



Produção de ligantes para argamassa obtida a partir da reciclagem de resíduo sólido de siderurgia – Escória de Forno Panela

Production of binders for mortar obtained from the recycling of solid waste steel industry - Ladle Furnace Slag

Ana Luiza Borges Marinho (1); Luiza Carvalho Franco (2); Pedro Apolinario Chibli (3); Guilherme Brigolini da Silva (4); Ricardo Fiorotti Peixoto (5)

(1) *Mestranda em Engenharia Estrutural e de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto*

(2) *Mestranda em Engenharia Estrutural e de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto*

(3) *Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto*

(4) *Engenheiro Civil, DSc, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto*

(5) *Engenheiro Civil, DSc, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto*
alborgesmarinho@gmail.com

Resumo

A preocupação ambiental diz respeito, entre outras coisas, ao consumo excessivo ou ineficiente de recursos naturais não renováveis (LEITE, 2001). A indústria da construção civil, uma das maiores consumidoras de recursos naturais, impacta cada vez mais o meio ambiente. Nas siderurgias são geradas 0,7 a 1,3 milhões de toneladas por ano de escória de forno panela (EFP), segundo Instituto de Aço Brasil. Pelo fato de que a siderurgia lida com quantidades imensas de matérias-primas e energia, o seu impacto ambiental sempre foi expressivo.

Tendo em vista esse panorama, apresenta-se essa proposta a fim de contribuir no desenvolvimento de novas possibilidades de produtos de base tecnológica para aplicação na construção civil, a partir da obtenção de um aglomerante para argamassas mistas através da utilização da EFP em substituição à cal hidratada. A EFP utilizada neste trabalho apresentou significativos teores de silicatos de cálcio e silicato de magnésio. A determinação da pozolanicidade desse rejeito bruto indicou fraca pozolanicidade. Com pós-processamento em laboratório, foi possível produzir um aglomerante EFP isento de contaminantes e com características físicas semelhantes àsquelas obtidas para os aglomerantes usuais. Foram ainda produzidas argamassas mistas de cimento Portland, cal e EFP; em que observou-se comportamento mecânico semelhante para essas matrizes, assim como nos parâmetros de trabalhabilidade, retenção de água, incorporação de areia, plasticidade e consistência.

Palavra-Chave: materiais de construção, aglomerantes, argamassa, reciclagem, sustentabilidade.

Abstract

The environmental concern include, among other things, the excessive or inefficient consumption of non-renewable natural resources (LEITE, 2001). The construction industry, one of the largest consumers of natural resources, impacts the environment increasingly. In steel mill are generated 0.7 to 1.3 million tons of ladle furnace slag (LFS), according Steel Institute of Brazil. For the fact that the steel mill deals with huge amounts of raw materials and energy, the environmental impact has always been expressive.

Given the scenario, presents this proposal to contribute to the development of new possibilities of technology based products for use in construction, from obtainment of a binder for mixed mortar using LFS to replace hydrated lime. The LFS used showed significant levels of calcium silicates and magnesium silicate. The determination of pozzolanicity this gross waste indicated a weak pozzolanicity. With post-processing in the laboratory, it was possible to produce a LFS binder free of contaminants and physical characteristics similar to those obtained for the usual binders. Were also produced mixed mortars Portland cement, lime and LFS; that observed for these same matrices mechanical behavior as well as parameters such as workability, water retention, addition of sand, plasticity and consistency.

Keywords: construction materials, binders, mortar, recycling, sustainabiliy.



1 Introdução

A indústria da construção civil é considerada uma das maiores consumidoras de matérias primas naturais, contribuindo assim, de maneira relevante, para uma grande degradação do meio ambiente. Segundo John (2000) a construção utiliza entre 20 a 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade. São calcários, argilas, areias, entre outros. É uma voraz consumidora de água e energia, no processo construtivo, na produção dos materiais, criando um ciclo que eleva a geração dos resíduos e a extinção gradativa dos recursos naturais. Só no Brasil, o consumo de argamassas para assentamento de blocos e revestimento é em torno de 100 milhões de toneladas por ano (ABAI, 2009).

