



**ENTAC2006**

**A CONSTRUÇÃO DO FUTURO** XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

## **AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE CONCRETO COM ESCÓRIA DE ALTO-FORNO ATIVADA QUIMICAMENTE APÓS UM ANO DE EXPOSIÇÃO EM AMBIENTE MARINHO**

**Maria Antonina Magalhães Coelho (1); Maristela Gomes da Silva (2); Fernando Lodêllo dos S. Souza (3) Robson Sarmento (4); Eliana Zandonade (5); Tsutomu Morimoto (6); José Luiz Helmer (7)**

(1) NEXES – Núcleo de Excelência em Escórias Siderúrgicas, UFES, Universidade Federal do Espírito Santo, Profa. da Univix, UCL, Faculdade do Centro Leste; e-mail: antonina@oi.com.br

(2) NEXES, Centro Tecnológico da UFES; e-mail: margomes@npd.ufes.br.

(3) NEXES, Centro Tecnológico da UFES; e-mail: fernalor@npd.ufes.br.

(4) NEXES, Centro Tecnológico da UFES; e-mail: robson.sarmento@terra.com.br

(5) Departamento de Estatística da UFES; e-mail: elianaz@cce.ufes.br.

(6) Companhia Siderúrgica de Tubarão; e-mail: morimoto@cst.com.br.

(7) Centro de Biomédico da UFES; e-mail: jlhelmer@uol.com.br

### **RESUMO**

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o impacto ambiental, após 1 ano no meio marinho, de concreto de escória de alto-forno ativada quimicamente. Foram produzidos dois concretos, o primeiro como referência, utilizou 50% de escória de alto-forno e 50% de cimento CP III e o segundo utilizou escória de alto-forno ativada quimicamente com 4% de Na<sub>2</sub>O do silicato de sódio + 5% de cal. Para a avaliação do impacto ambiental foram confeccionados blocos de uma estrutura hidráulica de contenção de ondas e colocados em exposição em ambiente marinho. Ao mesmo tempo, blocos ficaram imersos em tanques com água do mar, com simulação do movimento das marés. Foram avaliadas a qualidade da água através do monitoramento do pH, durante 1 ano, e por análise química da água. Foram realizados, após este tempo, estudos de classificação e de contagem de número de organismos marinhos encontrados na superfície dos blocos que estiveram no mar. Este estudo e a comprovação da qualidade da água, indicam que o material utilizado não prejudica o meio ambiente.

Palavras-chave: concreto; escória de alto-forno; ativação química; estrutura hidráulica.

### **ABSTRACT**

The aim of this research was to evaluate the environmental impact of alkali-activated concrete used as breakwater in marine environment after 1 year period. Two concrete mixtures were made using blast-furnace slag, when finely grounded, as cement replacement, granulated slag replacing fine aggregate and air-cooled blast furnace slag as coarse aggregate. The first binder was alkali-activated by liquid sodium silicate (4% Na<sub>2</sub>O, mass of binder) + lime (5%, mass of binder). The second binder, taken as reference, used as binder 50% CP III-32 RS + 50% blast furnace slag. Breakwater samples were immersed in a tank simulating marine environment, including tides movement, which was monitored for 1 year period. It was evaluated the water quality through water pH and chemical analysis. It has been also carried out studies on classification and counting of number of marine organisms found on the surface of the blocks that had been in a real marine environment. This study and the evidence of the quality of the water indicate that the two concrete mixtures used does not harm the environment.

Keywords: *alkali*-activated slag concrete; blast furnace slag, marine environment.

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 A escória de alto-forno**

A indústria siderúrgica gera escória de alto-forno como um dos subprodutos na fabricação do aço. A escória é obtida após resfriamento rápido, o que lhe confere hidraulicidade latente, sendo sua energia interna usada na formação de produtos hidratados muito semelhantes aos obtidos na hidratação do cimento Portland. Quando a escória de alto-forno é resfriada naturalmente ao ar, os óxidos componentes se cristalizam aos poucos e, assim, perdem seu poder de aglomerante hidráulico, sendo a escória, então, considerada inerte. É chamada escória bruta de alto-forno e, depois de devidamente britada, pode ser utilizada como agregado para concreto (GEYER, DAL MOLIN; VILELA, 1995).

