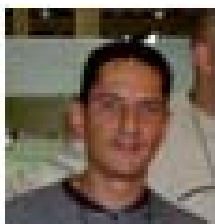


Estudo por meio de strain gages do comportamento do concreto estrutural convencional e reciclado



**Júnia Nunes de
Paula Stief¹**



**Nilton da Silva
Maia²**



**Ricardo André
Fioritti Peixoto³**

RESUMO: O artigo descreve os ensaios de caracterização das propriedades mecânicas do concreto, convencional e reciclado de escória de aciaria, com resistência à compressão mínima prevista aos 28 dias de 30 MPa.

Os ensaios de resistência à compressão aos 28 dias foram realizados com extensômetros de resistência elétrica (*strain gages*) e com *clip gages* para determinação do módulo de elasticidade dos dois tipos de concreto.

O objetivo é caracterizar um concreto com agregados de escória de aciaria para ser utilizado em elementos estruturais.

PALAVRAS CHAVE: Concreto armado, extensometria, escória, resíduo, aquisição de sinais.

¹Mestrando, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Brasil. juniapstief@ig.com.br

²Professor Doutor, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Brasil. niltonmaia@civil.cefetmg.br

³Professor Doutor, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Brasil. fiorotti@civil.cefetmg.br

1. INTRODUÇÃO

A escória da aciaria obtida mediante a transformação do ferro gusa líquido e sucata em aço possui características físicas e mecânicas iguais ou superiores aos agregados naturais [1].

A reciclagem da escória de aciaria tem sido adotada pela indústria siderúrgica sendo uma das alternativas a sua utilização na construção civil.

O concreto armado produzido com agregado de escória de aciaria é uma alternativa do ponto de vista ambiental por oferecer uma destinação a esses resíduos e por reduzir o consumo de reservas naturais.

O concreto é um material heterogêneo constituído por cimento, água e agregados.

Os agregados correspondem a 70% do volume do concreto e influenciam suas propriedades como a trabalhabilidade, resistência, módulo de elasticidade, densidade e durabilidade.

Para o concreto estrutural as propriedades mais importantes são: a capacidade resistente e o módulo de elasticidade.

A extensometria é uma técnica, experimental, utilizada para determinação das propriedades mecânicas para materiais consolidados no mercado como para novos materiais. Outra aplicação é acompanhamento de seu comportamento durante serviço [2].

A extensometria permite medir as deformações reais em serviço para as estruturas de interesse. Por meio desta técnica é possível aprimorar os modelos físicos e matemáticos que permitem descrever o comportamento das estruturas reais em operação.

O estudo refere-se a comparação das propriedades mecânicas do concreto convencional e reciclado para o concreto com resistência à compressão mínima prevista aos 28 dias de 30 MPa.

Os ensaios realizados foram:

- Resistência à compressão em corpos-de-prova de concreto convencional e reciclado;
- Resistência à tração por compressão diametral em corpos-de-prova de concreto convencional e reciclado;
- Módulo de Elasticidade do concreto convencional e reciclado, com utilização de *clipe gage* e *strain gage*.

Os ensaios nos corpos-de-prova de concreto convencional e reciclado foram realizados nas idades de 3, 7 e 28 dias. Os resultados obtidos permitiram, nesta fase do estudo, a comparação dos valores obtidos para os dois tipos de concreto.

2. COMPOSIÇÃO E FABRICAÇÃO DOS CONCRETOS: CONVENCIONAL E RECICLADO.

Os materiais utilizados para composição e fabricação dos concretos a serem utilizados foram: cimento CPV-ARI-RS da marca CAUÊ, areia lavada grossa natural Supermix, brita 0 calcária Supermix, brita 1 calcária Supermix, escória granulada de aciaria proveniente da Açominas com diâmetros de 0 a 4,8mm, 9,5 a 12,5mm e 12,4 a 25mm.

A escolha do cimento CPV ARI- RS (resistente à sulfatos) deveu-se à necessidade de obtenção de alta resistência inicial, característica básica deste tipo de cimento.

O primeiro passo para dosagem dos dois tipos de concreto foi a caracterização física dos materiais constituintes.

Os ensaios realizados para a caracterização física dos agregados naturais e reciclados foram:

- Granulometria;
- Massa Específica

- Massa Unitária;
- Teor de umidade;
- Teor de material pulverulento.

A tabela 1 apresenta os dados obtidos nos ensaios de caracterização dos agregados.