Antes, assunto que se limitava aos estudiosos e militantes, a questão do meio ambiente tornou-se tema mundial e hoje encontra-se presente nos mais diversos segmentos da sociedade. A preocupação com a preservação do meio ambiente já é vista como prioridade pelo poder público e, a adesão da sociedade se faz cada vez mais necessária (OLIVEIRA, 2008).

Perante isso, a engenharia moderna vem sendo obrigada a trabalhar considerando variáveis básicas e que foram historicamente ignoradas: responsabilidade ambiental, responsabilidade social e sustentabilidade. O fato é que, a engenharia deve se aproximar das reais necessidades humanas, principalmente porque a indústria da construção civil é protagonista no cenário atual de poluição ambiental (DEL CARLO, 2008).

A mudança de mentalidade quanto ao uso de materiais sustentáveis, amplamente discutida nos foros nacionais e internacionais, nos últimos anos, tem mobilizado a opinião pública e assumido um papel preponderante nas comunidades.

Assim, o aproveitamento de resíduos na construção civil está se tornando cada vez mais frequente, já que os materiais alternativos geralmente são mais baratos e, muitas vezes, possuem características de resistência e durabilidade melhores que os materiais convencionais.

Outro fator importante, que faz com que as pesquisas na área se desenvolvam a cada dia é o fato que muitos rejeitos, sejam industriais ou urbanos, acabam por poluir o meio-ambiente, causando problemas de armazenagem de certos produtos. Nos processos pirometalúrgicos, além da fase líquida constituída pelo banho metálico, está quase sempre presente uma fase líquida de natureza não-metálica, denominada escória (LÚCIO, 1981).

Segundo a NBR 13281/ 2005, argamassas são materiais de construção com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir de mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água, podendo conter aditivos ou adições minerais, e ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

Têm grande uso na construção civil no assentamento de alvenarias e no revestimento em geral, emboço, reboco ou revestimento de camada única de paredes e tetos.

A cal é um aglomerante inorgânico, produzido a partir de rochas calcárias, composto basicamente de cálcio e de magnésio, que se apresenta como um pó muito fino. (CINCOTTO, 1995). Existem dois tipos de cales: cal aérea (cal virgem e cal hidratada) e a cal hidráulica.

Do ponto de vista técnico, a cal pode proporcionar às argamassas qualidade de desempenho com relação à função de aglomerante, à melhora na trabalhabilidade, ao

aumento da resistência à penetração e à capacidade de retenção de água, além da contribuição na questão da deformabilidade e da resistência.

Do ponto de vista econômico, a cal hidratada também confere vantagens às argamassas. A utilização da cal representa diminuição do custo do metro cúbico da argamassa, por permitir usar uma maior quantidade de agregados para uma mesma quantidade de cimento. (GUIMARÃES, 1998).

A cal hidratada para argamassas deve obedecer à NBR 7175/2003. Essa norma especifica os requisitos exigidos no recebimento da cal hidratada, a ser empregada em argamassas para a construção civil. Os valores estabelecidos pela ABNT são máximos e mínimos e contemplam as características físicas e químicas, ilustradas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Exigências químicas da norma NBR 7175/2003

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Anidrido carbônico (CO ₂)	Na fábrica	<5%	<5%	<13%
	No depósito ou na obra	<7%	<7%	<15%
Óxido não-hidratado calculado		<5%	Não exigido	<5%
Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO + MgO)		>88%	>88%	>88%

Tabela 2 – Exigências físicas da norma NBR 7175/2003

Determinações		Limites	
		CH-I e CH-II	CH-III
Finura (% retida acumulada)	Peneira 0,600 mm (nº 30)	<0,5%	<0,5%
	Peneira 0,075 mm (nº 200)	<15%	<15%
Estabilidade		Ausência de cavidades e protuberâncias	Ausência de cavidades e protuberâncias
Retenção de água		>80%	>700%
Plasticidade		>110%	>110%
Incorporação de areia		<2,5%	<2,2%

Considerando a geração de rejeitos pela indústria siderúrgica e o consumo de materiais naturais pela construção civil, este trabalho pretende contribuir para a sustentabilidade destes setores, sugerindo produção de um aglomerante para argamassas, produzido a partir da reciclagem da escória de forno panela.