## **1.2 Ativação da escória de alto-forno**

A escória de alto-forno tem hidraulicidade latente, mas as suas reações de hidratação são muito lentas (JOHN et al, 1994). Esta reação lenta se deve ao fato de que as escórias de alto-forno são muito mais ácidas do que o cimento Portland, isto é, a relação C/S das escórias de alto-forno é menor do que a do cimento, que fica em torno de 2 (JOHN *et al*, 1994; MARQUES, 1994). Como a velocidade de dissolução de seus compostos anidros depende da basicidade do material, para acelerar esta reação torna-se necessária a ativação, que pode se dar por processos físicos ou mecânicos, térmicos e químicos (JOHN, 1995; SILVA 1998).

A ativação física está relacionada com o aumento da finura. O aumento da finura resulta em aumento da superfície específica da escória de alto-forno e, assim, a dissolução se desenvolve mais rapidamente, devido à maior área de contato da escória com a solução.

A influência do aumento da temperatura na velocidade de hidratação das escórias granuladas de alto-forno foi comprovada por vários estudos experimentais, que comprovam o aumento da solubilidade dos vidros de sílica, com o aumento de temperatura (JOHN, 1995; CAMARINI, 1995; SILVA 1998). Sabe-se, também, que a temperatura tem grande influência na cinética de qualquer reação química.

Na prática, a ativação química é a que apresenta melhores resultados. A aceleração da hidratação da escória acontece pela combinação de dois fatores (JOHN, 1995; SILVA 1998): a) elevação da velocidade de dissolução pela elevação do pH do meio aquoso; b) antecipação do início de precipitação dos compostos hidratados, pelo aumento da concentração de íons na solução, já no início da dissolução, ou pela alteração da solubilidade da fase vítrea da escória. Os ativadores reagem com os íons da escória de alto-forno em solução e modificam a composição química e mineralógica dos produtos hidratados. Assim, cada mistura escória-ativador produz um cimento com características diferentes (JOHN, 1995).

Entre os principais ativadores químicos estão o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ); os hidróxidos de metais alcalinos, como o de sódio (NaOH) e o de potássio (KOH); os silicatos alcalinos de sódio ou potássio ( $\text{R}_2\text{O} \cdot \text{nSiO}_2$ ); o cimento Portland ou uma mistura destes compostos. Os sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) serão considerados em separado por não serem ativadores propriamente ditos (JOHN, 1995).

## **1.3 As questões ambientais**

A conscientização das questões ambientais e as políticas estatais sobre preservação ambiental vêm fazendo com que surjam novas propostas de reciclagem de resíduos e de redução da quantidade de resíduos gerados. A utilização de escória de alto-forno traz vários benefícios ambientais merecendo destaque a redução do volume escavado de jazidas para a produção de cimento e agregados e, conseqüentemente, a diminuição da degradação da camada vegetal, a redução da utilização de explosivos que geram partículas em suspensão no ar, a diminuição de liberação de dióxido de carbono no ar atmosférico e a diminuição de áreas necessárias ao descarte de resíduos industriais. (JOHN, 1996).

## 2 OBJETIVO

Pretende-se, com este estudo, expandir o campo de aplicação de escória de alto-forno no Brasil, reduzindo o custo e a demanda energética, contribuindo para economizar recursos naturais e econômicos e colaborando para a sustentabilidade e para a ecoeficiência.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Materiais

Os materiais cimentícios utilizados foram a escória granulada de alto-forno moída e o cimento Portland de alto-forno CP III - 32 RS. O teor de escória granulada de alto-forno no cimento CP III - 32 RS é de 66% (em massa). A composição química da escória granulada de alto-forno e do cimento CP III - 32 RS está apresentada no Quadro 1 e suas características físicas no Quadro 2.