Tabela 1: Caracterização física dos agregados naturais e reciclados

Material	Massa Específica (g/cm ³)	Massa Unitária (kg/dm ³)	Teor umidade (%)	Pulverulento (%)
Areia	2,57	1,45	5,3	0,4
Escória (0-4,8)	3,06	1,74	10,2	9,0
Brita 0	2,42	1,37	3,2	
Escória (9,5-12,5)	2,88	1,76	6,5	
Brita 1	2,61	1,37	2,8	
Escória (12,5-25)	2,94	1,73	4,9	

O traço do concreto adotado foi o pesquisado pelo Grupo de Pesquisa Reciclos do CEFET-MG [3]. A tabela 2 apresenta o traço para o concreto convencional C30.

Tabela 2: Traço do concreto convencional C30.

C30 convencional	cimento	Areia	Brita 0	Brita 1	Fator A/C
Peso (kg)	1,00	2,00	0,44	2,26	0,6

A tabela 3 apresenta o traço para o concreto reciclado C30.

Tabela 3: Traço do concreto reciclado C30.

C30 reciclado	cimento	Escória 0-4,8mm	Escória 9,5-12,5mm	Escória 12,5-25mm	Fator A/C
Peso (kg)	1,00	2,65	1,49	1,49	0,6

O fator água-cimento para os dois tipos de concreto foi fixado de acordo com a [4] que prevê para a classe de agressividade ambiental II, urbana, um fator água-cimento menor ou igual a 0,6.

A consistência do concreto fresco foi determinada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone do concreto [5], denominado de *Slump*.

O concreto convencional apresentou um *slump* de 15 cm e o concreto reciclado um *slump* de 2,5 cm. A figura 1 apresenta o *slump* do concreto convencional e a figura 2 o *slump* do concreto reciclado respectivamente.



Figura 1: *Slump* do concreto convencional



Figura 2: *Slump* do concreto com escória

Foram moldados 24 corpos-de-prova de Ø 10x20 cm para cada tipo de concreto de acordo com [6]. Os corpos-de-prova foram submetidos à cura úmida.

3. ENSAIOS REALIZADOS

3.1 Ensaio de resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão foram realizados nos corpos-de-prova moldados aos 3, 7 e 28 dias respectivamente, de acordo com [7].

Foram testados três corpos-de-prova para cada tipo de concreto e idade.

Os corpos-de-prova, após capeamento necessário, são colocados em uma prensa. O carregamento da máquina deve ser contínuo até a ruptura do concreto.

O resultado é expresso em MPa e corresponde à relação entre a carga de ruptura e a seção transversal do corpo-de-prova.

A figura 3 apresenta a montagem do ensaio de resistência à compressão.



Figura 3: Montagem do ensaio de resistência à compressão

3.2 Ensaio de tração por compressão diametral

O ensaio de tração por compressão diametral, desenvolvido por Lobo Carneiro, consiste na aplicação de uma força até a ruptura em corpos-de-prova cilíndricos colocados com o eixo horizontal entre os pratos da prensa. A ruptura se dá por fendilhamento.

De acordo com [4] o valor para a tração simples é dado pela equação (1).

$$f_{ct,m} = 0,9 f_{ct,sp} \quad (1)$$

sendo,

f_{ct} – resistência do concreto à tração simples.

$f_{ct,sp}$ – média dos valores de resistência à compressão diametral.

A figura 4 apresenta a montagem do ensaio de tração por compressão diametral.



Figura 4: Montagem do ensaio de tração por compressão diametral

3.3 Ensaio do Módulo de Elasticidade

O ensaio de determinação do módulo de elasticidade foi realizado na idade de 28 dias para os corpos-de-prova de concreto convencional e reciclado. O ensaio realizou-se com a aplicação de uma carga axial de compressão aplicada incrementalmente.

Os corpos-de-prova foram instrumentados por *clipe gage* e *strain gages* uniaxiais.

Os *strain gages* foram colados em posições diametralmente opostas, longitudinalmente e transversalmente. Deste modo, os *strain gages* são capazes de medir as deformações nas direções longitudinais e transversais.

A ligação dos *strain gages* foi a 4 fios no sistema de aquisição de dados HP 3497A.

O módulo de elasticidade pode ser determinado pela relação entre tensão e deformação para os dois tipos de concreto.

A figura 5 apresenta a montagem para o ensaio de módulo de elasticidade aos 28 dias.



Figura 5: Montagem do ensaio de determinação do módulo de elasticidade

4. RESULTADOS DOS ENSAIOS

4.1 Resistência à compressão

A avaliação da resistência à compressão foi realizada em corpos-de-prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura para os concretos convencional e reciclado.

A figura 6 apresenta a variação da resistência à compressão com a idade e tipo do concreto.