2 Programa Experimental

2.1 Materiais

2.1.1 Escória de forno panela

A escória de Forno Panela (EFP), utilizada neste trabalho consiste de subproduto da fabricação do ferro gusa e do aço. São impurezas que, por serem muito leves, ficam como o sobrenadante na massa líquida de ferro ou aço, a altas temperaturas. Em condições ambientes, apresenta-se no estado sólido, de cor clara, conforme ilustrado na Figura 1.1, apresentada a seguir.

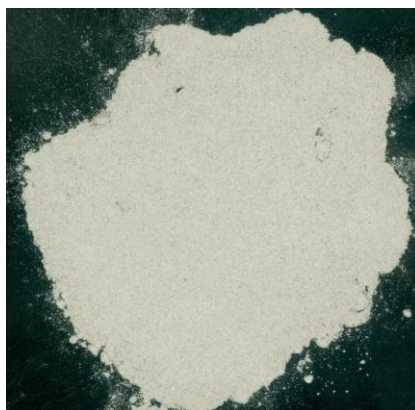


Figura 1 - amostra de EFP

As amostras utilizadas neste experimento foram obtidas de uma indústria siderúrgica com unidade de produção localizada na região leste do Brasil. A análise química para escória utilizada é representada na Tabela 3, a seguir.

Tabela 3 – Análise Química do material utilizado.

Análise Química	%
CaO	57,3-64,4
MgO	6,15-8,37
SiO ₂	24,5-36,8
Al ₂ O ₃	1,08-3,94
P ₂ O ₅	0,14-0,29
Cr ₂ O ₃	0,37-1,42
MnO	0,17-1,64
Feo	0,68-4,55

O rejeito (EFP) utilizado como aglomerante foi granulometricamente separado e a fração de material passante na peneira n°200 foi utilizada nos ensaios realizados.

O material bruto também foi processado para determinação do teor de constituintes metálicos ferrosos segundo protocolo do grupo RECICLOS (REC-01/2012). As amostras foram coletadas de forma representativa e armazenadas em recipientes hermeticamente fechados, para o procedimento das análises, conforme a NBR 6471/1998.

2.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado neste trabalho consiste de material quartzoso apresentado fisicamente como areia normal brasileira, conforme NBR 7214/1982.

2.1.3 Cal hidratada

Para realização dos ensaios utilizou-se cal hidratada CH-III (CH), adquirida em mercado local. A cal foi armazenada e, acondicionada hermeticamente fechada em recipiente plástico.

2.1.4 Cimento



O cimento utilizado foi do tipo CP III RS, adquirido em mercado local, cuja marca corresponde a uma das mais procurada na região. O cimento foi armazenado e, acondicionado hermeticamente fechado em recipiente plástico.

2.1.5 Hidróxido de Cálcio

O Hidróxido de Cálcio utilizado neste trabalho consiste de um reagente utilizado convencionalmente para a produção de argamassas e concretos em obras de arte corrente de engenharia. Em condições ambientes, se apresenta no estado sólido, de cor branca, pouco solúvel em água, com pH de 12,8, densidade de 2,2 g/cm³ e ponto de fusão de 580°C, comercialmente apresentado em embalagens plásticas.

2.1.6 Solução de Hidróxido de Cálcio

A solução de hidróxido de cálcio utilizada no trabalho foi preparada em recipientes contendo 200 ml de água destilada e 1,2g de hidróxido de cálcio mantidos em um agitador magnético, por 20 minutos de constante agitação, para a homogeneização completa. As soluções foram filtradas e colocadas novamente no agitador magnético para o monitoramento e leitura do pH e da condutividade elétrica.

2.2 Métodos

2.2.1 Caracterização dos aglomerantes

Para caracterização da EFP e da CH, foram realizadas determinações para análise granulométrica (NBR NM248/2003), massa específica (NBR NM23/2000); teor de umidade (NBR9939/2011); teor de materiais metálicos RECICLOS, (REC 001/2011); índice de atividade pozolânica (NBR 5751/1992 e NBR 5752/1992) e LUXAN, (1988); índice de finura (NBR NM46/2003) (NBR9289/2000); determinação da consistência normal (NBR 14399/1999); determinação da estabilidade (NBR 9205/2001); determinação da retenção de água (NBR 9290/1996); capacidade de incorporação de areia (NBR 9207/2000), e determinação da plasticidade (NBR 9206/2003).

