

ESTUDO DO EFLUENTE GERADO POR UMA CENTRAL DE ARGAMASSA

STUDY OF THE WASTEWATER EFFLUENT GENERATED BY A GROUT INDUSTRIE

Fernanda Cavicchioli Zola¹
Daiane Maria De Genaro Chiroli²
Cristhiane Michiko Passos Okawa³
Generoso De Angelis Neto³

Resumo: A poluição do ambiente tem despertado cada vez mais interesse científico e tecnológico, principalmente no que diz respeito à poluição de rios como consequência dos processos industriais. Com o crescimento da atividade de construção civil no Brasil, intensificou-se a produção da indústria cimenteira e, conseqüentemente, a geração de efluentes industriais por tais empresas. Sendo assim, o objetivo deste artigo é qualificar e quantificar os efluentes líquidos industriais gerados por uma central de argamassa industrial na cidade de Londrina-PR, e verificar se o mesmo obedece às legislações vigentes no país. Para isso, foram realizadas análises de amostras de efluentes líquidos nas diferentes fases do processo industrial de uma central de argamassa industrializada, sendo analisados os seguintes parâmetros: pH, condutividade, espectroscopia de impedância e espectroscopia de absorção atômica. Foi possível constatar que o efluente não obedece às leis nacionais, uma vez que seu pH é extremamente alcalino. Além disso, a quantidade de alguns metais pesados como cobre e chumbo encontram-se próximo ao limite superior estabelecido pela legislação brasileira.

Palavras-chave: Central de Argamassa. Efluente Industrial. Análise Físico-química.

Abstract: The environmental pollution subject has attracted more and more scientific and technological interest, especially with respect to pollution of rivers as a result of industrial processes. With the growth of construction activity in Brazil, the production of cement industries has stepped up and hence the generation of industrial effluents by such companies. Thus, the objective of this paper is to qualify and quantify the industrial wastewater generated by a grout industry in the city of Londrina - PR, and verify that it obeys the laws prevailing in the country. For this, analysis of wastewater samples at different stages of processing of a grout industry, the following parameters were analyzed: PH, conductivity, impedance spectroscopy and atomic absorption spectroscopy. It was found that the effluent does not comply with national laws, since beyond its pH extremely alkaline. The quantity of some heavy metals such as copper and lead is near enough to the superior limit allowed by brazilian's law.

Keywords: Grout Industry. Wastewater. Physical-chemistry Analysis.

1 INTRODUÇÃO

O processo industrial é uma atividade que pode contribuir para a contaminação das águas de rios, uma vez que a maioria dos processos produtivos englobam grande quantidade de águas, tendo como consequência a produção de efluentes líquidos contaminados (Freire et al, 2000).

A cadeia produtiva na indústria da construção civil engloba setores que vão desde a extração da matéria-prima até a execução da construção em si, sendo um setor que se destaca pela geração de empregos. Entretanto, esse complexo é, talvez, o maior gerador de resíduos em uma economia. Estima-se que a construção civil seja responsável por 40 a 50% de todos os resíduos de toda a economia (John, 2001). Tanto os efluentes de processos industriais de matéria-prima para construção civil quanto os efluentes resultantes de construções influenciam de forma

¹ Universidade Estadual de Maringá (UEM) – Departamento de Engenharia de Produção (DEP) – fczola2@uem.br

² Universidade Estadual de Maringá (UEM) – Departamento de Engenharia de Produção (DEP)

³ Universidade Estadual de Maringá (UEM) – Departamento de Engenharia Civil – Mestrado em Engenharia Urbana (PEU)

76 negativa na qualidade das águas dos corpos hídricos e, quando esses efluentes são despejados em áreas onde há vida aquática, devem ser canalizados e tratados de forma especial (Mukhlisin et al., 2012). Os corpos d'água por vezes recebem grandes quantidades de metais pesados, contidos nos efluentes industriais neles despejados. Esses metais podem produzir efeito de sinergia, ou seja, quando combinados, podem se tornar ainda mais tóxicos, aumentando consideravelmente os impactos causados (Mishra e Malik, 2012).

Won (2012) afirma que, na Coreia, as fábricas de cimento são uma das maiores fontes antropogênicas de emissão de mercúrio (Hg), sendo responsável por cerca de 1,71 t de Hg lançados na atmosfera anualmente sem tratamento ou controle. Além do mais, uma grande quantidade de gás carbônico (CO₂) é despejada na atmosfera na produção de cimento do tipo *Portland*, sendo que estima-se que cerca de 5% das emissões de gases estufa são produzidos na fabricação do cimento (Mahasen et al., 2002).

