8064,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS (SDV) (mg/L)	1654,0/1562,0
SDV/SDT (mg/L)	0,2025/0,1937
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST) (mg/L)	672,0/664,0
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS (SSV) (mg/L)	448,0/476,0
SSV/SST (mg/L)	0,6666/0,7168
pH	8,37/8,31
COR (Hazen)	5550,0/5460,0
CLORETOS (mg/L)	670,0
SULFETOS (mg/L)	0,20
FÓSFORO TOTAL (mg/L)	10,75
TURBIDEZ (NTU)	33,10/33,05
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO₃)	8516,0/8600,0
CONDUTIVIDADE (mS/cm)	22,51/22,76
NITROGÊNIO AMONÍACAL (MG/L)	2350,0/2380,0
FERRO (mg/L)	7,325
MANGANÊS (mg/L)	3,575
CROMO (mg/L)	0,575
ZINCO (mg/L)	4,625

Empregou-se o planejamento fatorial fracionário, recomendado quando tem-se muitas variáveis.

Planejamento experimental 2⁶ Fracionário

Inicialmente para analisar a significância dos efeitos das variáveis independentes estudadas no processo de coagulação/floculação/decação, foi realizado um planejamento fatorial 2⁶ onde foram estudadas as variáveis tempo de coagulação, velocidade de coagulação, tempo de floculação, velocidade de floculação, tempo de decantação e concentração do coagulante e tendo como variáveis resposta a turbidez e a cor. A partir do planejamento total foi realizado um planejamento fracionado para se visualizar os efeitos (variáveis) mais significativos neste processo.

Foi então plotado o gráfico de Pareto (Figura 3) para as variáveis resposta turbidez e cor. Dessa forma observou-se influência estatisticamente significativa ao nível de 95% de confiança de todas as variáveis isoladas, excetuando-se a concentração de cal, para a resposta turbidez. Todavia para a resposta cor, a concentração de cal (Ccal) é a segunda mais representativa, enquanto que a velocidade de coagulação não apresenta efeito significativo para esta resposta.

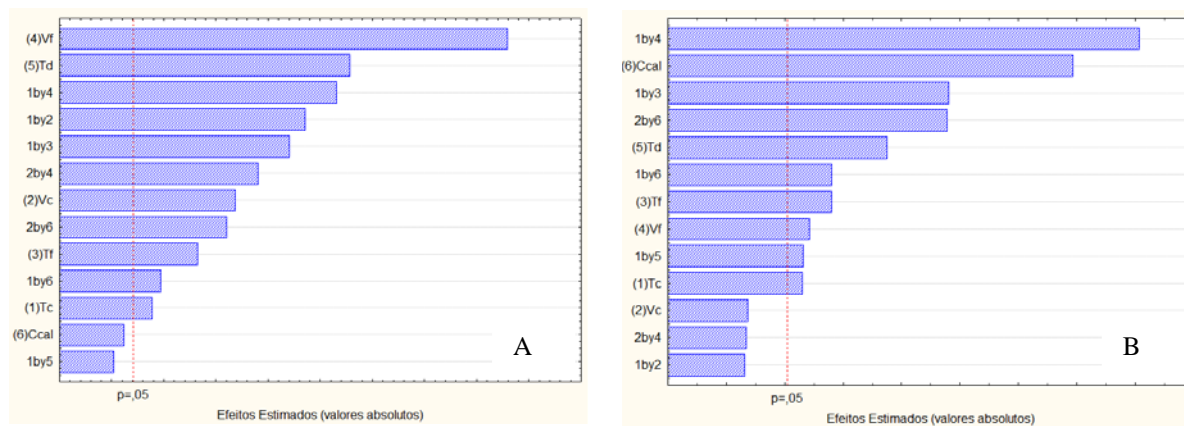


Figura 3 – Avaliação da significância dos efeitos das variáveis independentes estudadas no processo de otimização do planejamento fracionado através do gráfico de Pareto para a turbidez (A) e cor (B).

Através destes gráficos (Figura 3) pôde-se constatar que excetuando-se a concentração do cal, todas as variáveis exerceram um efeito significativo na remoção da turbidez como variável isolada. No caso da remoção da cor a exceção foi para a velocidade de coagulação.

Através das superfícies de resposta, representados pela Figuras 4 e 5 é possível observar graficamente as interações das variáveis com maior influência estatística sobre a turbidez (A) e sobre a cor (B). A região de menor valor de turbidez foi alcançada para níveis superiores das variáveis independentes tempo de coagulação e velocidade de floculação e inferior para o tempo de floculação. A mesma resposta foi constatada para a cor.