As determinações foram conduzidas para pastas e argamassas de EFP, comparativamente a pastas de CH, conforme prescrições normativas, NBR 7175/2003.

2.2.1.1 Índice de atividade pozolânica com a cal - NBR

O ensaio para a determinação do índice de atividade pozolânica com cal, foi conduzido segundo prescrições normativas estabelecidas à NBR 5751/1992. Trata-se de um método físico de determinação da pozolanicidade.

Para a determinação da atividade pozolânica são necessárias proporções para os materiais; sendo:

- Cal hidratada: 1 → 104g
- Areia: 9 → 936g (234g de cada uma das quatro frações da areia normal)
- Material Pozolânico: igual ao dobro do volume da cal hidratada, quantidade do material pozolânico calculada pela equação 2.1.

$$m = 2 * \frac{\delta_{poz}}{\delta_{cal}} * 104g \text{ (Equação 2.1)}$$



Onde δ poz e δ cal são, respectivamente, os valores da massa específica do material pozzolânico e da cal hidratada, determinados de acordo com a NBR NM 23/2000.

Após dosagem dos traços, foram moldados 3 (três) corpos-de-prova para as argamassas produzidas com CH e EFP.

Para um período de cura de 7 (sete) dias, os corpos-de-prova foram desmoldados cuidadosamente e assim determinado o índice de pozzolanidade de cada amostra, dada pela média de resistência à compressão, em MPa, dos 3 (três) exemplares.

2.2.1.2 Índice de atividade pozzolânica com o cimento - NBR

O ensaio para a determinação do índice de atividade pozzolânica com cimento, foi conduzido segundo prescrições normativas estabelecidas à NBR 5752/1992. Duas argamassas foram preparadas com o proporcionamento e a consistência padronizados. A primeira argamassa tem o traço 1:3 (em massa) de cimento e areia normal, ajustando-se a água para um índice de consistência de (225 ± 5) mm conforme NBR 7215/1982; na segunda, 35% do volume de cimento utilizado na primeira argamassa foi substituído por EFP.

O método de ensaio foi avaliado em função do desempenho mecânico das duas argamassas, aos 28 dias.

2.2.1.3 Índice de atividade pozzolânica através do Método de Luxan

O ensaio para a determinação do índice de atividade pozzolânica, foi conduzido segundo método, proposto por LUXAN et al. (1989) que classifica o material quanto a sua pozzolanidade por meio da variação de condutividade de uma solução saturada de Ca(OH)_2 antes e depois de 2 minutos da pozzolana ser adicionada e misturada de forma contínua na solução a 40°C.

2.2.1.4 Determinação da finura

A CH e EFP foram submetidas ao ensaio de determinação da finura conduzido segundo prescrições normativas estabelecidas às NBR NM 46/03 e NBR 9289/2000.

Neste ensaio consideram-se as partículas minerais com dimensão inferior a 0,075 mm, inclusive os materiais solúveis em água, presente no material.

O ensaio consiste basicamente na lavagem do material de massa conhecida sobre o jogo de peneiras com abertura de malha de 0,075 mm (nº 200) e 1,18 mm (nº 30) até que a água esteja clara e assim verificar quanto de material ficou retido em cada peneira.

2.2.1.5 Determinação da consistência normal

O ensaio para a determinação da água que confere consistência normal à pasta foi conduzido segundo prescrições normativas estabelecidas à NBR 14399/1999.

Para determinação da pasta de consistência, utilizou-se o aparelho de Vicat modificado. A consistência da pasta é considerada normal quando seu índice de consistência for igual a (20 ± 2) mm, para pastas CH e EFP.

2.2.1.6 Determinação da estabilidade

O ensaio para a determinação estabilidade de CH e EFP para argamassas, mediante observação visual, foi conduzido segundo prescrições normativas estabelecidas à NBR 9205/2001.



Para determinação dos resultados de estabilidade, produziram-se corpo de prova com o traço 1:4 (em massa); com massa de água ajustada para a consistência de (280 ± 5) mm. Imediatamente após a preparação da massa espalharam-se camadas com aproximadamente 5mm de espessura dessa argamassa em placas de vidro, com um acabamento mais liso. Essas placas permaneceram em repouso por (18 ± 2) h à temperatura de $(40 \pm 5)^\circ\text{C}$. Após esse período, procedeu-se observação de ocorrências relativamente ao surgimento de protuberâncias e/ou pipocamentos (1ª observação).