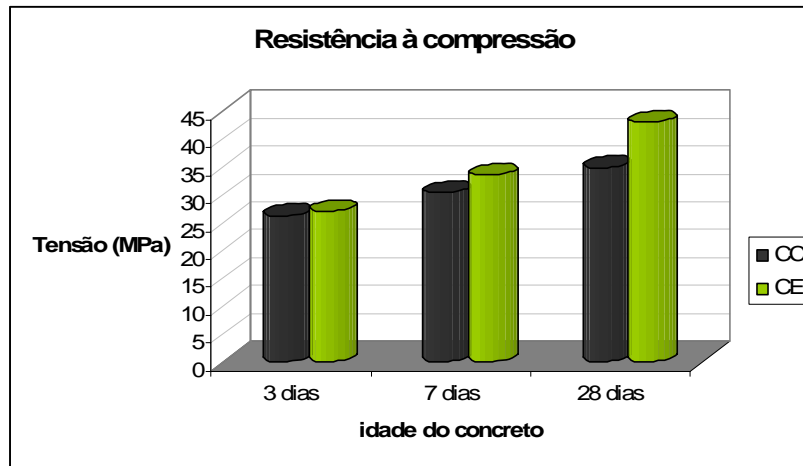


Figura 6: Variação da resistência à compressão de acordo com a idade e tipo do concreto

4.2 Resistência à tração por compressão diametral

O ensaio foi procedido para as idades de 3, 7 e 28 dias, sendo testados 3 corpos-de-prova para cada tipo de concreto e idade.

O valor apresentado para cada idade corresponde à média das determinações.

A figura 7 apresenta a variação da resistência à tração por compressão diametral para os dois tipos de concreto.

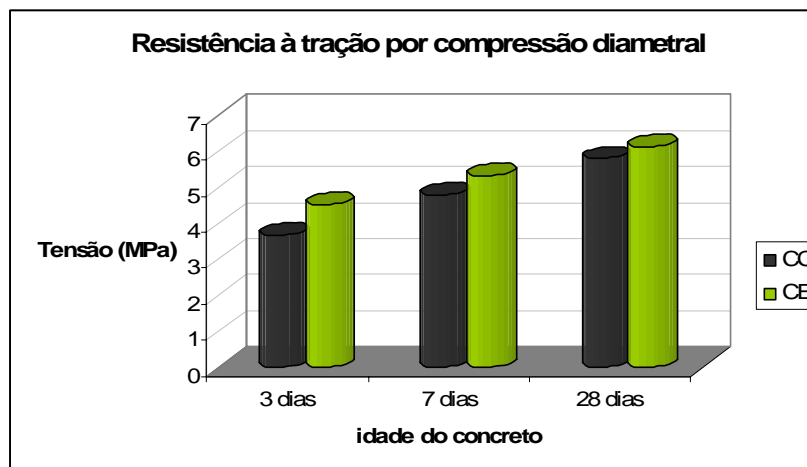


Figura 7: Variação da resistência à tração por compressão diametral por idade e tipo de concreto

4.3 Módulo de Elasticidade

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade foi realizado aos 28 dias, sendo testados 3 corpos-de-prova para cada tipo de concreto estudado.

As variações de resistência elétrica apresentadas pelos *strain gages* foram processadas pelo sistema de aquisição de dados HP 3497 A.

Os dados do *clipe gage* foram processados pelo programa *Tesc* (versão 3.04) da máquina EMIC DL30000N do Laboratório de Comportamento Mecânico do Departamento de Engenharia Civil do CEFET-MG.

A tabela 4 apresenta os resultados obtidos pelo programa *Tesc* com a utilização do *clipe gage* para os 3 corpos-de-prova de concreto convencional e os 3 corpos-de-prova de concreto reciclado.

Tabela 4: Valores obtidos pelo *clipe-gage* para módulo de Elasticidade dos concretos convencional e reciclado

Corpos de prova	Força máxima (kN)	Tensão Máxima (MPa)	Ec (GPa)
CC13	273,79	34,86	31,86
CC14	281,15	35,80	35,84
CC15	294,78	37,53	34,84
CE13	290,58	37,00	39,43
CE14	386,63	49,23	34,19
CE15	359,38	45,76	37,57

Os dados obtidos pelos *strain gages* foram trabalhados e as deformações máximas calculadas.

A figura 8 apresenta a curva da variação da resistência elétrica do *strain gage* pelo tempo e da força aplicada pelo tempo para o canal 105 do corpo-de-prova CC14, que corresponde a um dos *strain gages* longitudinais.

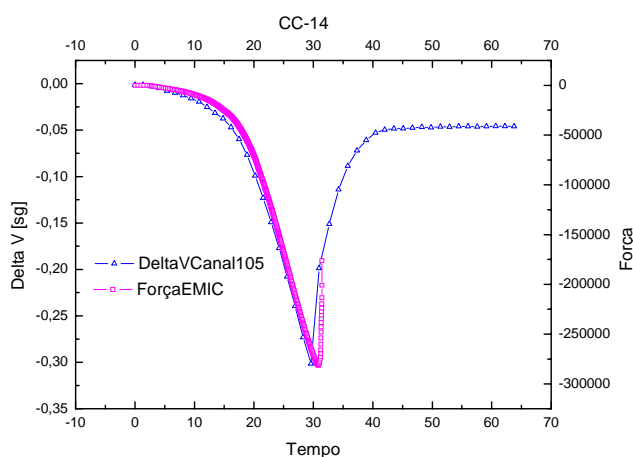


Figura 8: Gráfico de variação da resistência elétrica e da força aplicada pelo tempo para o canal 105 do CC14.