**Quadro 1 : Análise química dos materiais cimentícios.**

Oxidos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	S	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>
Escória	33,02	12,64	0,68	42,83	7,71	1,06	0,17	0,31	0,60	-	-
CP III	29.88	9.92	1.43	50.95	5.78	0.62	0.09	0.36	0.38	0.69	0.15

**Quadro 2: Caracterização física dos materiais cimentícios.**

Características físicas	Escória	CP III - 32 RS
Finura (NBR 11579) - Resíduo na peneira de 0,075 mm (%)	0,4	0,6
Superfície específica Blaine (NBR NM 76) (cm <sup>2</sup> /g)	4100	4220
Massa específica (NBR 6474) (kg/m <sup>3</sup> )	2,906	2,986

O grau de vitrificação da escória granulada de alto-forno é igual a 96%, o índice de refração é igual a 1,65 e a sua natureza é básica. A composição química e as propriedades físicas da escória granulada de alto-forno são compatíveis com dados da literatura (SCANDIUZZI; BATTAGIN, 1990; CINCOTTO,1992; ESPER, 1993). As propriedades físicas estão de acordo com as prescrições das normas brasileiras e com estudos realizados por outros autores (SCANDIUZZI; BATTAGIN, 1990; CINCOTTO,1992; SILVA; ALMEIDA, 1986; RIBEIRO, *et al.* 1990).

Como agregado miúdo foi empregada escória granulada de alto-forno, estando suas características físicas de acordo com os requisitos prescritos nas normas brasileiras para agregados miúdos e de acordo com dados da literatura, apresentando, no entanto, forma angulosa (SCANDIUZZI; BATTAGIN, 1990; CINCOTTO,1992; SILVA; ALMEIDA, 1986; RIBEIRO, *et al.* 1990). Como agregado graúdo foi empregada escória bruta de alto-forno britada nas granulometrias da brita 1 (material passando na peneira 25 mm) e da brita 2 (material passando na peneira 32 mm). Apresenta estrutura porosa em alguns grãos o que torna o material heterogêneo.

Os materiais utilizados como ativadores são a cal hidratada CH I e o silicato de sódio. As características físicas da cal hidratada CH I estão no Quadro 3 e a sua análise química no Quadro 4. As propriedades químicas e físicas do silicato de sódio foram fornecidas pelo fabricante e estão apresentadas no Quadro 5.

**Quadro 3– Características físicas da cal hidratada.**

Determinação	CH I
Material retido na peneira no. 200 (NBR 9289) (%)	0,36
Massa específica (NBR 6474) (kg/m <sup>3</sup> )	2,32

**Quadro 4: Análise química da cal hidratada CH I.**

Óxidos (% em massa)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Perda ao fogo
Cal CHI	0.93	0.27	0.36	72.48	0.14	-	0.07	25.28

**Quadro 5: Propriedades físicas e químicas do silicato de sódio.**

Item analisado	Resultado	Item analisado	Resultado
Na <sub>2</sub> O (%)	16,217	Módulo de Sílica (SiO <sub>2</sub> / Na <sub>2</sub> O)	1,70
SiO <sub>2</sub> (%)	27,662	Densidade 25° C (g/l)	1,522
Partículas sólidas	43,879	Viscosidade 25 ° C (cP)	199
Água	56,121	° Be	49,50

### 3.2 Metodologia

Foram confeccionados blocos para compor uma estrutura hidráulica de proteção contra a ação de ondas marinhas para que, após 1 ano em meio marinho, pudesse ser avaliado o impacto que o concreto poderia causar no meio marinho e se realizar a caracterização da incrustação biológica marinha sobre os blocos.

A forma utilizada para os blocos, mostrada na Figura 1, foi definida levando em consideração as características de projeto de estruturas hidráulicas, a facilidade de produção dos blocos e de montagem da estrutura e a eficiência estrutural proporcionada pela geometria (MELBY; TURK, 1997).



**Figura 1 - Bloco da estrutura hidráulica de contenção de ondas.**

Os ativadores químicos utilizados foram selecionados, em estudo prévio e, de acordo com a bibliografia consultada, foram selecionados os materiais cimentícios e os ativadores que melhor atendiam aos requisitos do projeto (JOHN, 1995; SHY & DAY, 1995; SILVA, 1998; COLLINS & SANJAYAN, 1999; BAKHAREV *et al.*, 2000; ISAIA, 2003; BROUGH & ATKINSON, 2002; COELHO, 2002).