Após a primeira observação as placas de vidro foram mantidas em ambiente saturado (RH=100%), a temperatura 100°C , constante durante 5 h.

Após período de imersão em vapor, procedeu-se à 2ª observação, relativamente ao surgimento de protuberâncias e/ou pipocamentos.

2.2.1.7 Determinação da retenção de água

O ensaio de retenção de água para argamassas CH e EFP, através de funil de Buchner modificado, foi conduzido segundo prescrições normativas estabelecidas à NBR 9290/1996.

A argamassa ensaiada foi produzida com traço 1:3 (em massa). A quantidade de água no recipiente foi ajustada para o índice de consistência normal dentro do intervalo (210 ± 5) mm. O valor do índice de retenção de água foi calculado a partir da média dos índices obtidos antes e após ser aplicada na amostra sucção correspondente à coluna de 51 mm de mercúrio durante 60 (sessenta) segundos no funil de Buchner.

2.2.1.8 Capacidade de incorporação de areia

O ensaio para a determinação da capacidade de incorporação de areia no plastômetro de Voss foi conduzido segundo prescrições normativas estabelecidas à NBR 9207/2000, que permite determinar a quantidade máxima de areia que pode ser misturada a uma ligante para argamassas, sem prejudicar as características de trabalhabilidade da mistura resultante.

Inicialmente, preparou-se uma argamassa de traço de 1:1 (em massa), e foram produzidos corpos de prova de molde tronco-cônico, com a base apoiada na mesa de consistência, de modo bem centrado. O índice de consistência, expresso em milímetros, correspondeu à média de três medidas do diâmetro ortogonais da base do tronco de cone da argamassa, após a deformação.

Repetiu-se a operação, aumentando a proporção areia/aglomerante até que não fosse possível determinar o índice de consistência.

Esta análise foi adaptada, para mesa de consistência, aplicada a todos os tratamentos.

2.2.1.9 Ensaio de determinação da plasticidade

O ensaio para a determinação da plasticidade de CH e EFP para argamassas, empregando-se o plasticímetro de Emley, foi conduzido segundo prescrições normativas estabelecidas à NBR 9206/2003.

Para essa análise, foram empregados métodos adaptados.

Preparou-se uma pasta conforme o traço determinado na NBR 14399, para a qual obteve-se uma penetração de (20 ± 2) mm do aparelho de Vicat modificado. A pasta foi transferida para um recipiente e coberta por um tecido umedecido, a fim de fosse evitada evaporação, por um período de (20 ± 2) h. Após esse período, a pasta foi remisturada e a

sua quantidade de água foi ajustada para que se obtivesse novamente o índice de consistência inicial. O índice de consistência foi obtido antes e depois da adição de água, e monitorado por um período de 5 minutos em intervalos de 1 em 1 minuto.

2.2.2 Preparo das argamassas

No sentido de analisar o comportamento de argamassas mistas CH e EFP, foram produzidos diferentes traços com as composições apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição das argamassas

Argamassa		Composição	
Tipo	Designação	Dosagem Volumétrica	Constituintes
Cal Hidratada	CH1	1:1:6	Cimento Portland CP III - 40: cal hidratada CH III: areia fina
	CH2	1:1:10	Cimento Portland CP III - 40: cal hidratada CH III: areia fina
Escória	EFP1	1:1:6	Cimento Portland CP III - 40: EFP: areia fina
	EFP2	1:1:10	Cimento Portland CP III - 40: EFP: areia fina

Afim de que fossem caracterizadas propriedades destas argamassas no estado endurecido, foram conduzidos ensaios mecânicos para determinação da resistência a compressão e a tração na flexão, para os dois tratamentos propostos, CH e EFP. Dessa forma, elaboraram-se 72 corpos de provas, sendo 18 corpos de prova CH prismáticos e 18 corpos de prova CH cilíndricos, e afim de que se obtivessem resultados comparativos e parametrizados, 18 corpos de prova EFP prismáticos e 18 corpos de prova EFP cilíndricos. Para cada tipo de argamassa foram considerados 2 (dois) traços diferentes. Os traços escolhidos são dos mais usuais para cada tipo de argamassa, sendo eles os traços de dosagem 1:1:6 e 1:1:10. Para a mistura das argamassas, a quantidade de água foi determinada em função da consistência desejada, a qual foi fixada pela norma em (260 ± 5) mm.

