

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

III-045 - INVESTIGAÇÃO DA LIXIVIAÇÃO DE CONCRETO EM CUJA MASSA FOI INCORPORADO RESÍDUO METALÚRGICO

Luciana Márcia Borba Prado⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Regional de Blumenau. Especialista em Estruturas pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Regional de Blumenau.

Deyse Elisabeth Ortiz Suman Carpenter⁽²⁾

PhD em Engenharia Metalúrgica e Materiais, professora do quadro da Fundação Universidade Regional de Blumenau, responsável pela implantação do Laboratório de Engenharia de Materiais. Professora colaboradora no Departamento de Materiais e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e Minas (PPGEM) da UFRGS.

Ivone Gohr Pinheiro⁽³⁾

Doutora pelo INPT-IMFT – Toulouse – França, professora do quadro da Fundação Universidade Regional de Blumenau, responsável pela edição da revista de estudos ambientais publicada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Endereço⁽¹⁾: Rua Araçatuba, 83 – FURB Campus II, Laboratório de Materiais - Blumenau - SC - CEP: 89030-080 Brasil - Tel: (47) 221-6069

lucianaprado@melim.com.br

RESUMO

Este trabalho investigou a lixiviação do concreto em cuja massa foi incorporado resíduo metalúrgico como agregado miúdo. Estes resíduos foram constituídos por uma mistura de 40% de borra de oxi-corte e 60% de carepa seca. As características químicas e físicas do resíduo foram determinadas sendo que o resíduo foi classificado como classe II. Duas dosagens de concreto foram utilizadas, a denominada padrão, sem incorporação de resíduo metalúrgico e, aquela na qual o agregado miúdo foi substituído pelo resíduo metalúrgico na proporção de 75%. Sobre estes concretos foram realizados ensaios de lixiviação segundo a norma brasileira e, também, segundo a norma holandesa. Os resultados obtidos não apresentaram, para os elementos analisados, nenhuma quantidade acima dos limites da NBR 10004 ou, para elementos cujos limites não estão especificados, não apresentaram variação sensível entre o concreto padrão e os concretos com incorporação de resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: reciclagem, lixiviação, resíduos metalúrgicos, concreto.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, segundo Sjöström⁴, está entre um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais, como madeira, minérios, areia, etc. Dentre os recursos consumidos pela sociedade, este consumo atinge algo em torno de 20 a 50%, sendo que ele é extremamente alto no caso dos agregados. Outro fator agravante nos processos construtivos é o alto consumo de energia desde a extração da matéria-prima até a fabricação de produtos destinados à construção civil. Com este enfoque, a reciclagem de resíduos pode reduzir o consumo energético, como no caso do aço, alumínio e mesmo da escória de alto forno e da cinza volante utilizadas como aglomerantes⁵.

Em contrapartida, a construção civil tem apresentado destaque na reutilização, ou no aproveitamento de resíduos através da reciclagem. Estes resíduos podem provir, por exemplo, de indústrias siderúrgicas, metalúrgicas, têxteis e até do lodo de Estações de Tratamentos de Efluentes - ETEs.

Cabe aqui fazer alusão ao termo reciclagem. A reciclagem pode ser entendida como a inclusão de um resíduo num novo ciclo produtivo atribuindo-lhe valor⁷. Neste sentido, a reciclagem pode abranger a transformação deste resíduo ou simplesmente o seu aproveitamento, na confecção de um novo produto.

Entretanto, é necessário realizar uma análise específica antes de se afirmar sobre a vantagem ambiental de um processo de reciclagem⁵. Isto porque a produção de materiais para a construção civil a partir de resíduos pode resultar na degradação ambiental, ocorrendo, por exemplo, reações químicas que possam deteriorar o concreto, liberando elementos químicos perigosos, ou pelos simples processos de lixiviação e solubilização, ao entrarem em contato com a água.

Outro fator que deve ser levado em consideração é quanto ao entulho gerado pela construção civil após a vida útil dos materiais. Os entulhos da construção civil não são considerados resíduos perigosos. Portanto, quando se utiliza resíduos reciclados em substituição a matéria-prima natural, deve-se ter certeza que este material continuará gerando entulho inócuo.

Portanto, além dos fatores econômicos, a viabilidade da reciclagem de um resíduo depende da sua produção, exigindo uma análise técnica do processo de reciclagem envolvendo itens como a disponibilidade do resíduo, a determinação das suas propriedades químicas, físicas e mecânicas, e as propriedades do produto final⁶.

O conhecimento do processo que envolve a geração dos resíduos torna-se indispensável no processo de reciclagem, pois, variáveis importantes surgem durante essa fase influenciando nas suas características químicas e físicas.

O resíduo utilizado nesta pesquisa foi composto de borra de oxi-corte e carepa que, são resíduos provenientes de indústrias metalúrgicas que transformam o aço e apresentam variações conforme a matéria-prima, o tipo de forno e o combustível utilizado, o tipo de processo de conformação, entre outros.

O processo de corte das barras de aço, denominado de oxi-corte ou corte a gás, libera, em forma de cascata, uma parcela do aço que entrou em contato direto com a chama e está incandescente. Este material cai numa caixa d'água originando o resíduo denominado de borra de oxi-corte. Após o corte, as barras reduzidas são colocadas em fornos cilíndricos giratórios para o aquecimento. O aço aquecido, por estar em contato com o ar atmosférico, tem a camada superficial das barras oxidada. Esta camada, com espessura de aproximadamente 0,3 mm deve ser removida imediatamente ao ser retirada do forno evitando que a qualidade do aço seja comprometida durante o processo de laminação. Este material forma a carepa. Durante a laminação outra parte, semelhante, também é removida, porém, devido à presença de lubrificantes e líquidos refrigerantes nesta etapa, está contaminada com óleos e graxas.