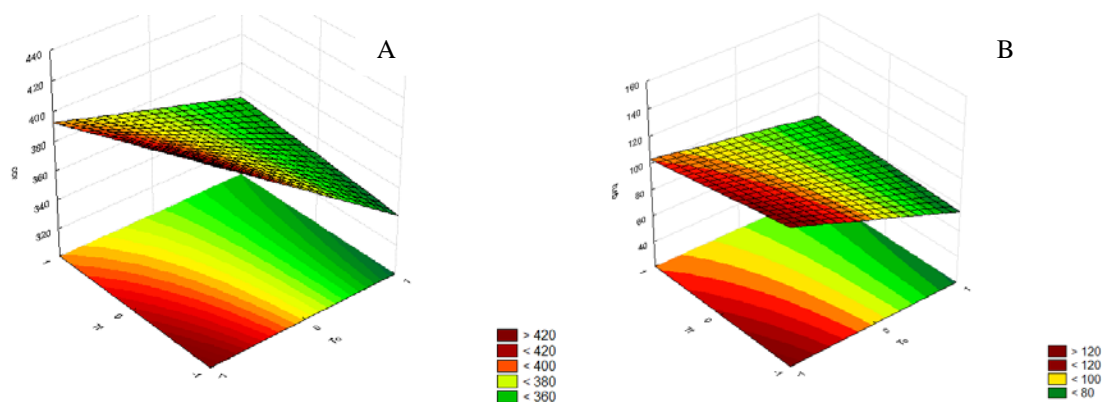


Figura 4 – Efeito dos tempos de floculação e de decantação e sobre a cor (A) e sobre a turbidez (B)

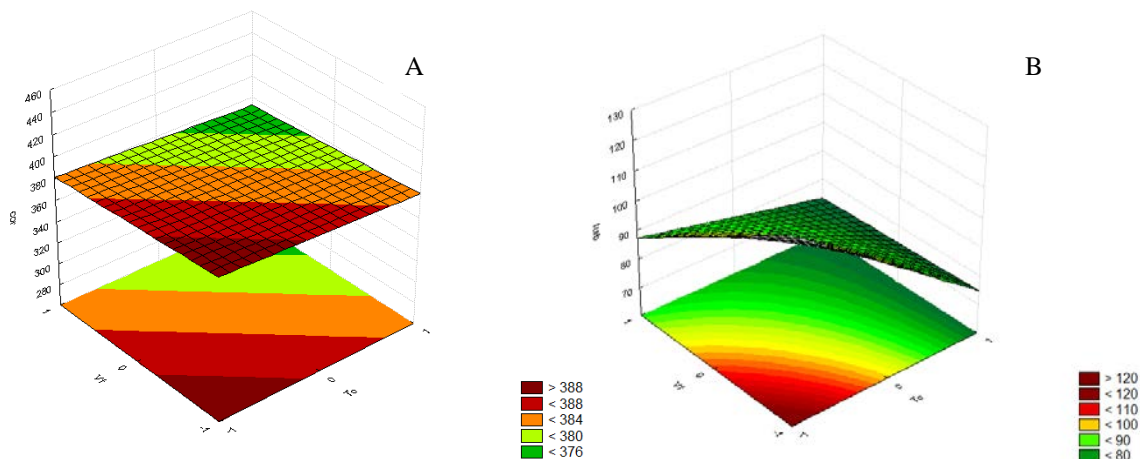


Figura 5 – Efeito do leite de cal e da velocidade de floculação sobre a cor (A) e a turbidez (B)

Subseqüentemente visando realizar um estudo integral da influência das variáveis independentes sobre a turbidez e estabelecer um modelo matemático que descrevesse o comportamento do processo em estudo, valores experimentais e preditivos foram comparados com auxílio do software estatística versão 6.0, no entanto, percebeu-se que a falta de ajuste também foi significativa neste modelo o que sugere a necessidade de fazer repetições de determinados experimentos, para que seja possível encontrar uma equação empírica ajustada.

Planejamento experimental 2⁴

Com os resultados obtidos neste segundo ensaio foi plotado um novo gráfico de Pareto (Figura 6) para as variáveis resposta turbidez e cor. Observou-se influência estatisticamente significativa ao nível de 95% de confiança da variável velocidade de floculação, tempo de coagulação e tempo de floculação, bem como a interação entre as variáveis tempo de floculação e tempo de decantação, sendo os efeitos mais representativos para a resposta turbidez.