Os efluentes industriais possuem características físicas, químicas e biológicas que variam de acordo com o tipo de indústria, seu período de operação, sua matéria-prima utilizada, a existência de reutilização de água, entre outros. Em consequência, o efluente industrial pode possuir diversas propriedades distintas como ser solúvel ou com sólidos em suspensão, apresentar ou não coloração, ser orgânico ou inorgânico, possuir temperatura baixa ou elevada. Dentre os meios mais comuns para caracterizar esse líquido, pode-se citar as determinações físicas, como temperatura, cor, turbidez, sólidos, etc.; químicas pH, como alcalinidade, teor de matéria orgânica, metais etc., e biológicas, como bactérias, protozoários, vírus etc. (Braga et al., 2005; Eaton et al., 1998; Biego et al., 1998).

A exposição humana à esses efluentes tem efeitos negativos à saúde que vão desde náuseas, dores de cabeça, escoriações na pele à graves reduções das funções hepáticas e neurológicas. Além disso, estudos comprovam a incidência de carcinomas de bexiga, gastrointestinais, malformações e anomalias reprodutivas em populações que residem próximas à áreas de lançamento irregular de efluentes (Claxton et al., 1992; Erdogan e Kurbetci, 2005).

Contudo, é preocupante como poucos têm se preocupado com os efluentes líquidos produzidos na produção do cimento e argamassas. Neste contexto, diante do grande número de indústrias de argamassa, consequente da demanda por matéria-prima para construção civil, associado à falta de quantidade e qualidade nas fiscalizações no Brasil, faz-se a hipótese que muitos efluentes são despejados nos corpos d'água sem o devido tratamento. Neste estudo, foram analisadas amostras de efluentes coletadas em uma central de argamassa, a fim de qualificar e quantificar seus componentes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de efluentes industriais foram coletadas em uma central de argamassa localizada na cidade de Londrina-PR, durante o funcionamento normal da empresa em um porta amostra esterilizado e, lacrado até a realização dos ensaios. As amostras foram coletadas em quatro pontos, sendo estes: reservatório de coleta e armazenamento da água de chuva, água resultante do processo industrial, água na entrada do decantador e água na saída do decantador. A utilização da água no processo de produção da central é considerada um ciclo fechado, segundo a empresa, uma vez que a água proveniente do processo é reciclada e reutilizada nas atividades da indústria. O efluente resultante do processo produtivo é encaminhado ao decantador, que separa a areia da água e a encaminha para o encanamento, para ser reutilizada nas lavagens de pátio e caminhos. A areia proveniente do decantador é encaminhada para uma empresa especializada em reciclagem. Pode-se afirmar que essa areia contém cerca de 10% de umidade.

Nas amostras coletadas, foram, primeiramente, medidos o pH e a condutividade elétrica. A análise de pH foi feita por um pHmetro PHTEK modelo PHS-3B no laboratório de química analítica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). O controle do pH no despejo de efluentes é fundamental para controlar os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico das águas que, normalmente têm seu crescimento inibido em pH menor que 6,0 e superior a 9,0; em pH superior a 9,0 a vida aquática inexiste (Von Sperling e Chernicharo, 2002). Já a análise da condutividade elétrica ocorreu no mesmo laboratório que o pH através de um condutivímetro TECNOPON modelo mCA-150. Esse procedimento foi realizado baseado no princípio que materiais não-inertes geralmente possuem algum tipo de carga elétrica (Hober e Oliveira, 2008).

Além disso, foram utilizadas as técnicas de espectroscopia de impedância e absorção atômica. A análise de espectroscopia de impedância ocorreu no laboratório de Cristais Líquidos da Universidade Estadual de Maringá (UEM) utilizando uma ponte de impedância Impedance/Gain – Phase Analyzer SI 1260 – Solatron. Esse experimento é utilizado, entre outros, para caracterizar interação biomolecular e microestrutural, revelando assim, mecanismos de reação em diferentes frequências, incluindo acúmulo de energia e dissipação de energia devido aos materiais envolvidos (Tommaselli et al., 2008). As medidas de espectroscopia de impedância foram realizadas em porta-amostra de alumínio, cujos eletrodos tinham separação de 1mm, com potencial aplicado de 250mv e em um intervalo de frequência de 0.01hz a 10khz. O ajuste dos dados foi feito assumindo um circuito elétrico que possui duas impedâncias em série, formadas por um resistor e um capacitor em paralelo.