Além do conhecimento do processo de geração do resíduo, quando possível, é necessário analisá-lo e bem caracterizá-lo a fim de investigar a possível presença de elementos potencialmente prejudiciais ao meio ambiente e, à saúde humana, antes de optar pela reciclagem ou pelo reaproveitamento de um resíduo. Para tanto, ensaios na massa bruta, de solubilização e de lixiviação, permitirão que os resíduos possam vir a serem avaliados e classificados segundo as NBRs 10004¹, 10005² e 10006³.

Os resíduos utilizados em substituição à areia na produção de concreto foram classificados, de acordo com os procedimentos propostos por estas normas, como resíduos não-inertes ou Classe II¹⁰.

Este trabalho apresenta resultados relativos aos ensaios de lixiviação dos concretos que, foram realizados segundo a norma brasileira e, também, segundo a norma holandesa. A norma brasileira é a NBR 10005 e a holandesa, a NEN 7345⁸.

Testes como o proposto pela NEN 7345 (Tank Leaching Test), permitem uma avaliação do material em diferentes estágios de uso, sem que para isto seja necessária a destruição da amostra.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os resíduos metalúrgicos, uma vez coletados, sofreram um processo de redução-homogeneização de tamanho, de tal maneira, que puderam ser classificados como agregados miúdos. Em seguida, tiveram suas características químicas e físicas determinadas e, então, foi possível proceder à dosagem e a moldagem dos corpos de prova.

Os corpos de prova, moldados para os ensaios de lixiviação, foram constituídos de dois traços diferentes de concreto. Um, foi o traço denominado de padrão, que não possuía incorporação de resíduo metalúrgico e, serviu como referência. No outro, o agregado miúdo foi substituído pelo resíduo na proporção de 75%.

Em seguida, procedeu-se a escolha dos elementos a serem analisados. Os primeiros escolhidos para serem analisados

foram o cálcio e o ferro. O cálcio (Ca) foi selecionado para avaliar uma possível desintegração da matriz do cimento pelo contato com a água acidificada ou pela reação dos resíduos com os demais materiais existentes no concreto e, o ferro (Fe), pela quantidade presente na matéria prima (resíduos). A escolha dos demais elementos, cádmio (Cd), chumbo (Pb), arsênio (As) e zinco (Zn), baseou-se na periculosidade que estes elementos apresentam para o meio ambiente e a conseqüente preocupação que a legislação brasileira demonstra com suas ocorrências.

Para uma abordagem mais detalhada, a metodologia e os resultados da lixiviação serão apresentados separadamente, em duas etapas, de acordo com cada uma das duas normas utilizadas (NBR 10005 e NEN 7345). Esta divisão tem como objetivo tornar bem específica a análise em cada uma das situações propostas que são bastante distintas.

A Tabela 1 relaciona os parâmetros adotados em cada uma das normas. Observa-se que as diferenças começam pelo tempo de ensaio e a forma como as amostras são ensaiadas (material granular e monolítica). Em seguida tem-se o tipo de solução extratora. Enquanto que a norma brasileira adota o ácido acético, a norma holandesa utiliza o ácido nítrico. Na primeira norma, o ácido é adicionado à água deionizada mais o concreto até que o pH atinja o valor de 5,0, em seguida o conjunto é agitado por um período pré-determinado. Já na norma holandesa a solução de trabalho apresenta um valor de pH igual a 4,0, entretanto, o ensaio não é realizado com agitação.

A medida da condutividade, na norma holandesa, é outra diferença que se destaca, pois, ela pode ser uma informação complementar ao permitir que seja feita uma análise da quantidade de íons liberada, observando-se que estes não necessariamente influenciam no pH, mostrando com isto liberação de íons que não provêm da massa do concreto, mas, possivelmente do resíduo utilizado como agregado.

Tabela 1: Principais comparações entre os critérios das normas NBR 10005 e NEN 7345 para ensaios de lixiviação.

Parâmetros	NBR 10005	NEN 7345
Tempo total do ensaio	24h $\pm$ 5h	64 dias divididos em 8 etapas
Amostra	Granular < 9,5mm	Corpo monolítico
Solução extratora	Ácido acético+água deionizada	Ácido nítrico+água deionizada
Renovação da solução extratora	Não há	Ao fim de cada etapa
Volume de água deionizada	1600ml	Relativo ao tamanho da amostra (320ml)
pH após acidificação da solução	5,00	4,00
Condutividade da Solução	Não é medida	Medida no final de cada etapa

PRIMEIRA ETAPA: ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO SEGUNDO A NBR 10005

O estudo da lixiviação do concreto, nesta etapa, seguiu conforme a especificação da NBR 10005. Cabe lembrar que, segundo a norma brasileira, este ensaio é realizado com o material em forma granular (material passante na peneira de 9,5 mm). Para tanto, as amostras de concreto foram retiradas dos corpos de prova cilíndricos que haviam sido rompidos aos 28 dias e, com o auxílio de um soquete, tiveram o seu tamanho reduzido de forma a atender esta exigência.

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Os ensaios de lixiviação realizados de acordo com a NBR 10005 não apresentaram resultados acima dos limites estabelecidos pela NBR 10004 quanto aos elementos analisados (Tabela 2).

A concentração de cálcio lixiviada foi a que mais se destacou, porém, não há limites para este elemento na norma brasileira. Entretanto, observou-se uma quantidade maior de cálcio lixiviada na amostra do concreto que continha resíduo do que na amostra padrão.

Uma possível explicação pode estar relacionada com a preparação da amostra, quando se aplica a norma brasileira ou

seja, trata-se de material granular passante na peneira de 9,5 mm, como descrito na metodologia. Desta forma a superfície de contato da amostra com a solução lixiviante é maior, promovendo uma maior interação entre ambos. A proporção do concreto-agregado varia, fato este que poderia levar às diferentes variações nos teores de cálcio e, justificaria o fato de termos obtido quantidades maiores de cálcio para a amostra com adição de 75% de resíduo do que naquela da amostra padrão.