Foram, então, realizadas misturas com 4% Na<sub>2</sub>O do silicato de sódio (Mistura D4) e, como referência, a mistura de concreto com 50% CP III – 32 RS + 50% escória granulada de alto-forno (Mistura A), que utilizou as mesmas proporções de materiais da Mistura D4.

Para avaliação do impacto que a estrutura pode causar ao meio ambiente marinho foram construídos dois tanques dotados de sistema de bombeamento para simulação do efeito de marés. Em cada tanque foi colocada água do mar e no primeiro um bloco moldado com a mistura D4 (D4 (4% Na<sub>2</sub>O do silicato de sódio), enquanto o outro com a mistura A (50% escória + 50% de CPIII 32-RS). Foram medidos os parâmetros segundo as metodologias do Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (American Public Healthy Association 1995) sendo comparados com os parâmetros recomendados pela Resolução 357/2005 do CONAMA. O pH e a condutividade elétrica foram medidos três vezes por semana durante as duas primeiras semanas, passando, então, somente o pH

medido semanalmente. Os outros parâmetros foram medidos na água antes de receber o bloco e após um ano em contato com ele.



**Figura 2 – a) Blocos em ambiente marinho; b) blocos em tanques simulando o ambiente marinho.**

Para a caracterização da incrustação biológica marinha foram confeccionados 10 blocos da estrutura hidráulica de proteção contra a ação das ondas do mar, com cada mistura, que ficaram em ambiente marinho por 1 ano, como mostra a Figura 2b. Posteriormente foi realizada análise do nível taxonômico, da posição da superfície em relação à exposição ao sol e a realização da listagem em uma ordem sistemática de acordo com Brands (2005).

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1 Impacto ambiental

As concentrações de metais e não metais tóxicos foram avaliadas e estão mostradas no Quadro 6.

**Quadro 6 - Análise química da água e comparação com a Resolução 357/2005 do CONAMA.**

Parâmetros	Limite Classe 2	CPIII		Silicato	
		Início	Final	Início	Final
Alumínio total	–	< 0,2 mg/L	0,23 mg/L	< 0,2 mg/L	0,25 mg/L
Arsênio total	0,069 mg/L	< 0,05 mg/L	<0,01 mg/L	< 0,05 mg/L	< 0,01 mg/L
Cádmio total	0,04 mg/L	0,242 mg/L	0,125 mg/L	0,247 mg/L	0,122 mg/L
Cálcio total *		401,39 mg/L	589,612 mg/L	397,14 mg/L	688,033 mg/L
Chumbo total	0,21 mg/L	< 0,02 mg/L	0,059 mg/L	< 0,02 mg/L	0,025 mg/L
Cobre total	7,8 µg/L	0,140 mg/L	0,064 mg/L	0,116 mg/L	0,059 mg/L
Cromo hexavalente **	1,1 mg/L	< 0,05 mg/L	< 0,05 mg/L	< 0,05 mg/L	< 0,05 mg/L
Magnésio total *		181,51 mg/L	920,678 mg/L	185,31 mg/L	817,789 mg/L
Manganês total	–	0,061 mg/L	0,068 mg/L	0,105 mg/L	0,121 mg/L
Níquel total	0,074 mg/L	0,510 mg/L	0,676 mg/L	0,512 mg/L	0,731 mg/L
Sódio total *		10043,75 mg/L	3562,292 mg/L	10166,25 mg/L	3929,337 mg/L
Zinco total	0,12 mg/L	0,103 mg/L	0,067 mg/L	0,114 mg/L	0,034 mg/L
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)*		1749,73	5263,61	1754,77	5085,67

\* São parâmetros sem limites estabelecidos pela resolução 357/2005 do CONAMA.

\*\* Nesta versão da resolução somente existe limite para Cromo total e não Cromo hexavalente.

Cádmio, Cobre, Sódio e Zinco, apresentam valores finais menores do que os encontrados no início do projeto

Analisando os parâmetros individualmente chegou-se às seguintes conclusões:

Alumínio – não houve mudanças significativas, sendo que as amostras finais excederam pouco os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005.