Os ensaios foram elaborados seguindo as prescrições normativas NBR13276/2002 e NBR13279/2005.

2.2.2.1 Determinação da resistência à compressão e à tração na flexão

Os ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão foram realizados em uma prensa hidráulica, com capacidade de 20kN. Para cada ensaio, os resultados foram obtidos a partir da média de três repetições, por tratamento e por dosagem para as idades de 3, 7 e 28 dias.

No ensaio de resistência à compressão, foram utilizados corpos-de-prova cilíndricos, com dimensões de 50mm de diâmetro por 100mm de altura. O topo e a base dos corpos-de-prova foram regularizados utilizando-se, para isto, o capeamento com enxofre.

Com relação à resistência à tração na flexão, foram utilizados corpos-de-prova prismáticos, com dimensões de 40mm de largura por 40mm de altura e 160mm de comprimento.

2.3 Resultados

2.3.1 Caracterização dos aglomerantes

2.3.1.1 Análise granulométrica

O percentual de materiais com diâmetro menor que 0,075mm, superior a 60% conforme ilustrado a Figura 02 apresentada a seguir, habilita a EFP para emprego como ligante para argamassas utilizando apenas essa porcentagem passante, que está em conformidade com parâmetros físicos e limites normativos indicados à NBR 7175/1992. Observa-se ainda que 40% deste material já se encontram nesta fração, não havendo necessidade de reprocessamento relativamente a cominuição deste rejeito EFP.

Para a CH, o percentual de materiais com diâmetro menor que 0,075mm, é superior a 75%, conforme ilustrado a Figura 02 apresentada a seguir.

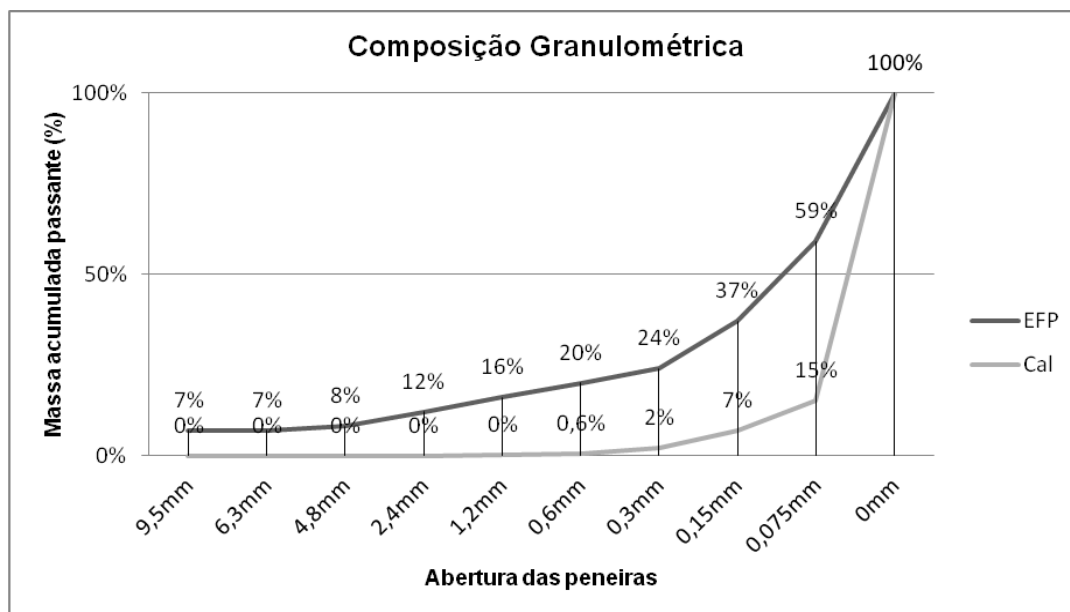


Figura 2 - Composição granulométrica da CH e da EFP

2.3.1.2 Determinação de massa específica

A EFP apresentou massa específica $M_{EFP}=2,90g/cm^3$, enquanto $M_{CH}=2,25g/cm^3$. A escória de Forno Panela é 30% mais denso que a cal hidratada.