Durante os ensaios se observou a dificuldade em baixar o pH da solução após a agitação, este fato, deve-se principalmente à liberação dos íons OH^- , provenientes dos compostos CaOH_2 do cimento. Desta forma, a quantidade máxima de ácido acético foi adicionada (400ml) e após as 24h, somente com mais duas tentativas de baixar o pH, é que se conseguiu após uma hora de agitação, que o pH apresentasse um patamar próximo de 5,0 (Figura 1).

Tabela 2: Resultado da lixiviação de acordo com a NBR 10005, dos concreto padrão e com 75% de resíduo.

Elemento	Unidade	Limite Max. NBR 10004	Resultado Concreto Padrão	Resultado Concreto 75%
Arsênio (As)	mg/l	5,0	n.a.	n.a.
Cálcio (Ca)	mg/l	#	208	1544
Cádmio (Cd)	mg/l	0,5	<0,01	<0,01
Chumbo (Pb)	mg/l	5,0	0,05	0,15
Cromo (Cr)	mg/l	5.0	<0,02	0,10
Ferro (Fe)	mg/l	#	<0,03	13

- Valores não especificados pela norma; * - n.d. (não detectado) e n.a. (não analisado).

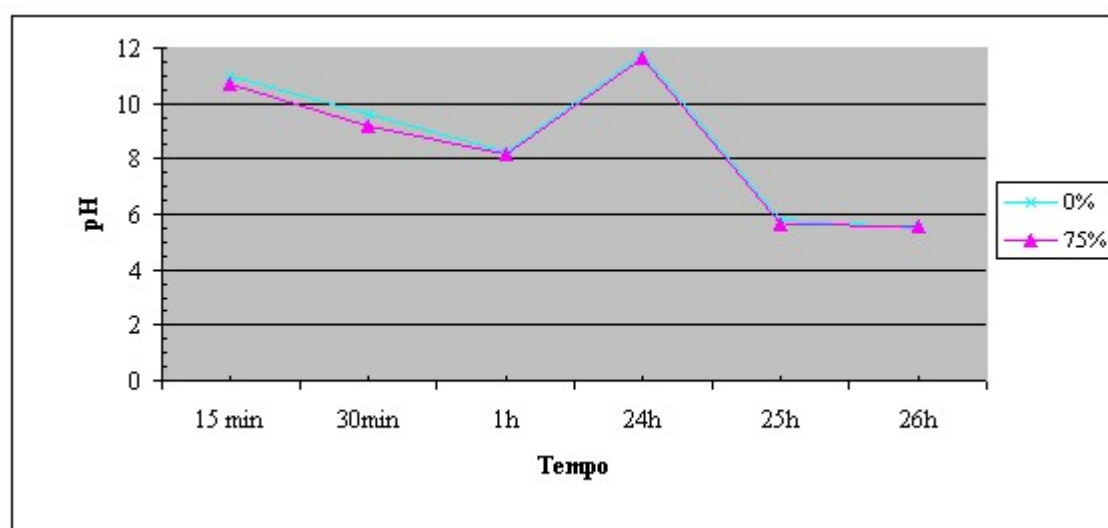


Figura 1: Relação entre o pH e o tempo no ensaio de lixiviação segundo a NBR 10005.

SEGUNDA ETAPA: ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO SEGUNDO A NEN 7345

O ensaio de lixiviação segundo a NEN 7345 é realizado no corpo monolítico e, portanto, trata-se de um ensaio não destrutivo. Este corpo monolítico, que deverá ter dimensões mínimas de 40 mm, estará imerso em água acidificada durante um período de 64 dias, sendo que em oito etapas, cronologicamente diferentes, procede-se à análise química dos elementos lixiviados (Figura 2).

Este ensaio também permite de verificar se a lixiviação ocorre pelo mecanismo de difusão. O ensaio consiste em imergir as amostras numa solução de água acidificada, mantendo-se um pH igual a $4 \pm 0,2$, utilizando-se ácido nítrico (1N). Este procedimento deve ser realizado utilizando-se um recipiente plástico. O volume de água a ser colocado pode

variar entre 4 a 5 vezes o volume da amostra (Figura 2). O eluato é extraído e analisado durante oito etapas que correspondem a 0,25, 1, 2,25, 4, 9, 18, 36 e 64 dias de imersão do corpo de prova.

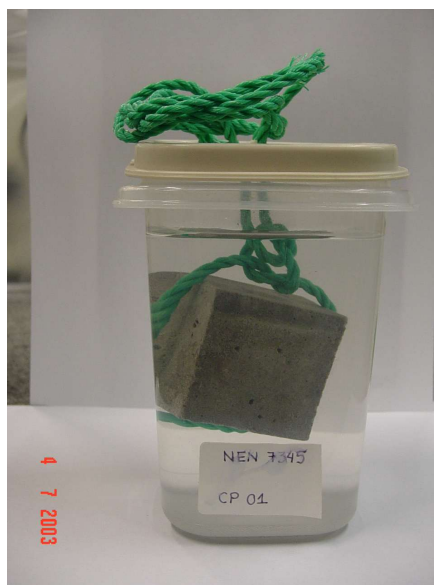


Figura 2: Visualização de uma etapa do ensaio de lixiviação pela NEN 7345.

Ao término de cada etapa o recipiente é limpo e o eluato é filtrado a vácuo, em seguida é medida a condutividade e o pH da solução para então se proceder à análise química dos elementos desejados. Caso a análise não ocorra sequencialmente, deve-se preservar o eluato baixando-se o seu pH para aproximadamente 2,0 com o mesmo ácido.