Arsênio – manteve-se abaixo do limite de detecção da análise.

Cádmio – houve diminuição em ambos os blocos, para aproximadamente a metade do valor inicial, sendo que as amostras excederam em muito os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005.

Cálcio – houve aumento, esperado por haver grande quantidade desse elemento nos blocos.

Chumbo – mais presente no bloco confeccionado com a mistura A (50% escória + 50% de CPIII 32-RS) do que no bloco confeccionado com a mistura D4 (4% Na<sub>2</sub>O do silicato de sódio), sendo que as amostras finais excederam os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005. O chumbo ainda é utilizado em soldas de aço inox, sendo possível ser proveniente disso.

Cobre – houve diminuição em ambos os blocos, para aproximadamente a metade do valor inicial, porém, mesmo assim, as amostras excederam em muito os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005.

Cromo hexavalente – manteve-se abaixo do limite de detecção da análise.

Magnésio – houve aumento significativo nas concentrações, esse parâmetro não tem limite estabelecido na legislação, este parâmetro foi estabelecido para que dos resultados deste e do cálcio fosse calculada a dureza. Novamente houve um maior aumento no bloco ativado pelo CPIII.

Manganês – novamente os blocos causaram impactos diferentes, no bloco confeccionado com a mistura A (50% escória + 50% CP III 32-RS) manteve-se aproximadamente igual e abaixo do limite estabelecido na legislação, enquanto que no bloco confeccionado com a mistura D4 (4% Na<sub>2</sub>O do silicato de sódio) houve um pequeno acréscimo na concentração final, e ambas amostras ultrapassaram o limite estabelecido na resolução CONAMA 357/2005.

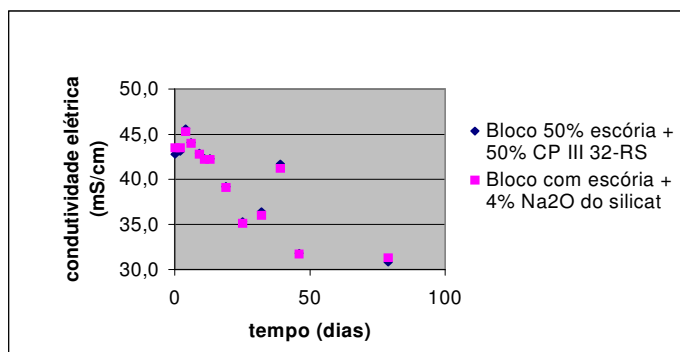
Níquel – houve aumento significativo nas concentrações e todas as amostras excederam em muito os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005. O aumento pode ser explicado pela presença do níquel como elemento de liga no aço utilizado na fabricação dos tanques.

Sódio – houve diminuição significativa nas concentrações, esse parâmetro não tem limite estabelecido na legislação. A diminuição pode ser explicada pela formação de sal nas paredes dos tanques, causado pela simulação de marés.

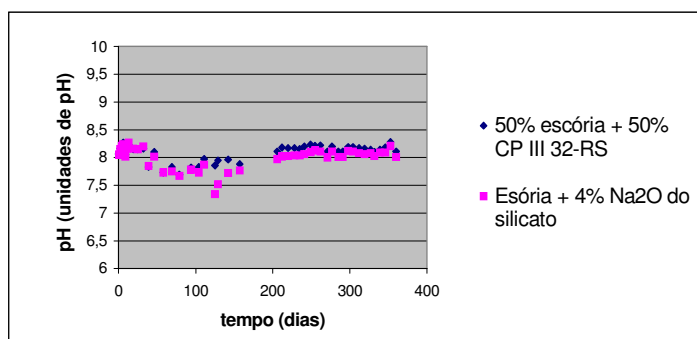
Zinco – as concentrações de ambos os blocos atingiu valores abaixo do limite estabelecido na resolução CONAMA 357/2005, sendo mais significativas no bloco ativado pelo silicato de sódio. Pode ter sido absorvido pelos blocos na forma de silicato básico de zinco, isso explicaria a maior diminuição no bloco ativado pelo silicato de sódio.