Por fim, a análise da espectroscopia de absorção atômica foi realizada no laboratório de Agroquímica e Meio Ambiente da UEM utilizando-se um espectroforômetro de absorção atômica da marca VARIAN modelo AA 175. Essa é uma técnica de execução rápida e fácil com uma sensibilidade extremamente alta (especialmente para elementos como Pb, Cd, Cu e Cr). A amostra é atomizada na chama, através da qual passa radiação com comprimento de onda adequado a cada elemento a analisar (usa-se como fonte uma lâmpada de cátodo oco). Os átomos livres no estado fundamental absorvem radiação a comprimentos de onda característicos de cada elemento. A redução de energia da radiação no comprimento de onda característico do analítico é uma medida da quantidade desse elemento na amostra (Matos et al., 2009). Foram analisados a presença de Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Cromo (Cr), Chumbo (Pb) e Cálcio (Ca).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos para o pH estão representados na Tabela 1. A água destilada e a água do reservatório de água de chuva possuem pH muito próximos, o que permite afirmar que a amostra coletada tem alto grau de pureza, uma vez que a água da chuva contém poucas partículas. Em consequência, pode-se utilizar a amostra do reservatório de coleta de água da chuva como referência para as outras medidas como um padrão de amostra pura.

As outras três amostras apresentaram pHs extremamente altos, que, por sua vez, são perigosos para o ser humano e para os sistemas aquáticos em que forem depositados, devido à sua alta alcalinidade. O composto mais abundante no cimento, componente em maior quantidade na fabricação de argamassa, é o óxido de cálcio (CaO), que, em solução aquosa, forma o hidróxido de cálcio (CaOH₂). Sendo assim, pode-se associar a alta alcalinidade das amostras à presença do hidróxido de cálcio. Esta alcalinidade é muito alta (similar à dissociação de soda cáustica em água) e pode causar sérios danos à saúde, como queimaduras, além de impossibilitar a vida aquática em corpos d'água.

Tabela 1. Análise de pH

<i>Local de Coleta</i>	<i>pH</i>
Água destilada (padrão)	7,5
Reservatório de água da chuva	7,8
Processo Industrial	12,6
Saída do decantador	13,5
Entrada do decantador	13,7

A amostra do processo industrial tem o menor pH provavelmente em consequência da alta rotatividade de água utilizada durante esse processo, que faz com que os materiais estejam mais diluídos no meio.

Na entrada do decantador, a água possui baixa velocidade para que haja separação da areia. Dessa forma, a concentração de elementos nesta água é alta, resultando em um pH elevado. O fato do pH ser mais alto na entrada do que na saída do decantador está associado, provavelmente, ao fato de que elementos básicos são separados no processo de decantação, seja por decantação direta ou por adsorção de partículas maiores, como areia. Além do mais, o processo de decantação visa remover a areia responsável por boa parte da dissolução de Dióxido de Silício (SiO_2), que é o segundo composto mais abundante na composição do cimento e conhecido por sua alta alcalinidade.

Segundo a NBR 9800:1987 a qual estabelece critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário, os valores admissíveis para o pH destes efluentes é entre 6 a 10. Além disso, a Resolução CONAMA no 430:2005 admite valores entre 5 a 9 para o pH dos efluentes lançados em corpos receptores, sendo que tanto na recomendação da NBR e na legislação do CONAMA a empresa não atende os limites superiores estabelecido. Sendo assim, caso esses efluentes estivessem sendo despejados tanto no sistema coletor público de esgoto sanitário, quanto nos corpos hídricos, deveriam ser devidamente tratado antes de sua condução.

Já a análise da condutividade (tabela 2) mostrou que a água destilada tem a menor condutividade entre todas as amostras, o que era esperado devido à pureza e a pequena quantidade de impurezas que se dissociam em íons presentes nesta amostra.

Nota-se que a água da chuva apresentou uma condutividade mais de dez vezes maior do que a água destilada. No entanto, a água destilada é obtida apenas em laboratório após vários processos de filtragem, logo, considerando que a água da chuva encontra-se em um ambiente sujeito a impurezas, este experimento confirma o que foi observado na medição do pH: a água da chuva é uma amostra limpa e, de acordo com esta medida, com baixo teor de íons presentes.

As outras três amostras apresentaram condutividade elétrica muito alta. Por simples comparação, nota-se que são de mil a dez mil vezes maior do que a da água destilada, indicando uma quantidade muito maior de íons presentes no meio.