Esta norma permite, então, calcular a lixiviação cumulativa em função da área de um corpo monolítico, durante um período de 64 dias, distribuída em etapas. A lixiviação de um determinado componente é, primeiramente calculada para cada uma das oito etapas e é apresentada pela relação entre a massa do lixiviado num dado volume de solução pela área do corpo de prova, conforme a equação 1.

$$\varepsilon_i^* = \frac{c_i \cdot V}{f \cdot A} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

ε_i^* = lixiviação medida de um componente na fração i em mg/m²;

c_i = concentração do componente na fração i em µg/l;

V = volume de eluato em litros;

A = superfície do corpo de prova em contato com a solução em m²;

f = fator adimensional ($f = 1000 \mu\text{g}/\text{mg}$)

Dentre as especificações da norma holandesa, algumas adaptações ocorreram para tornar possível sua aplicação. A primeira foi quanto à utilização das concentrações dos elementos químicos contidos nos resíduos, a serem analisados. Em vez de utilizar o proposto pela NEN 7341, estes foram obtidos de acordo com o ensaio na massa bruta realizado pela NBR 10004.

A segunda adaptação está relacionada com a exclusão de elementos inertes que deveriam ser adicionados durante o ensaio para que fosse possível a determinação da lixiviação pelo mecanismo da difusão. Esta exclusão ocorreu porque não se pretendia determinar tal mecanismo, mas apenas a lixiviação cumulativa.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Os resultados dos ensaios de lixiviação baseados na NEN 7345 foram muito interessantes, revelando a importância de um ensaio não destrutivo. Este ensaio foi realizado no corpo de prova padrão e naquele contendo 75% de substituição dos resíduos pela areia, tal qual o ensaio realizado segundo a NBR 10005. Inicialmente, analisa-se a lixiviação cumulativa (Tabela 3 e 4), calculada a partir dos elementos lixiviados das amostras monolíticas. Os valores dos elementos analisados foram sempre maiores para o concreto padrão, o que se permite concluir que, a liberação destes elementos não ocorre em função dos resíduos, e que o concreto contendo os resíduos apresenta uma integridade maior retendo com maior intensidade estes elementos.

Tabela 3: Lixiviação cumulativa para o concreto padrão – NEN 7345.

Etapa	Tempo (Dias)	Quantidade Lixiviada por Elemento - ε_i (mg/m ²)					
		As	Ca	Cd	Cr	Fe	Pb
1	0,25	0,0057	170,000	0,0000	0,0000	0,3667	0,0000
2	1	0,0070	449,667	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	2,25	0,0077	550,333	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	4	0,0090	602,667	0,0667	0,0000	0,4000	0,0000
5	9	0,0103	500,333	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	18	0,0000	371,333	0,0020	0,0000	0,46667	0,3333
7	36	0,0000	271,333	0,0030	0,0000	0,36667	0,2900
8	64	0,0867	285,000	0,0033	0,3333	0,0000	0,5667
$\Sigma \varepsilon_i$		0,1264	3200,666	0,0750	0,3333	1,6000	1,1900

Tabela 4: Lixiviação cumulativa para o concreto com 75% de resíduos, NEN 7345.

Etapa	Tempo (Dias)	Quantidade Lixiviada por Elemento - ε_i (mg/m ²)					
		As	Ca	Cd	Cr	Fe	Pb
1	0,25	0,0057	79,667	0,0000	0,0000	0,5667	0,0000
2	1	0,0087	181,333	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	2,25	0,0080	270,333	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	4	0,0083	348,667	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	9	0,0110	309,667	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	18	0,0000	233,333	0,0040	0,0000	0,46667	0,0767
7	36	0,0000	178,000	0,0037	0,0000	0,33333	0,0633
8	64	0,0800	185,000	0,0020	0,0000	0	0,19667
$\Sigma \varepsilon_i$		0,1217	1786,00	0,0097	0,0000	1,3667	0,3367

O Fe foi incluído nas análises por ser o metal mais abundante entre os componentes dos resíduos. Porém, a sua presença no lixiviado do concreto padrão aparece em quantidades maiores do que no concreto com 75% dos resíduos, excluindo a possibilidade de ter sido proveniente dos resíduos. A sua lixiviação pode ser atribuída à composição corriqueira dos cimentos, pois, cerca de 6% de Fe₂O₃ é adicionada durante a produção do clínquer, principalmente pelo seu efeito fundente⁹. Sendo assim, a parcela da quantidade de ferro lixiviada no concreto contendo os resíduos, também deverá ser proveniente do cimento.

Quanto ao comportamento de outros metais, muito mais tóxicos, observa-se que seus valores foram muito baixos e nem de longe atingiram os limites impostos (em mg/m²) pela norma holandesa que são: 7,5 para o cádmio, 950 para o

cromo, 800 para o chumbo¹¹.

Quando se analisa a quantidade de cálcio lixiviada no concreto padrão em relação ao com 75% de resíduos, o valor acumulado da lixiviação foi quase duas vezes maior para o concreto padrão e, como a presença deste elemento está totalmente relacionada ao cimento, percebe-se que houve quebra de compostos CaOH_2 muito mais marcadamente para o concreto padrão.

Analisando-se isoladamente, a quantidade lixiviada em função do tempo em que o corpo de prova ficou em contato com a solução (etapas), é possível avaliar o comportamento de cada elemento ao longo do ensaio.

Os valores de arsênio lixiviados foram muito próximos para as duas amostras, sendo que na sexta e sétima etapas nem foram detectados (Figura 3). O chumbo (Figura 8) não foi detectado até a sexta etapa, ou seja, até o 18º dia do ensaio. O cromo (Figura 6) e o cádmio (Figura 5), também apareceram em quantidades muito pequenas. No caso do cromo nenhuma quantidade foi detectada no concreto com 75% de resíduos, o que pode ser considerado um ótimo resultado. O valor do ferro lixiviado na etapa inicial foi mais alto para o concreto com 75% de resíduos, mas, nas etapas seguintes foi mais baixo do que no concreto padrão (Figura 7).