Na água onde se encontrava o bloco hidráulico confeccionado com a mistura D4 (escória + 4% de Na<sub>2</sub>O do silicato) observou-se que cádmio, chumbo, cobre, níquel, zinco e manganês estão fora do limite CONAMA, porém, somente o níquel, o chumbo e o manganês apresentaram aumento em sua taxa, comparando a água inicial com a final, enquanto, para os outros parâmetros houve redução. No entanto, cádmio e cobre, mesmo com a redução, ainda ultrapassaram o limite do CONAMA.

Os resultados do monitoramento da água dos tanques contendo os blocos com a mistura D4 (escória + 4% de Na<sub>2</sub>O do silicato) e o bloco com a mistura A (50% escória + 50% CP III 32-RS) através do pH e da condutividade elétrica estão apresentados nas Figuras 3 e 4.



**Figura 3 - Evolução da condutividade elétrica com o tempo para a mistura A (50% escória + 50% CP III 32-RS) e mistura D4 (escória + 4% de Na<sub>2</sub>O do silicato).**



**Figura 4 - Evolução do pH com o tempo, para a mistura A (50% escória + 50% CP III 32-RS) e mistura D4 (escória + 4% de Na<sub>2</sub>O do silicato).**

As flutuações do valor da condutividade elétrica podem ser explicadas pela deposição de sal nas paredes dos tanques e posterior dissolução deste sal, ocasionados pela oscilação do nível de água, podendo-se supor que o bloco não está alterando a condutividade, e como esse parâmetro não tem limite estabelecido pelo CONAMA, teoricamente, não geraria danos ao meio ambiente.

No início do experimento houve uma tendência de aumento de pH que não foi confirmada com o decorrer do tempo. As variações do pH parecem estar mais ligadas às incertezas do processo de medida do que à dissolução de compostos do bloco, não apresentando variações significativas ao longo do tempo. Assim, não irá alterar o pH do ambiente em que estiver, atendendo à Resolução 357/2005 do CONAMA

## 4.2 Caracterização da incrustação biológica marinha

Nos estudos de caracterização e fixação de invertebrados marinhos nos blocos da estrutura hidráulica foram encontrados vinte e quatro (24) táxons pertencentes a dois reinos e sete filos, sendo que três pertencem ao reino Plantae e cinco ao reino Animalia, e são apresentados no Quadro :

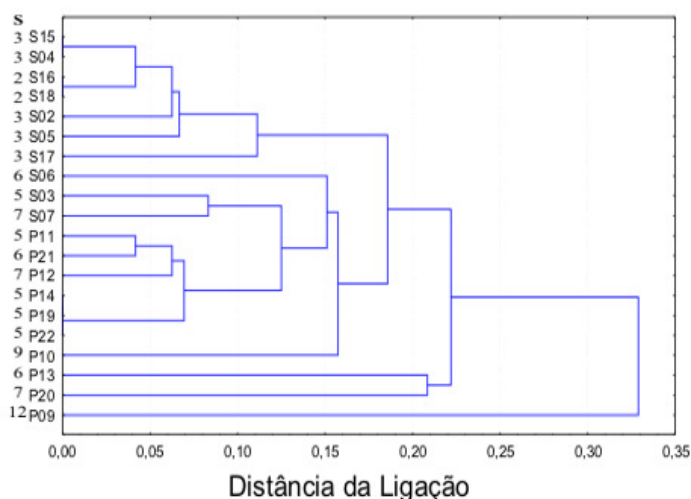
**Quadro 7 - Caracterização e fixação de invertebrados marinhos nos blocos da estrutura hidráulica.**

Reino Animalia	Reino Plantae
Filo Porifera	Filo Glaucophyta
Classe Desmospongiae	Classe Ulvophyceae
Morfoespécie 01	Ordem Caulerpales
Morfoespécie 02	Familia Udoteaceae
Filo Cnidária	<i>Halimeda</i> sp
Classe Hydrozoa	Filo Rhodophyta