Tabela 2. Análise da condutividade elétrica

<i>Local de Coleta</i>	<i>Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)</i>
Água destilada (padrão)	11,2
Reservatório de água da chuva	180,2
Processo Industrial	1.250,0
Saída do decantador	5.270,0
Entrada do decantador	9.850,0

Da mesma forma que na medição do pH, o valor mais baixo dos três foi o do processo

industrial, em seguida o valor da saída do decantador e da entrada do decantador, respectivamente. Observe-se que, aplicando o logaritmo inverso em qualquer medição de pH, determinando assim a concentração de H^+ , e dividindo por uma outra medição de pH, por exemplo, o pH do processo dividido pelo da saída do decantador, resulta em um número que é muito próximo ao encontrado dividindo a condutividade das mesmas duas medições, conforme pode ser visualizado no exemplo da tabela 3. Este resultado parece ser válido para qualquer uma das medidas obtidas. Isto sugere uma correlação entre as duas medidas, ou seja, os mecanismos que fornecem os resultados de uma devem influenciar no da outra. De fato, pode-se explicar isto em termos da alta concentração de hidróxido de cálcio e de dióxido de silício presentes nas amostras. Conforme Hober e Oliveira (2008), o hidróxido de cálcio e dióxido de silício fornecem altos níveis de condutividade quando dissolvidos em água. Portanto, este experimento mostra que, apesar da alta quantidade de íons presentes nas amostras, em geral, eles não deve ser considerado altamente perigoso ou não-inertes. A relação entre a maior e a menor condutividade segue a mesma lógica explicada anteriormente para o experimento do pH.

Tabela 3. Razão entre condutividade e logaritmo inverso.

<i>Local de Coleta</i>	<i>Condutividade ($\mu S/cm$)</i>	<i>Inverso logaritmo pH</i>
Saída do decantador	5.270,0	$3,02 \times 10^{13}$
Entrada do decantador	9.850,0	$5,24 \times 10^{13}$
Razão	0,53	0,57

Na análise de espectroscopia de impedância (tabela 4) para os resultados da amostra do reservatório de coleta e armazenamento de água da chuva, as curvas para as partes real e imaginária da impedância mostram típicos gráficos para água com a presença de poucos íons.

O fato do valor da impedância real ser alto para baixas frequências indica que existem fortes interações entre a amostra e os eletrodos, como esperado. Os valores obtidos estão de acordo com os esperados para água.

Na amostra da entrada do decantador, houve uma diferença pronunciada tanto nas partes reais como na parte imaginária da impedância. O que pode ser notado de imediato é o fato de que a parte real tem o *plateau* muito baixo, indicando resistência elétrica muito baixa. Os resultados estão de acordo com o que foi medido pela condutividade. Na amostra da saída do decantador, assim como na entrada, houve alguma diferença com relação à água pura. No entanto, a resistência é mais alta.

Tabela 4. Espectroscopia de Impedância

<i>Local de Coleta</i>	<i>Resistência (Ω)</i>	<i>Capacitância (pF)</i>
Reservatório de água da chuva	138,4	0,0132
Processo Industrial	40,0	1,2
Saída do decantador	8,0	2,8
Entrada do decantador	4,78	3,7

Por fim, tem-se a coleção de todas as amostras juntas para a espectroscopia de impedância, a parte real e a imaginária. Na figura 1, que representa a parte real, nota-se que, para frequências baixas, todas as amostras comportam-se basicamente da mesma forma. Este é um resultado importante, pois afirma que, apesar da maior quantidade de íons que certas amostras possuem, estes íons interagem basicamente da mesma forma que os íons da água com os eletrodos. Outro resultado mostrado na parte real é o *plateau*, nele está indicada resistência

elétrica de volume de cada amostra: quanto mais baixo o *plateau*, menor a resistência. Logo, estes resultados estão de acordo com as medições da condutividade.

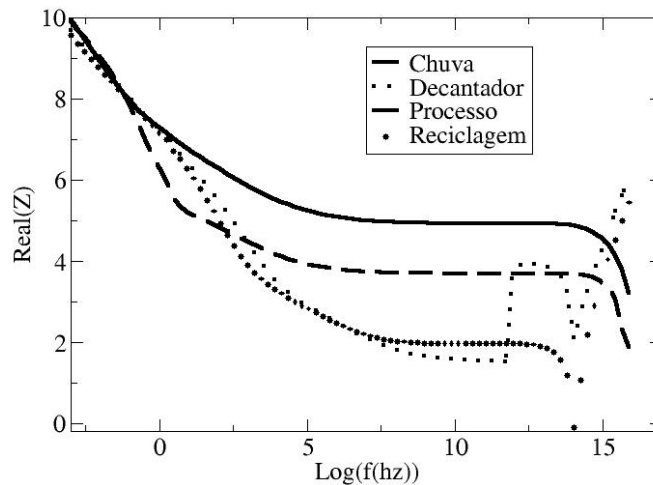


Figura 1. Comparação das espectroscopias de impedância real das amostras.