Observa-se que nas figuras acima citadas, que para o concreto padrão, o cádmio e o ferro apresentaram o maior pico na quarta etapa ou quarto dia de ensaio, divergindo completamente da amostra com 75% de resíduos. Para o cádmio, a maior quantidade lixiviada também ocorreu nesta etapa, porém, a diferença entre os valores encontrados para as duas amostras foi menor.

Pela análise realizada até aqui, percebe-se que o elemento lixiviado em maior quantidade foi o cálcio (Figura 4), o que, provavelmente foi o maior agente no aumento do pH, discutido mais à frente. O mais interessante é que a quantidade lixiviada deste elemento foi menor no concreto com 75% de resíduos. Também, o comportamento do cálcio mostra uma ascensão seguida de um decréscimo até atingir um patamar nas duas ultimas etapas, para os dois tipos de concreto.

O fato de alguns metais lixiviados estarem em maior quantidade no concreto padrão levanta a hipótese de que sua procedência seria de outros constituintes do concreto, como a areia ou o cimento e não dos resíduos. Mesmo assim, os valores detectados para estes metais são bastante baixos, principalmente se for feita uma análise pontual (a cada etapa) e, há que se considerar a possibilidade destes valores já estarem compreendidos no intervalo de ruído do instrumento de leitura durante a análise química.

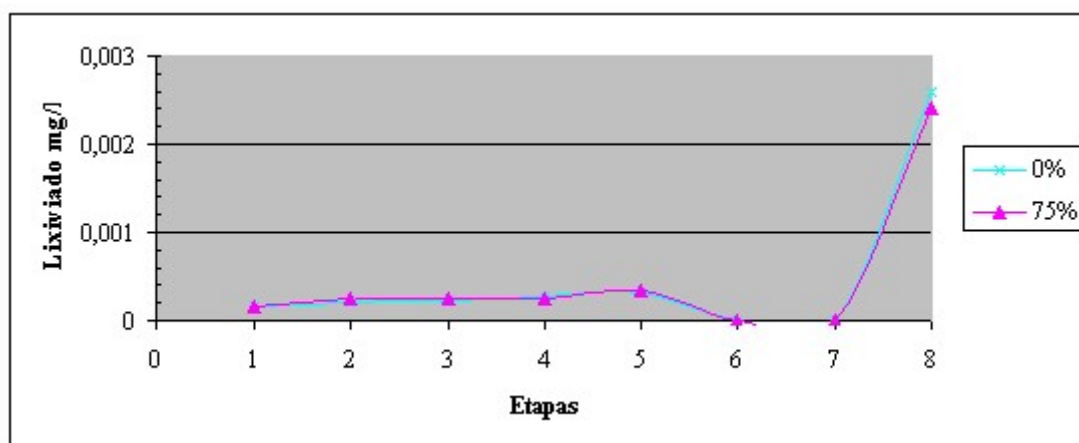


Figura 3: Lixiviação do arsênio em função do tempo, obtida no ensaio segundo a NEN 7345.

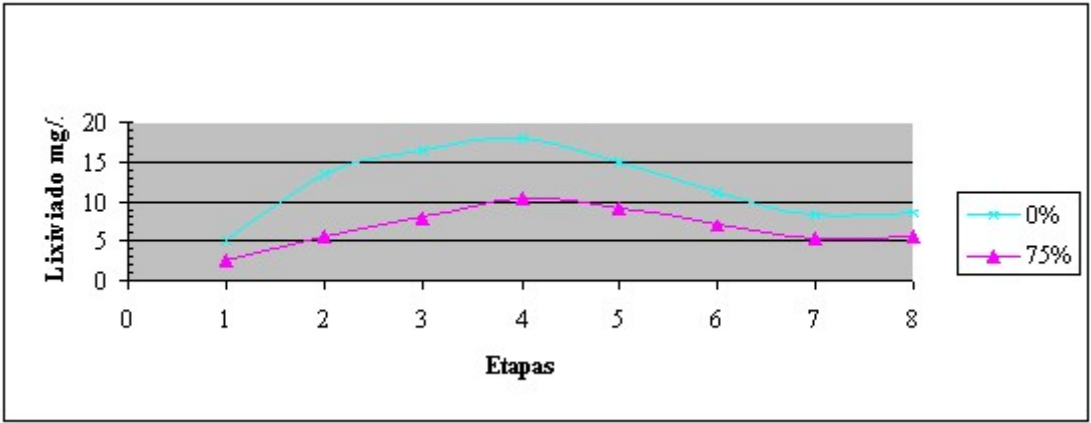


Figura 4: Lixiviação do cálcio em função do tempo, obtida no ensaio segundo a NEN 7345.

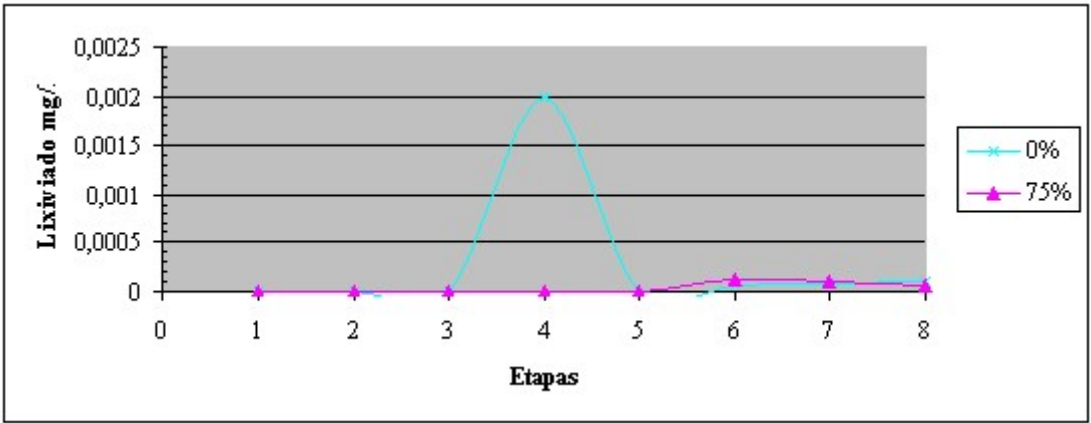


Figura 5: Lixiviação do cádmio em função do tempo, obtida no ensaio segundo a NEN 7345.