Pode-se observar através da Figura 6 que para a resposta cor, a variável mais significativa é a mesma que para a turbidez, ou seja a velocidade de floculação (VF). Pela Figura 7 observa-se que os menores valores de turbidez e de cor são obtidos com velocidades de floculação no nível superior, todavia para a remoção de cor um tempo maior favorece, o que não ocorre para a remoção de turbidez. Este fato pode ser devido à um maior tempo promover uma desagregação do floco.

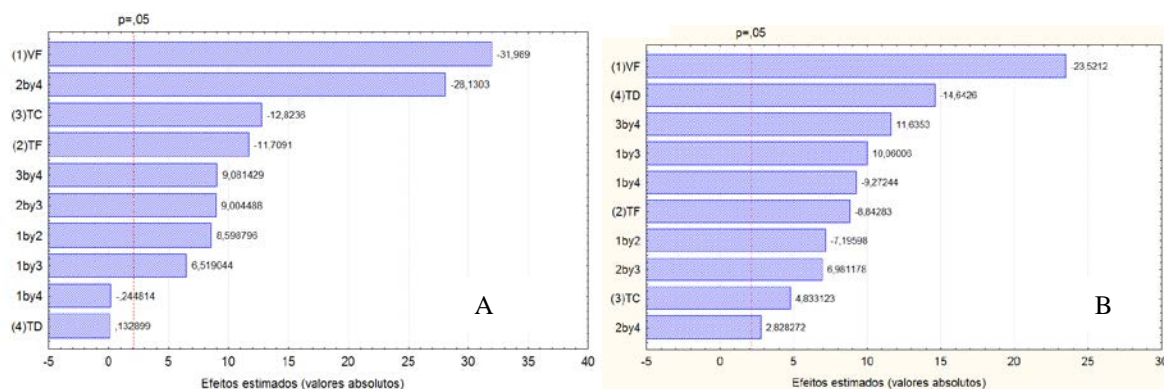


Figura 6 – Avaliação da significância dos efeitos das variáveis independentes estudadas no processo de otimização do planejamento fatorial 2⁴ através do gráfico de Pareto para a turbidez (A) e cor (B).

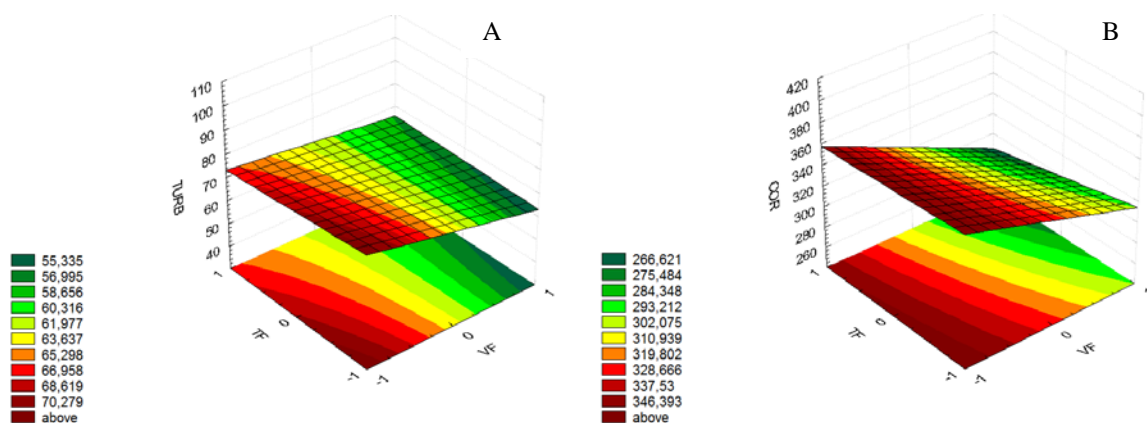


Figura 7 – Efeito do tempo (TF) e da velocidade (VF) de floculação sobre a turbidez (A) e s a cor (B)

A partir da Figura 8, constata-se que tanto a diminuição do tempo de coagulação favorece de forma mais intensa a remoção de cor que a remoção da turbidez, este fato pode ser devido ao tempo do nível inferior já ser suficiente para a dispersão do coagulante.

