

## **ESTUDO DA CORROSIVIDADE DE PASTAS DE CIMENTO COM ADIÇÃO DE LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

R.A.Rodrigues; B.E.D.B.S.Martins; V.M.P.Couto; L.J. Carvalho; V.C.Almeida  
Centro de Tecnologia, Escola de Química, Bloco E sala 206  
Ilha do Fundão – CEP 21949 -900 E-mail: valeria@eq.ufrj.br  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

### **RESUMO**

*A quantidade de lodo gerado em estação de tratamento de água (ETA) é um fator econômico importante no contexto de tratamento de rejeitos. O presente trabalho tem por objetivo o estudo da corrosividade de pastas de cimento produzidas a partir da incorporação de lodo. Foram produzidos extratos aquosos a partir da moagem das pastas quando com 5%, 10% e 30% de lodo em relação ao cimento, após cura de 28 dias. Tais extratos foram utilizados em ensaios de polarização com a finalidade de verificar a corrosividade das pastas quando em contato com as armaduras usadas. Além desses ensaios, foram realizadas análises químicas, difração de Raios X e Fluorescência de Raios X para a caracterização do lodo. Os resultados obtidos apontam à possibilidade de uso das pastas de cimento estudadas no desenvolvimento de materiais construtivos promovendo o reaproveitamento econômico do lodo da ETA até então descartado nos aterros.*

Palavras-chave: pasta de cimento, corrosão, lodo de ETA, material construtivo.

### **INTRODUÇÃO**

As Estações de Tratamento de Águas (ETA) têm grande importância econômica e social, bem como estão presentes em grande parte dos municípios brasileiros já que a água, além de ser indispensável aos seres humanos, à flora e a fauna apresenta do ponto de vista industrial uma larga variedade de aplicações tais

como matéria-prima, solvente, fluido de refrigeração, meio de transporte, agente de limpeza, entre outros.

As ETA, basicamente, removem o material em suspensão na água bruta por tratamento químico usando coagulantes e floculantes, seguido por decantação e filtração. Os produtos químicos mais empregados no tratamento primário de água são o sulfato de alumínio e cloreto férrico. Esta atividade, no entanto, produz uma grande quantidade de resíduo (lodo). De modo geral, as características do resíduo variam com a natureza da água bruta, dos processos unitários e dos produtos químicos aplicados. O resíduo gerado é classificado como um resíduo sólido não inerte (classe IIA) que necessita de uma disposição final adequada.

A construção civil é um setor da atividade tecnológica a consumir grande volume de recursos naturais, o que impulsionou a geração de várias pesquisas com o objetivo de verificar a utilização de diversos resíduos, os quais, em geral, são adicionados à composição do concreto em substituição de parte do cimento Portland, visando à melhoria de algumas de suas propriedades.

Uma vez que os principais componentes do cimento Portland: cálcio, sílica, alumínio e ferro são, também, encontrados nos lodos de ETA, estes podem ser empregados na produção de argamassas, artefatos e blocos de concreto para a construção civil, substituindo, em até certas proporções, as matérias-primas normalmente utilizadas. Considerando que o setor da construção civil é o maior consumidor individual de recursos naturais, demandando de 20 a 50% do total de insumos extraídos, a reciclagem de lodo em concretos pode ser uma alternativa para a diminuição de impactos ambientais.

A corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado é um dos principais fatores de redução de sua vida útil devido à interação do concreto com o meio ambiente. A vida útil pode ser reduzida quando a relação água/cimento, tipo de cimento, cura e cobrimento forem inadequadas às condições ambientais impostas.

O concreto é um material intrinsecamente poroso, face à impossibilidade de preenchimento total dos vazios entre agregados e a pasta de cimento. Os vazios são decorrentes do uso de água na massa em quantidade superior à necessária para a hidratação do aglomerante hidráulico e cujo excesso, ao evaporar, deixa cavidades, em virtude da diminuição dos volumes absolutos e também da inevitável incorporação de ar à massa do concreto.

Estes vazios ou poros formam uma rede conectada com o exterior que é relevante ao processo de transporte de gases, água e substâncias agressivas dissolvidas para o interior do concreto. A destruição do concreto bem como a corrosão das armaduras depende desta estrutura de poros, pois os mecanismos de degradação se fundamentam na mesma. A resistência do concreto a influências químicas e físicas é reduzida consideravelmente quando aumenta a quantidade de poros capilares.