De acordo com os gráficos obtidos pode-se concluir que o desempenho dos *strain gages* foi compatível com a força máxima aplicada pela máquina.

De acordo com [4], o módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial do concreto armado é dado pela equação (2).

$$E_{ci} = 5600\sqrt{\sigma_c} \quad (2)$$

sendo,

E_{ci} - módulo de deformação tangente inicial em MPa.

σ_c - resistência característica do concreto à compressão em MPa.

A figura 9 apresenta o gráfico comparativo entre os valores do módulo de elasticidade teórico e experimental encontrados para os concretos convencional e reciclado.

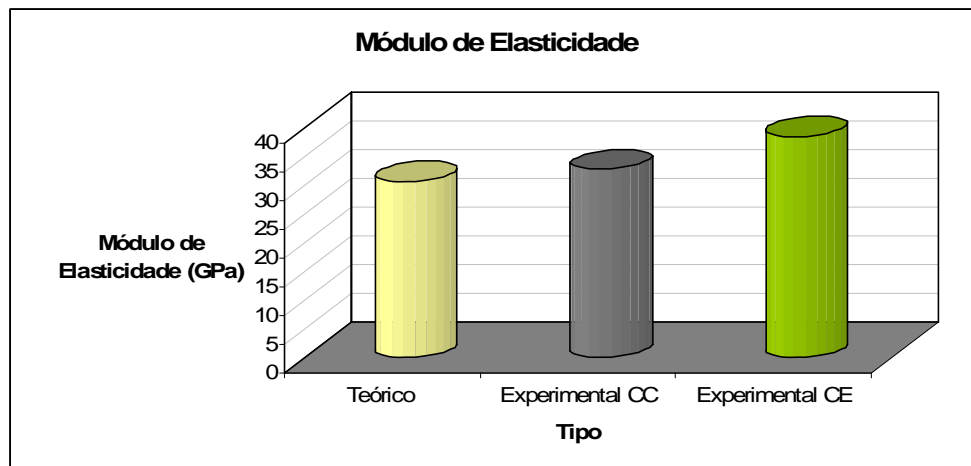


Figura 9: Gráfico comparativo entre os valores do módulo de elasticidade teórico e experimental.

5. CONCLUSÕES

O concreto convencional e o concreto reciclado apresentaram aos 3 dias resistências à compressão de 26,23MPa e 27 MPa, respectivamente.

Na idade de 7 dias o concreto reciclado apresentou resistência à compressão mais elevada.

Na idade de 28 dias o concreto reciclado apresentou resistência à compressão de 43 MPa e o concreto convencional de 34,86 MPa.

Os valores de resistência à tração por compressão diametral encontrados são compatíveis com as idades para os dois tipos de concreto, tendo o concreto reciclado apresentado valores superiores ao concreto convencional em todas as idades.

A média dos valores do módulo de elasticidade verificada para o concreto reciclado foi superior à média dos valores do módulo de elasticidade verificada para o concreto convencional e ao valor teórico previsto.

O concreto reciclado apresentou maior rigidez para a composição estudada o que pode indicar um comportamento ao carregamento diferente do concreto convencional.

Os resultados apresentados são importantes para o estudo da viabilidade da utilização do concreto estrutural com substituição dos agregados naturais por agregados de resíduos da indústria siderúrgica, a escória de aciaria.

6. AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PPGEC do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG; à Fundação Cefetminas e ao Grupo de Pesquisa RECICLOS, pelo apoio ao trabalho realizado.

7. REFERÊNCIAS

- [1] FREITAS, A.S; *Contribuição ao estudo do desempenho produzido com agregado graúdo de escória de ferro-cromo*, tese, UFRG, Brasil, 2001.
- [2] MAIA, N.S; *Estudo analítico experimental de tensões em um desaerador de usina termelétrica*, dissertação, UFMG, Brasil, 1998.
- [3] PEIXOTO, R.A.F et all; *Proposal for application of steel slag in the production of cement Portland concret* , XXXIXst International Steelmaking Seminar of the ABM, May, 2008, PR – Brasil.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118, *Projeto de estruturas de concreto armado*, Brasília, 2003.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 67, *Concreto , determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*, 1998.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5738, *Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos*, Rio de Janeiro, 1994.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5739, *Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*, Rio de Janeiro, 1994.