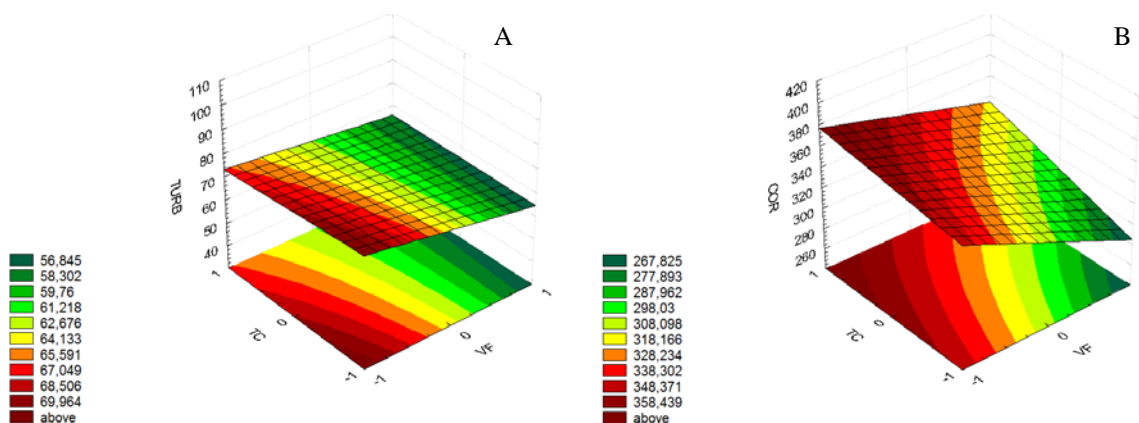


Figura 8 – Efeito do tempo de coagulação (TC) e da velocidade de floculação (VF) sobre a turbidez (A) e sobre a cor (B)

A Figura 9 mostra o lixiviado bruto no centro da figura, o lixiviado após a coagulação/floculação com 50 mg/L (o marrom claro à esquerda do bruto) e o lixiviado tratado com 200 mg/L (bege claro à direita do lixiviado bruto).



Figura 9 - Foto do lixiviado bruto (B) e após tratamento com 50mg/L (A) e 200 mg/L (C) de cal.

CONCLUSÕES

Empregando-se a técnica de planejamento experimental para tratamento de lixiviado por coagulação/floculação/decantação foi possível determinar as condições ótimas de tempo de coagulação, de floculação e de decantação assim como velocidade de floculação e de coagulação e quantidade de leite de cal. Percebeu-se que com valores superiores estudados das variáveis independentes como a velocidade de floculação e inferior para o tempo de floculação é possível obter nível de turbidez e cor menores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMOKRANE, A.; COMEL, C.; VERON, J. Landfill leachates pretreatment by coagulation/floculation. *Water Research*. v.31, n.11, p. 2775-2782, 1997.
2. APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 1998
3. BILA, D.M. Aplicação de processos combinados no tratamento de chorume. 2000. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Engenharia Química – COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 200 p. 2000,
4. BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L. et al. Introdução à engenharia ambiental. São Paulo. 2002.
5. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências
6. JUCÁ, J.F.T. Disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil. V congresso brasileiro de geotecnia ambiental. REGEIO. Porto Alegre –RS. 2003.
7. KURNIAWAN, T.A.; LO, W.; CHAN, G.Y. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. Hong Kong. *Journal of Hazardous Materials*. B129. 2009.
8. LANG, Y. Lixiviado. Shanghai. China. 2009.
9. LINS, C.M.M. – Avaliação da zeólita natural para aplicação em barreiras reativas permeáveis no tratamento de lixiviados do aterro da Muribeca/PE. Dissertação de Mestrado. UFPE – Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE. 132p. 2008.
10. MORAIS, J.L, Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados isolados e integrados com processos biológicos tradicionais para tratamento de chorume de aterro sanitário- Tese de Doutorado. Universidade federal do Paraná. Curitiba-PR. 207 p. 2005.
11. PALMA, J. B.; ZUQUETTE, L. V.; ELIS, V. R. Comportamento de frentes de contaminação a partir de modelagem com diferentes valores de parâmetros de sorção. *Revista brasileira de geociências*, v. 34, p. 175-186. (2004).
12. RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G; POULAIN, S. et al. Landfill leachate treatment: Review and opportunity – France. *Journal of Hazardous Materials*. 150. p. 468-493. 2008.
13. SISINNO, C. L. S., et al., *Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: uma Visão Multidisciplinar*. Editora FIOCRUZ, Rio de Janeiro, p. 62, 2000.
14. TATSI, A.A.; ZOUBOLIS, A.I.; MATER, K.A. et al. Coagulation-floculation pretreatment of sanitary landfill leachate. Greece. *Chemosphere* 53 p.737-744. 2003
15. URASE, T.; SALEQUZZAMAN, M.; KOBAYASHI, S. et al. Effect of high concentration of organic and inorganic matters in landfill leachate on the treatment of heavy metals in very low concentration level, water Sci. Technol. 36. p. 349-356. 1997.