A reutilização de um resíduo não deve ser feita em torno de idéias preconcebidas, mas em função das características do resíduo. Em geral, tais aplicações são aquelas que melhor aproveitam suas características físico-químicas com menor impacto ambiental dentro de um segmento de mercado específico, no qual o produto reciclado tem boas condições de competição em relação ao produto convencional. Em vista disto o objetivo deste trabalho foi inicialmente avaliar a possibilidade de substituir parte do cimento pelo lodo gerado na Estação de Tratamento de Água (ETA) e futuramente substituir parte do cimento por esta mistura na produção de concreto. Com essa finalidade foi analisada preliminarmente a corrosividade das pastas preparadas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização da parte experimental desta pesquisa foram utilizados os materiais abaixo relacionados:

- Resíduo sólido – lodo da Estação de Tratamento de Água de uma estação de tratamento localizada no Estado do Rio de Janeiro
- Cimento Portland CII -32 F Cimento Portland Mauá.

Na caracterização do lodo da ETA foram utilizadas as técnicas de Fluorescência de Raios X, Difração de Raios X e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Com a finalidade de verificar a possibilidade de usar o lodo na confecção de materiais construtivos foram confeccionados corpos de prova com as seguintes proporções:

Tabela 1 – Composição das misturas preparadas

Sigla	Mistura	Quantidade em volume ( ml)		
		Cimento	Lodo	Água
<b>C</b>	100% cimento	3000	—	800
<b>LETA 5</b>	95% cimento + 5% de lodo	2850	150	740
<b>LETA 10</b>	90% cimento + 10% de lodo	2700	300	700
<b>LETA 30</b>	70% cimento + 30% de lodo	2100	900	550

As quantidades dos componentes foram determinadas por volume. A homogeneização da mistura foi feita manualmente. Inicialmente foi misturados o cimento e o lodo e posteriormente adicionada à água de amassamento.

A moldagem foi feita utilizando uma forma cilíndrica de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro. As amostras foram moldadas em três camadas de misturas, com espessuras aproximadamente iguais com aplicação de 20 golpes por camada com um soquete metálico. A relação água/cimento em torno de 0,26 foi necessária para garantir a homogeneidade dos compostos durante a mistura. Após 24h os corpos de prova foram desformados e deixados a temperatura ambiente a período de cura de 28 dias.

Após esse intervalo de tempo os corpos de prova foram triturados e moídos. Com o pó obtido foi preparada uma suspensão com 500g/litro de água, que foi colocada em agitação por 10 horas. A solução obtida foi filtrada e utilizada na obtenção de curvas de polarização.

Na caracterização do lodo da ETA têxtil foram utilizadas as técnicas de Fluorescência de Raios X, Difração de Raios X e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição do lodo de ETA é bem diversificada, contendo vários metais e podendo variar de acordo com o tipo de coagulante e auxiliares utilizados no tratamento da água e da qualidade da água captada (REALI, 1999). Os coagulantes mais utilizados são o sulfato de alumínio e o cloreto férrico.

Figura 1 - Lodo *in natura*

A Tabela 2 mostra o resultado da análise de Fluorescência de Raios X da massa bruta do lodo da ETA utilizada neste trabalho.

Tabela 2 – Composição química elementar do lodo

Componente	% ( massa)	Componente	% ( massa)
SiO <sub>2</sub>	27,18	K <sub>2</sub> O	0,75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46,62	CaO	2,35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,65	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,05
SO <sub>3</sub>	1,69	TiO <sub>2</sub>	0,68

Os dados da Tabela 2 mostram que o lodo desta ETA é constituído principalmente de sílica, alumínio e ferro, proveniente do sulfato de alumínio ferroso utilizado na etapa de coagulação do tratamento da água bruta.

Na Tabela 3 mostra o resultado da análise de Fluorescência de Raios X do cimento utilizado

Tabela 3 - Composição química elementar do cimento utilizado

Componente	% ( massa)	Componente	% ( massa)
CaO	67,54	MgO	2,12
SiO <sub>2</sub>	16,06	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,30	Na <sub>2</sub> O	0,544
SO <sub>3</sub>	5,26		

Resultado obtido esta de acordo com o esperado para o tipo de cimento utilizado CPII-32F.

## Difração de Raios X

A Figura 2 mostra o difratograma do lodo.