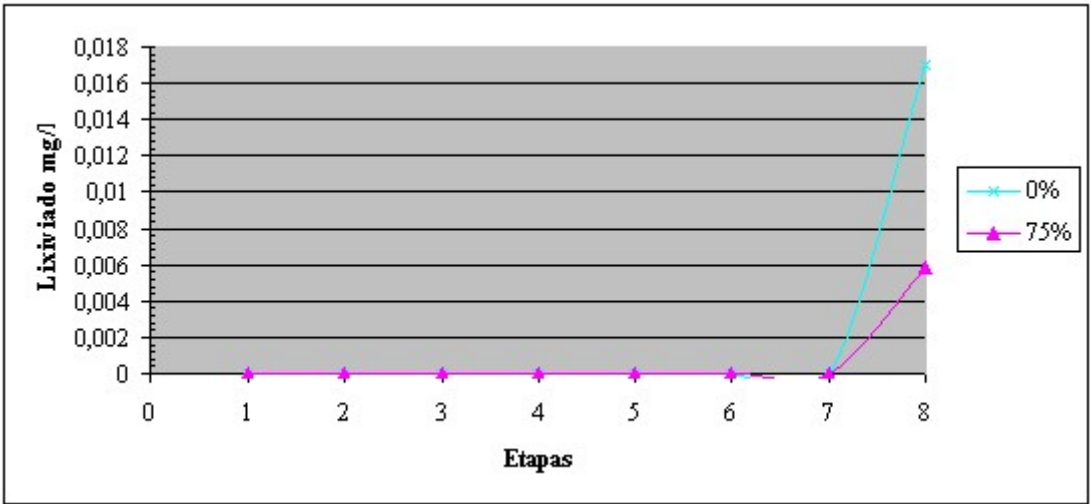


Figura 6: Lixiviação do cromo em função do tempo, obtida no ensaio segundo a NEN 7345.

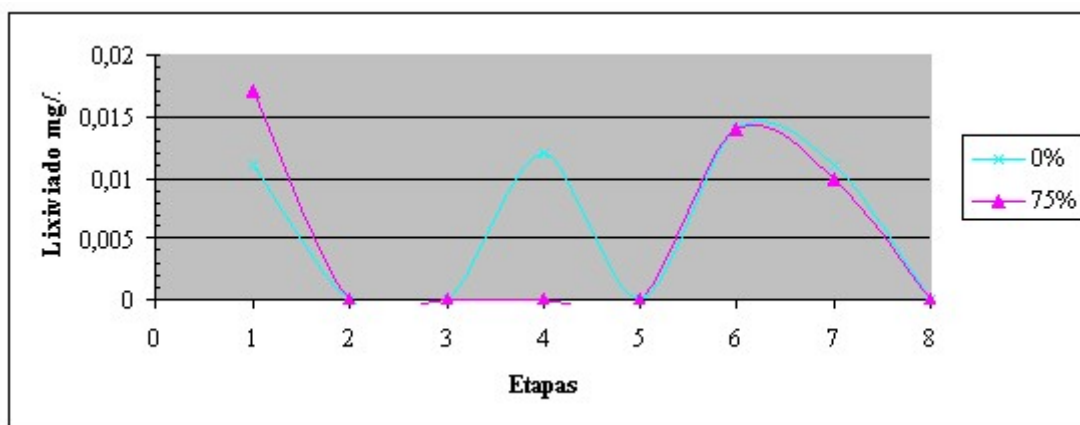


Figura 7: Lixiviação do ferro em função do tempo, obtida no ensaio segundo a NEN 7345.

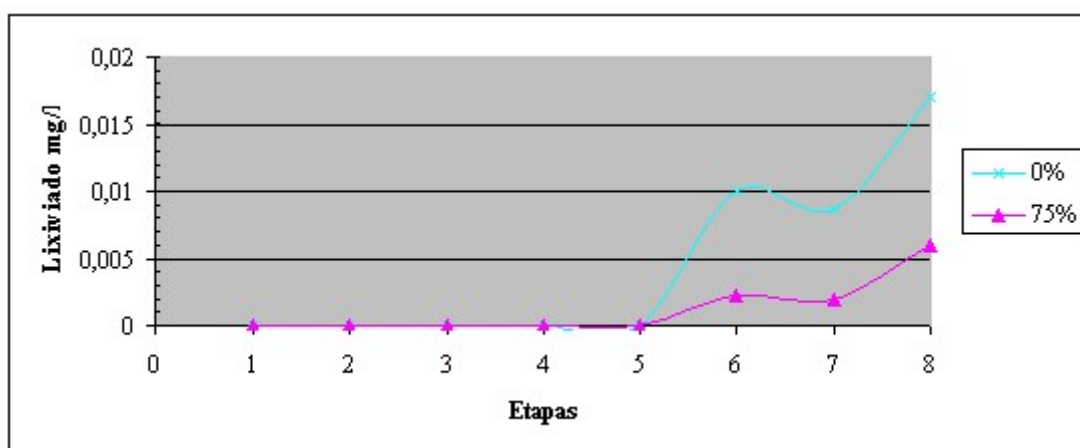


Figura 8: Lixiviação do chumbo em função do tempo, obtida no ensaio segundo a NEN 7345.