<p>Ordem Hydroida</p> <p>Subordem Leptomedusae</p> <p>Família Serpulariidae</p> <p>Dinamena sp</p> <p>Filo Mollusca</p> <p>Classe Gastropoda</p> <p>Subclasse Prosobranchia</p> <p>Ordem Archaeogastropoda</p> <p>Família Fissurellidae</p> <p>Fissurela clenchi</p> <p>Família Acmaeidae</p> <p>Collisella</p> <p>Ordem Mesogastropoda</p> <p>Família Vermitidae</p> <p>Dendropoma anulatus</p> <p>Serpulorbis decussatus</p> <p>Família Calypteraeidae</p> <p>Crepidula sp</p> <p>Classe Pelecypoda</p> <p>Subclasse Pteriomorphia</p> <p>Ordem Ostreoida</p> <p>Família Ostreidae</p> <p>Crassostrea rhizophorae</p> <p>Ordem Mytiloidea</p> <p>Família Mytilidae</p> <p>Brachidontes sp</p> <p>Perna perna</p> <p>Filo Annelida</p> <p>Classe Polychaeta</p> <p>Ordem Sabellida</p> <p>Família Spirorbidae</p> <p>Spirorbis spirorbis</p> <p>Sabela sp</p> <p>Filo Bryozoa</p> <p>Classe Gymnolaemata</p> <p>Ordem Cheilostomata</p> <p>Subordem Ascophora</p> <p>Família Schizoporellidae</p> <p>Schizoporella sp</p> <p>Família Watersiporidae</p> <p>Watersipora sp</p> <p>Subordem Anasca</p> <p>Família Bugulidae</p> <p>Scrupullaria sp</p> <p>Filo Artropoda</p> <p>Classe Cirripedia</p> <p>Família Chthalamidae</p> <p>Chthalamus sp</p> <p>Balamus sp</p> <p>Tetraclita sp</p>	<p>Classe Florideophyceae</p> <p>Ordem Cryptonemiales</p> <p>Família Corallinaceae</p> <p>Corallina sp</p> <p>Lithothamnion sp</p>
--	--

A presença de cada táxon, em cada substrato, está apresentada no Quadro 4.10 onde se observa, no final do mesmo, o número de táxons correspondente a cada substrato.





**Figura 5 - Análise de cluster dos blocos de substrato com escória + 4% Na<sub>2</sub>O do silicato e com 50% escória + 50% CP III 32-RS submersos na região marinha costeira.**

Obs.: Os números alinhados verticalmente, à esquerda sob a letra S, mostram o número de espécies encontradas em cada substrato.

A biota encontrada nos substratos da mistura A (50% CP III - 32 RS + 50% escória) apresentou um número de espécies variando entre 9 e 20 táxons e cuja média (11,8) foi significativamente ( $P=0,005$ ) maior do que a encontrada nos substratos da mistura D4 (escória + 4% de Na<sub>2</sub>O do silicato) onde a média de táxons foi 7 e os valores mínimos e máximos táxons encontrados foi de 5 e 13 respectivamente.

Pode-se observar na Figura 5 a análise de cluster que mostra que os blocos confeccionados com a mistura D4 (escória + 4% de Na<sub>2</sub>O do silicato) se caracterizam por possuírem um menor número de táxons e os blocos confeccionados com a mistura A (50% CP III - 32 RS + 50% escória) possuem um maior número de táxons indicando que as espécies têm mais facilidade em se fixar nele ou, então, por estes blocos terem ficado, por mais tempo, submersos na mar, já que estes blocos ficaram em um nível ligeiramente inferior se comparado aos blocos da mistura D4 (escória + 4% de Na<sub>2</sub>O do silicato).

Como os blocos confeccionados com a mistura D4 (escória + 4% de Na<sub>2</sub>O do silicato) ficaram em nível mais alto, os dados observados podem refletir, apenas, a posição e não a propriedade para incrustação, pois quanto mais alta na região litorânea estiver um substrato duro, menor será o número de táxon que nele se fixará.

Os resultados permitem concluir que:

Com os dados finais da avaliação do impacto ambiental pode-se constatar que não houve variações significativas no meio ambiente.