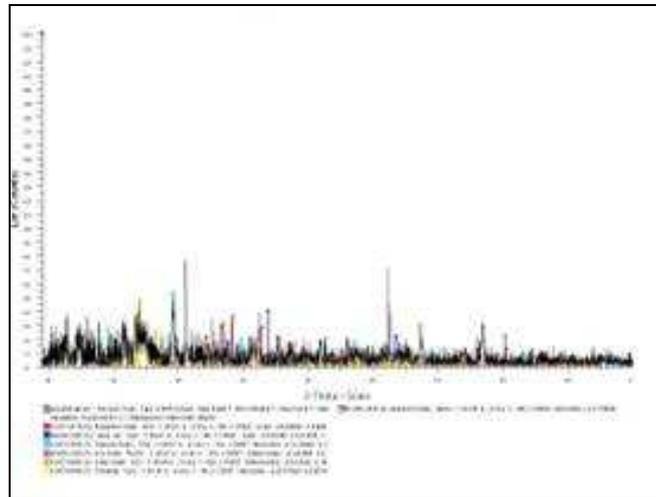


Figura 2 – Difratograma do lodo

Como podem ser observados pelo difratograma os elementos encontrados no lodo da ETA em maior quantidade são o alumínio (na forma de  $Al_2O_3$ ) sílica (na forma de  $SiO_2$ ) e ferro na forma de  $Fe_2O_3$ . A presença destes elementos é justificada pelo uso do coagulante de sulfato de alumínio ferroso no tratamento de água e pela própria composição da água, a qual contém materiais em suspensão, tais como, areia e materiais argilosos.

Foram realizadas análises por difração de Raios X para as pastas preparadas com o resíduo têxtil.

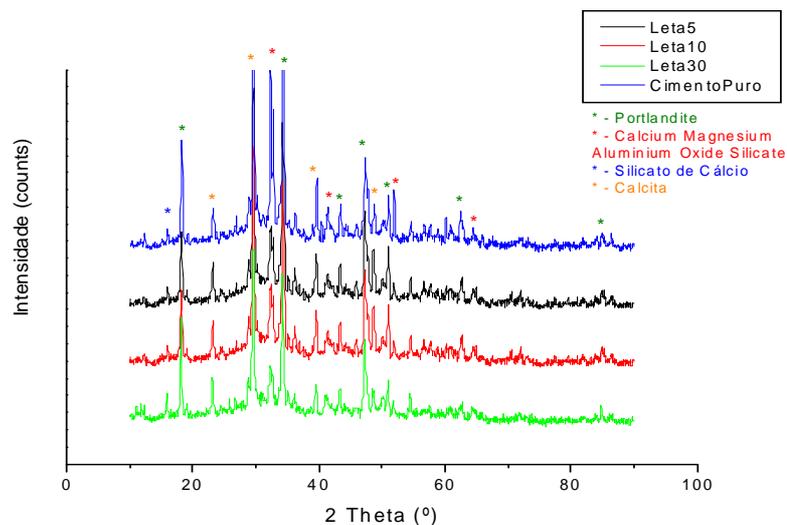


Figura 3 – Difratograma das pastas preparadas após 28 dias de cura

Nos difratogramas das misturas preparadas visualizam-se algumas das fases do cimento.

#### Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Figura abaixo mostra a fotomicrografia e a análise por EDS do lodo.