As Figuras 10 e 11 relacionam o comportamento do pH em função do tempo e a quantidade de cálcio liberada em função do pH, mostrando que, o concreto com 75% apresentou uma menor liberação de íons OH^- . Este fato é comprovado pela Figura 9 com a análise da condutividade.

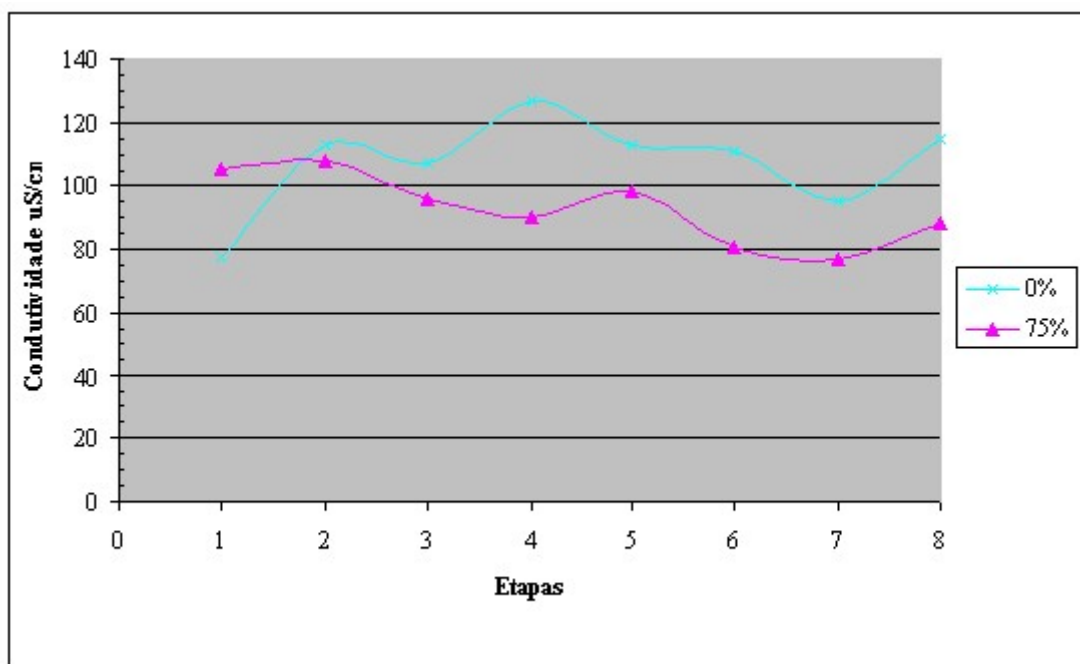


Figura 9: Condutividade da solução em função do tempo, obtida no ensaio segundo a NEN 7345.

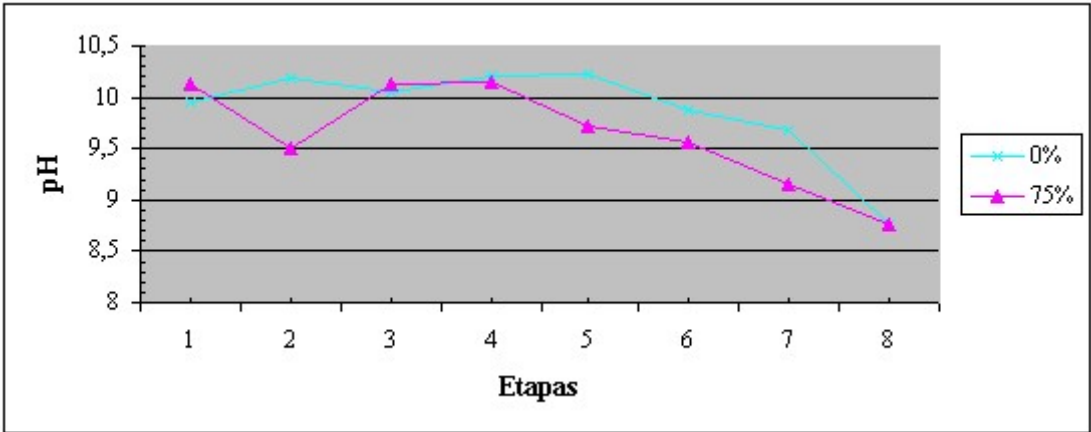


Figura 10: pH da solução em função do tempo, obtida no ensaio segundo a NEN 7345.