Na figura 2, onde está representada a parte imaginária, como essa parte está associada à dissipação de energia, espera-se que materiais mais pesados gerem picos de dissipação. No entanto, o que se percebe é que, na maior parte das frequências (até 10 no eixo X), as quatro curvas se sobrepõem, ou seja, os materiais presentes têm peso molecular semelhantes. Entretanto, observa-se uma diferença nas curvas a partir de 10. Enquanto que a da água continua da forma típica de uma amostra de água pura, as outras se modificam. Sabe-se que a diferença das três amostras com relação à amostra da água pura é a presença dos elementos anteriormente discutidos. Baseado nos resultados anteriores, pode-se então afirmar que esta modificação se dá pela presença destes materiais.

Vale notar que as curvas azul e verde se sobrepõem. A verde é a água resultante do processo industrial enquanto que a azul é a água da saída do decantador. Como as duas curvas possuem o mesmo espectro, pode-se afirmar que a presença dos elementos discutidos anteriormente não modifica muito estas curvas.

No entanto, a curva vermelha, da entrada do decantador, apresenta grande diferença com relação às outras duas. Sabendo que a principal função do decantador é a remoção da areia (e possivelmente dióxido de silício), pode-se afirmar que o comportamento anômalo da curva vermelha se dá pela presença da areia, que modifica as propriedades de dissipação para altas frequências (acima de 10) e modifica a curva com relação à do processo industrial e à reciclada.

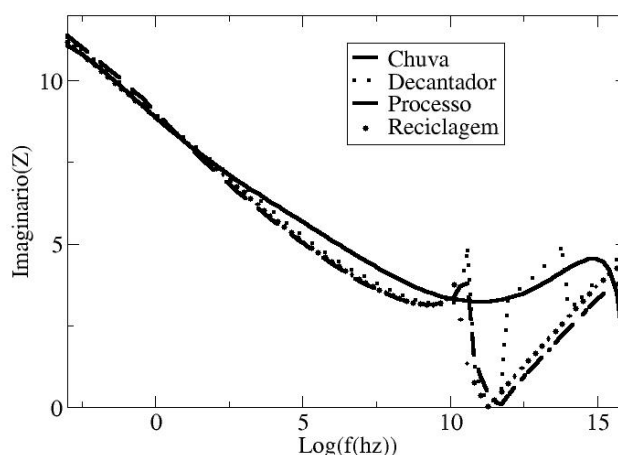


Figura 2. Comparação das espectroscopias de impedância imaginária das amostras.

Os resultados obtidos até aqui indicam que a água analisada é nociva tanto para o consumo do homem como para a natureza. No entanto, não apresentou nenhum resquício evidente de material de difícil eliminação, tais como um não-inerte perigoso, metal pesado ou material nuclear.

Como análise final, as amostras foram submetidas à análise por espectroscopia de absorção atômica para verificação da presença de elementos perigosos como metais pesados. Foi investigada a presença dos elementos cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), cromo (Cr), chumbo (Pb) e cálcio (Ca).

Na tabela 5, encontram-se os resultados obtidos pela espectroscopia de absorção atômica comparados com os parâmetros máximos estabelecidos pela NBR 9800:1986 e pela CONAMA 430:2005 para o lançamento de efluentes líquidos industriais na rede pública coletora de esgoto e nos corpos hídricos respectivamente. Nota-se que foi encontrada quantidade de todos os materiais, embora não superem os limites estabelecidos pelas legislações nacionais analisadas. Porém, apesar de não se encontrarem fora dos padrões, alguns elementos possuem valores muito próximo ao limite máximo estabelecido, como é o caso do chumbo e especialmente do cobre que chega a atingir mais de 60% do limite da CONAMA 430:2005. Esses resultados mostram que um simples distúrbio no sistema pode levar os efluentes a ultrapassarem os limites superiores permitido, sendo então necessário um tratamento prévio para retirada desses metais. O cálcio, como era de se esperar, apesar de não possuir um limite para o seu lançamento de acordo com a legislação nacional, foi o único com alta quantidade encontrada nas amostras.