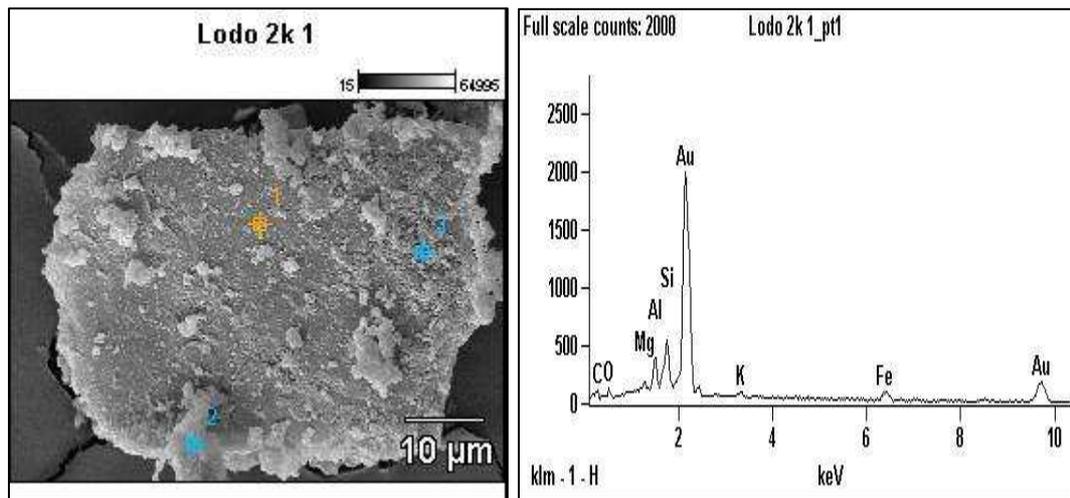


Figura 4 – Fotomicrografia do lodo e análise por EDS

Observa-se na fotomicrografia do lodo in natura a uma superfície bastante homogênea de aspecto denso. Essa superfície homogênea do lodo irá influenciar nas propriedades da pasta do cimento, pois, este tipo de superfície, favorece a ligação do lodo com a pasta de cimento.

A análise por EDS foi realizada na área assinalada na foto. Foram identificadas as presenças de: alumínio magnésio, sílica e ferro.

A Figura 5 mostra a fotomicrografia da pasta de cimento + 10% de lodo feito no tempo de cura de 28 dias.

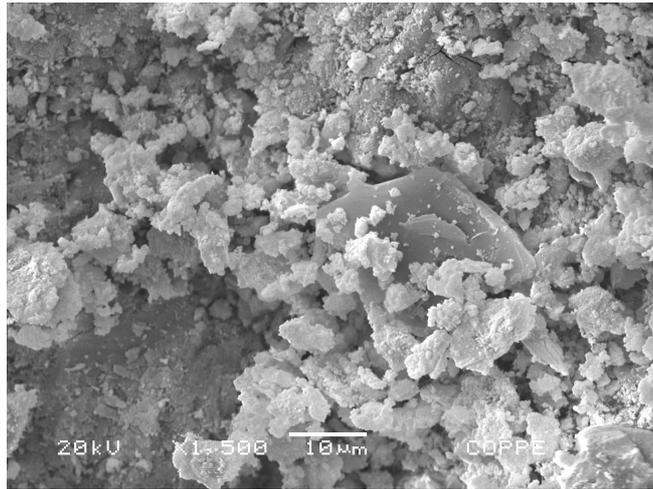


Figura 5 – Fotomicrografia da pasta cimento + 10% de lodo

A fotomicrografia da pasta cimento + 10% de lodo mostra uma superfície pouco densa não muito agregada com áreas vazias em razão da forma do lodo. A superfície se apresenta como a zona de transição da pasta do cimento com o lodo devido às áreas vazias e heterogeneidades exibidas. Estes vazios ou poros formam uma rede conectada com o exterior que é relevante ao processo de transporte de gases, água e substâncias agressivas dissolvidas para o interior da pasta. A destruição da pasta de cimento bem como a corrosão das armaduras depende desta estrutura de poros, pois os mecanismos de degradação se fundamentam na mesma. A resistência a corrosão é reduzida consideravelmente quando aumenta a quantidade de poros capilares.

Diferentemente da pasta de cimento Portland que apresenta uma macro estrutura endurecida, porosa e heterogênea como pode ser visualizada na Figura 6.