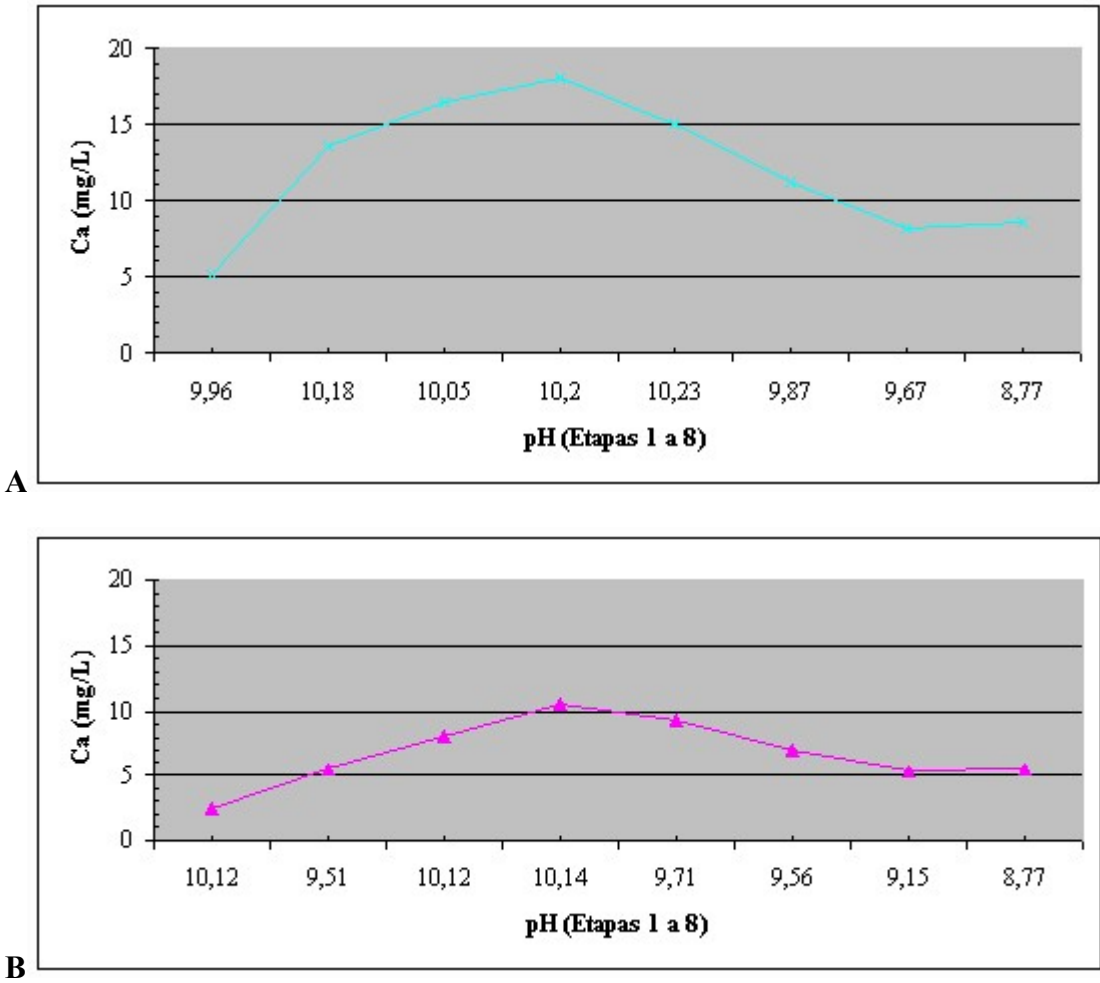


Figura 11: Relação entre o pH e a liberação de cálcio por ordem crescente de etapas: a) concreto padrão; b) 75% de incorporação de resíduos.

CONCLUSÕES

Os resultados de lixiviação dos seis elementos analisados, pela norma brasileira, foram favoráveis não indicando, nenhuma quantidade acima do limite tolerado pela norma.

Como a preocupação ambiental não está apenas durante o uso do concreto com o resíduo substituído, mas também quando este se transformar em entulho, os resultados obtidos com a norma brasileira para lixiviação mostraram-se promissores. Esta norma por utilizar o concreto em forma granular, assemelha-se à realidade do mesmo quando se tornar entulho na construção civil.

Os resultados de lixiviação dos seis elementos analisados, pela norma holandesa, foram favoráveis não indicando, nenhuma quantidade acima do limite tolerado pela referida norma.

Os resultados de lixiviação para o cálcio diferem quando obtidos pela norma brasileira em comparação com àqueles obtidos pela norma holandesa. No primeiro caso, encontramos mais cálcio lixiviado no concreto contendo o resíduo metalúrgico sendo que esta diferença não é significativa. No segundo caso, o da norma holandesa acontece o contrário e, em proporções bem marcantes.

Na análise deste último resultado, levantaram-se duas hipóteses a serem consideradas:

- a. uma diminuição da porosidade do concreto, o que levaria a uma menor penetração da solução extratora no mesmo.
- b) no caso da norma holandesa, o corpo é monolítico enquanto que na norma brasileira o concreto foi reduzido a material granular. Neste último caso, a superfície específica da matriz concreto é muito maior, originando, conseqüentemente, uma lixiviação maior de cálcio.

No que concerne aos resultados dos elementos As, Cd, Cr, Fé e Pb serem maiores no caso do concreto padrão, pode-se levantar a hipótese de contaminação da areia, a qual no outro concreto foi substituída em 75% pelo resíduo metalúrgico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. Resíduos sólidos. Rio de Janeiro. 1987.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Lixiviação de resíduos. 1987.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solubilidade de resíduos. Rio de Janeiro. 1987.
4. CARNEIRO, A. P.; BRUM I. A. S.; CASSA, J. C. S. (Org). Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção. Salvador. 2001. EDUFBA; Caixa Econômica Federal 2001.
5. JOHN, V. M. Panorama sobre reciclagem de resíduos na construção civil. Limpeza Pública, n. 53, p. 8-11, out. 1999.
6. MOURA, W. A. Utilização da escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto. Porto Alegre. 2000. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia-Universidade Federal do Rio Grande do Sul 2000.
7. NAVARRO, R. F. Materiais e Ambiente. Paraíba 2001. Editora Universitária/UFPB.
8. NEN 7345. Determination of the release of inorganic constituents from construction materials and stabilized waste products. NNI Delft (Netherlands). 1993.
9. PETRUCCI, E. G. R. Concreto de cimento Portland. São Paulo. 1995. Editora Globo.
10. PRADO, L. M. B. Estudo do comportamento do concreto após a incorporação de um resíduo metalúrgico como agregado miúdo-Enfoque ambiental. Blumenau. 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade Regional de Blumenau 2003.
11. VALLZ, S., VÁZQUEZ, E. Accelerated carbonation of sewage sludge-cement-sand mortars and its environmental impact. Cement and Concrete Research 31,p. 1271-1276.2001.