Tabela 5. Comparação dos resultados com os parâmetros estabelecidos pela NBR 9800:1986 e pela CONAMA 430:2005

Parâmetro	Água da Chuva (ppm)	Processo Industrial (ppm)	Entrada do Decantador (ppm)	Saída do Decantador (ppm)	NBR 9800:1986	CONAMA 430:2005
Cd	0,003	0,004	0,001	0,008	0,1	0,2
Cu	0,027	0,011	0,0626	0,611	1,5	1,0
Ni	0	0	0,043	0,015	2,0	2,0
Cr	0	0	0	0,021	5,0	0,1
Pb	0,031	0,038	0,147	0,143	1,5	0,5
Ca	1.11	6.05	20.68	22.13	-	-

O estudo demonstrou que os efluentes gerados pela central de argamassa possuem um pH extremamente alcalino que supera os limites estabelecidos pela legislação brasileira tanto para o seu lançamento no sistema público coletor de esgoto sanitário, quanto nos corpos hídricos, sendo seu pH prejudicial não somente para a vida aquática quanto para o homem. Em relação aos elementos químicos analisados, apesar de nenhum metal fora do padrão estabelecido por lei, alguns valores encontram-se relativamente próximo ao limite superior permitido, sendo necessário um estudo mais detalhado para verificar se em situações críticas esse limite não é atingido.

No caso da indústria estudada, não há poluição dos corpos d'água, uma vez que o efluente gerado, de acordo com a empresa, é totalmente reaproveitado ou reciclado dentro da própria empresa. Porém, com o aumento da demanda por matérias-primas para a construção civil, deve-se intensificar as fiscalizações no setor, uma vez que se esse efluente for despejado no esgoto sanitário sem o devido tratamento, irá influenciar na vida aquática devido ao elevado nível de alcalinidade representado pelos valores de pH medidos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. NBR 9800: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

BIEGO, G. H., JOYEUX, M., HARTEMANN, P., DEBRY, G. Daily intake of essential minerals and metallic micro pollutants from foods in France. *Sci. Total Environ.*, v. 217, p. 27-36, 1998.

BRASIL. Resolução CONAMA no 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Publicado no DOU nº 92, de 16/05/2011, p. 89.

CLAXTON, L.D.; HOUK, V.S.; HUGHES, T.J. The genotoxicity of industrial wastes and effluents: a review. *Mutation Research*, v. 410, n. 3, p. 237-243, 1998.

EATON, A.D., GREENBERG, A.E., CLESCERI, L.S., Standard methods for examination of water and wastewater. 20 ed. Washington DC: APHA, 1998

ERDOGDU, S.; KURBETCI, S. Influence of cement composition on the early age flexural strength of heat-treated mortar prisms. *Cement & Concrete Composites*, v. 27, n. 7-8, p. 818-822, 2005.

FREIRE, R. S. et al. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. *Química Nova*, v. 23, n. 4, p. 504-511, 2000.

HORBE, A, M. C.; OLIVEIRA, L. G. S. Química de igarapés de água preta do nordeste do Amazonas - Brasil. *Acta Amaz.*, v. 38, n. 4, p. 753-759, 2008.

JOHN, V. M. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. In: CASSA, J.C.S. et al. (Org). *Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção: projeto entulho bom*. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001.

MAHASENAN, N.; SMITH, S.; HUMPHREYS, K. The Cement Industry and Global Climate Change: Current and Potential Future Cement Industry CO₂ Emissions. *Greenhouse Gas Control Technologies - 6th International Conference*. Kyoto, Japão, 2003. p. 995-1000.

MISHRA, A.; MALIK, A. Simultaneous bioaccumulation of multiple metals from electroplating effluent using *Aspergillus lentulus*. *Water Research*, v. 46, n. 16, p. 4991-4998, 2012.

- MUKHLISIN, M.; IBRAHIM, A.; JAAFAR, O.; RAZALI, S. F. M. Electrochemical Assessment of Water Quality as an Effect of Construction. *Int. J. Electrochem. Sci.*, v. 7, p. 5467 – 5483, 2012. 83
- VON SPERLING, M., CHERNICHARO, C. A. L. Urban wastewater treatment technologies and the implementation of discharge standards in developing countries. *UrbanWater*, v. 4. p. 105-114, 2002.
- WON, J. Estimation of total annual mercury emissions from cement manufacturing facilities in Korea. *Atmospheric environment*, v. 62, p. 265 -271, 2012.