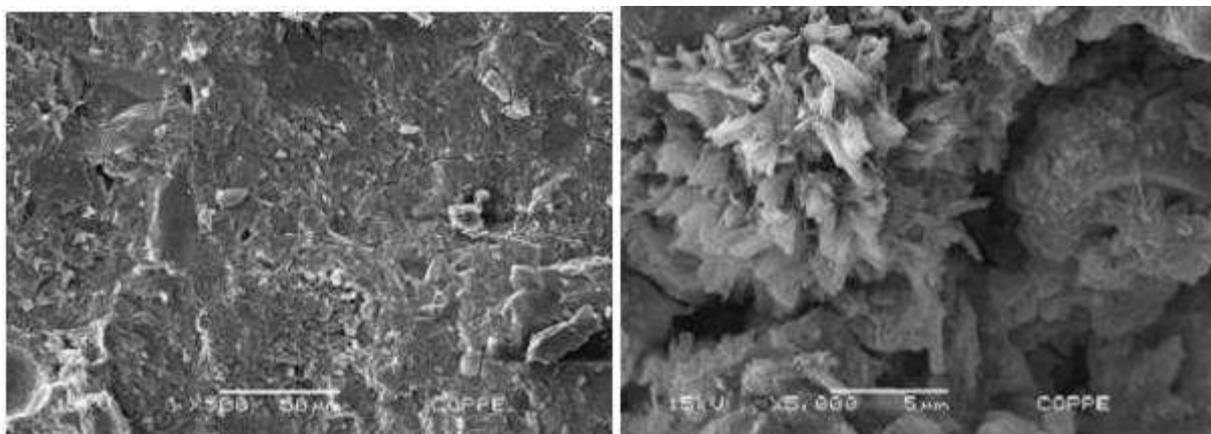


Figura 6 – Fotomicrografia da pasta de cimento

Em consequência das reações produzidas durante o processo de hidratação e da quantidade de água utilizada, a pasta de cimento torna-se um material formado basicamente por 3 fases (sólida, poros e água), composto por partículas de cimento anidro mergulhadas em uma matriz contínua de gel de cimento (gel de cimento é o nome dos produtos de hidratação do cimento, como os silicatos de cálcio hidratado (C-S-H), o hidróxido de cálcio (C-H), o sulfoaluminato de cálcio hidratado e outras pequenas fases sólidas), a qual é atravessada por uma múltipla rede de poros que podem ou não estar cheios de água (TAYLOR, 1990).

As reações que fazem com que o cimento se torne um agente ligante ocorrem na pasta de água e cimento. Na presença de água, os silicatos e os aluminatos da composição do cimento formam produtos de hidratação que, com o transcorrer do tempo, dão origem a uma massa firme e resistente: a pasta endurecida (TAYLOR, 1990).

A pasta de cimento hidratada contém vários tipos de vazios que têm importante influência em suas propriedades. O volume total dos vazios capilares é conhecido como porosidade. Dependendo do fator água/cimento ( $a/c$ ) da pasta, diferentes porcentagens em volume de poros são obtidas.

Através dos poros deformados substâncias químicas são transportadas ao interior da pasta. Neste caso, dois parâmetros são considerados importantes: os poros comunicantes, os quais têm possibilidade de transportar líquidos e substâncias nocivas (porosidade relevante) e a distribuição do tamanho dos mesmos, cuja influência diz respeito ao tipo de taxa dos mecanismos de transporte e de ligação em relação à água.

#### Curvas de Polarização

Foram obtidas curvas de polarização anódica (Figura 7) nas condições estudadas, visando avaliar o comportamento corrosivo do extrato aquoso das pastas de cimento e do extrato aquoso do lodo. As curvas obtidas, em célula a três eletrodos, através de um potenciostato AUTOLAB modelo PGSTAT 100, utilizando-se platina como contra-eletródo, eletródo de referência de calomelano saturado (ECS) e aço carbono como eletródo de trabalho

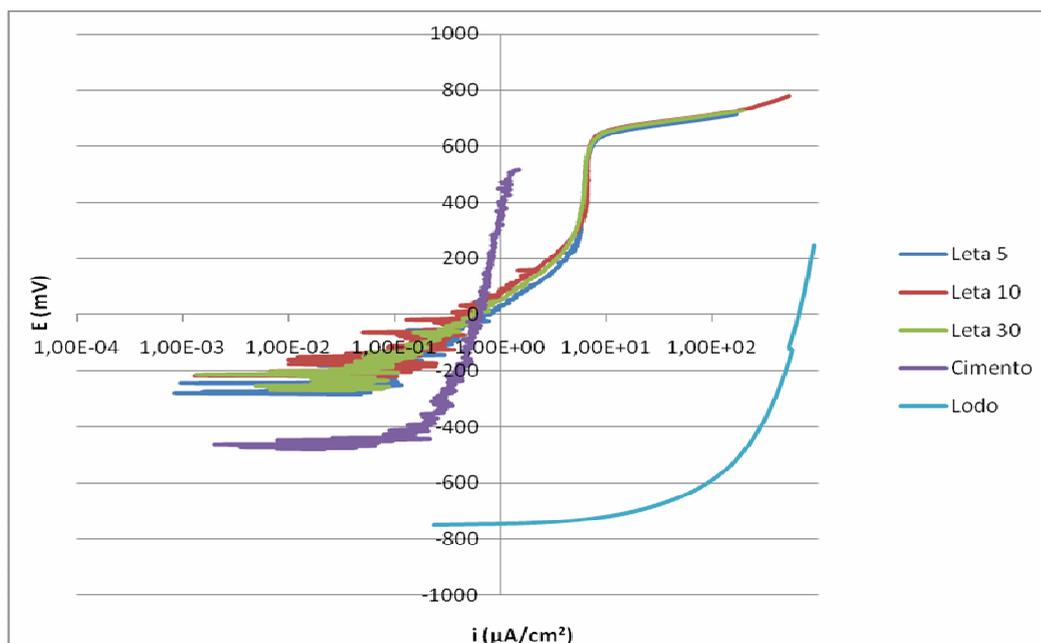
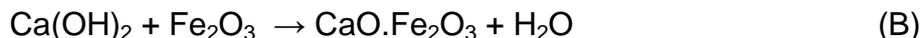