Quanto à avaliação da incrustação biológica marinha sobre os blocos, pode-se considerar que estes, independente se confeccionados com a mistura A (50% escória + 50% CP III - 32 RS) ou mistura D4 (escória + 4% de Na<sub>2</sub>O do silicato), podem ser usados como recifes artificiais onde a vida marinha se desenvolve naturalmente.

## 5 REFERÊNCIAS

BAKHAREV, T.; SANJAYAN, J. G.; CHENG, Y. B. Effect of admixtures on properties of alkali-activated slag concrete. **Cement and Concrete Research**, 2000, v. 30, p. 1367-1374.

- BATTAGIN, A. F. SCANDIUZZI, L. **A utilização da Escória Granulada de Alto forno como Agregado Miúdo.** Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Boletim nº 95, 1990.
- BROUGH, A. R.; ATKINSON, A. Sodium silicate-based, alkali-activated slag mortars Part I. Strength, hydration and microstructure. **Cement and Concrete Research**, v. 32, p. 865-879, 2002.
- CAMARINI, Gladis. **Desempenho de misturas cimento Portland e escória de alto-forno submetidas à cura térmica.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.
- CINCOTTO, M. A., BATTAGIN, A. F. & AGOPYAN, V. **Caracterização de escória granulada de alto-forno e seu emprego como aglomerante e agregado.** Boletim 65, IPT. São Paulo, 1992.
- COELHO, M. A. M. **Estudo da carbonatação e retração em concretos de alto desempenho com elevados teores de escória de alto-forno.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2002. 180p.
- COLLINS, F.; SANJAYAN, J. G. Workability and mechanical properties of alkali activated slag concrete. **Cement and Concrete Research**, 1999, v. 29, p. 455-458.
- ESPER, M. W. **Contribuição ao estudo de algumas propriedades do cimento de alto-forno.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.
- GEYER, R. M. T.; DAL MOLIN, D. C. C.; VILELA, A. C. F. Caracterização e aplicações das escórias siderúrgicas na indústria da construção civil. In: V Encontro Regional Meio Ambiente na Indústria Siderúrgica. **Anais**. Vitória, 1995. p. ST V-1/1-1/2.
- ISAIA, *et al.* Como diminuir a despassivação da armadura e aumentar o desempenho do concreto estrutural com altos teores de adições minerais e cal hidratada. In: V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de concreto. **Anais**. 2003. São Paulo. SP. pp. 1-20.
- JOHN V. M. *et al.* Cimentos de escória de alto-forno sem clínquer. In: Resíduos industriais para redução de custos na construção habitacional. IPT/UFES. **Anais**. Vitória, 1994, p. 52-59.
- JOHN, V. M. **Cimentos de Escória Ativada com Silicatos de Sódio.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.
- MELBY, J. A.; TURK, G. F. Core-Loc Concrete Armor Units. **US Army Corps of Engineers. Waterways Experimental Station**. Technical Report CHL-97-4. 1997.
- RIBEIRO, C. C. *et al.* **Estudo do aproveitamento da escória de alto-forno como agregado miúdo na produção de argamassa e concreto,** Projeto de pesquisa da Escola de Engenharia Civil da Universidade de Minas Gerais, 1990.
- SCANDIUZZI, Luécio. BATTAGIN, Arnaldo F. **A Utilização da Escória Granulada de Alto Forno como Agregado Miúdo.** Estudo Técnico nº 95. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 1990.
- SHI, C.; DAY, R. L. A calorimetric study of early hydration of alkali-slag cements. **Cement and concrete Research**, 1995, v. 25, n. 6, p. 1333-1346.
- SILVA, E.; ALMEIDA, C. Escória de Alto Forno Granulada como Agregado Miúdo para Argamassa e Concreto. In: I Simpósio Nacional de Agregados. **Anais**. 1986.
- SILVA, M. G. **Influência da cura térmica em pastas e argamassas de cimento de escória.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

## 6 AGRADecIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST - ARCELOR), à FINEP e ao CNPq por fomentar este trabalho. Agradecemos, também, à Fábrica de Cimento Nassau, à Diaton, à Ical, à Holcim e à Mizu por fornecerem os materiais.