Figura 7 – Curvas de polarização dos extratos aquosos de: pasta de cimento com 5% de lodo, pasta de cimento com 10% de lodo, pasta de cimento com 30% de lodo, pasta de cimento sem lodo (0%) e lodo puro (100%).

Na Figura 7 observa-se que o extrato aquoso de lodo puro (100%) apresenta um comportamento corrosivo maior que os demais e, observa-se ainda, que não ocorre a passivação do aço, ou seja, não ocorre a formação de um filme protetor em torno do aço. Tal comportamento pode-se ser atribuído ao pH do extrato do lodo (pH= 6,3) bem abaixo de 13,5 que representa uma excelente proteção à corrosão do aço.

A introdução do lodo a pasta de cimento acarreta um aumento do potencial de oxidação quando comparada a pasta de cimento pura. Provavelmente tal comportamento pode ser atribuído a presença de eletrólitos presentes no lodo. Para as pastas de cimento com diferentes teores de lodo, observa-se que a corrente de corrosão é pelo menos uma década menor que a do lodo puro (100%) e uma década maior que a do cimento puro (0%). Tal comportamento pode ser associado à presença de óxido de ferro na composição do lodo, além do valor acima da média do mesmo óxido no cimento. De acordo com Gentil, o percentual de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  varia de 2 a 3,5 % nos cimentos Portland usuais no Brasil. O mesmo autor ainda admite que a alcalinidade do cimento, decorrente da formação de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , pode ser reduzida pela formação de  $\text{CaO}$ .  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de acordo com as equações químicas A e B. (GENTIL,2007)



Observa-se também que a densidade de corrente em que ocorre a passivação para as pastas de cimento com lodo é cerca de vinte vezes maior do que a pasta de cimento pura. Ainda é possível observar, nas curvas de polarização da Figura 7, que a introdução de diferentes teores de lodo na pasta de cimento não acarreta um aumento da corrente de passivação.

## CONCLUSÕES

Em relação à corrosividade das pastas preparadas os resultados obtidos até o momento apontam para a possibilidade de uso do lodo de ETA nas pastas de cimento promovendo uma alternativa para o reaproveitamento do lodo da ETA até então descartados nos aterros.

Entretanto, faz-se necessário também avaliar a vida útil de uma possível estrutura, preparada a partir das misturas do lodo com cimento, pois as condições ambientais são tão importantes quanto suas propriedades mecânicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GENTIL, V., Corrosão, LTC Editora, 2007.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais. 2ª edição. São Paulo: Pini, 1994.
- REALI, M.A.P. Principais Características Quantitativas e Qualitativas do lodo de ETAs. In: REALI, M. A.P. ( coord.) Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA. Rio de Janeiro: ABES/Prosab, 1999. P.21-39
- TAYLOR, H. F. W. Cement Chemistry. 2. ed. London: Thomas Telford, 1990. 459p.

## **CORROSIVITY OF CEMENT PASTES WITH ADDITION OF SLUDGE GENERATED IN WATER TREATMENT PLANT**

### **ABSTRACT**

The amount of sludge produced in a water treatment plant (WTP) is an important economic factor in the context of waste treatment. The present article has the objective of study the corrosion of cement pastes produced with blended sludge. Aqueous extracts were produced from the milling of masses containing 5%, 10% and 30% of sludge in relation to cement after 28 days of healing. These extracts were used for polarization assays in order to determine the corrosiveness of the folders when in contact with the used fittings. Moreover, other chemical analysis tests were carried out for sludge characterization: X-ray fluorescence and X-ray diffraction. The obtained results point to the possibility of use of the studied cement masses in the development of construction materials promoting the economic reuse of WTP sludge before discarded in landfills.

Keywords: cement, corrosion, construction material.