2.3.1.3 Determinação do teor de umidade

O teor de umidade obtido foi de 1% para EFP, valor superior aquele determinado para CH, que geralmente apresenta 0,6% de teor de umidade.

2.3.1.4 Determinação do teor de constituintes metálicos ferrosos

O teor de constituintes metálicos obtido foi de 17% para a escória bruta.

Assim, para todos os ensaios realizados em pastas e argamassas a escória foi processada, tornando seu teor de materiais ferrosos abaixo de 1%. Esse procedimento é importante devido às características particulares da fração metálica nas matrizes de cimento, quando expostas a agentes intempéricos, bem como na presença de CH.

2.3.1.5 Índice de atividade pozolânica com a cal - NBR

Para que um material seja considerado como uma pozolana, a resistência à compressão simples, aos 7 (sete) dias, deve ser igual ou superior a 6MPa. As cargas de ruptura obtidas com argamassas de EFP foram muito pequenas gerando valores de resistência à compressão, em média 0,28 Mpa, inferiores aos 6MPa exigidos na NBR 12653/1992.

Dessa forma, segundo método, não é possível considerar atividade pozolânica para as EFP.

2.3.1.6 Índice de atividade pozolânica com o cimento – NBR

O índice de atividade pozolânica para as misturas de cimento com EFP, aos 28 dias, foi de 40%. De acordo com a NBR 12653/1992, esse índice deve ser no mínimo, de 75%. Ou seja, o material não atende a esta exigência, não sendo, portanto considerado pozolânico.

2.3.1.7 Índice de atividade pozolânica através do Método de Luxan

Para a determinação do IAP segundo LUXAN, a EFP pode ser considerada como material pozolânico de atividade moderada, já que demonstrou uma variação da condutividade elétrica no intervalo de 0,40 a 1,20 mS/cm, conforme pode-se observar na Figura 3 apresentada a seguir.

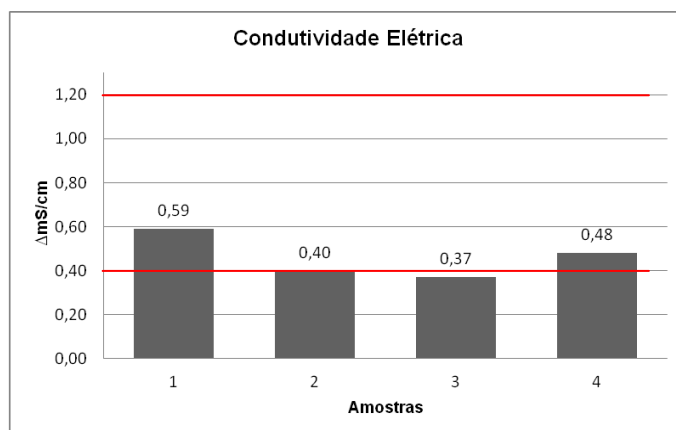


Figura 3 - Dados da condutividade elétrica das amostras ensaiadas

2.3.1.8 Determinação da finura

Os resultados para determinação da finura, indicam que a EFP em seu estado bruto apresentou grãos com diâmetro superior aos limites máximos indicados pela NBR7175/1992, sendo a porcentagem retida na peneira n°200 superior a 40% e na peneira n°30 superior a 20%.

A EFP deve ser processada em sistemas de diminuição especializada ou peneirada de forma que possam apresentar características mais adequadas. Assim, para a realização dos outros ensaios a EFP foi peneirada na peneira n° 200 (0,075mm).

2.3.1.9 Determinação da consistência normal

Para a consistência da pasta normal, quando seu índice de consistência é igual a (20±2) mm, a água da pasta é expressa em porcentagem de massa relativa ao aglomerante. A CH e EFP apresentaram, respectivamente; IC_{CH}=48% e IC_{EFP}=40%

2.3.1.10 Determinação da estabilidade

Os resultados para estabilidade indicaram aparecimento discreto de poros na superfície e pequenas protuberâncias para corpos de prova de EFP em comparação aos corpos de prova de CH, o que não permite análise conclusiva, conforme pode se observar na figura 6.



Figura 6 - Resultados dos ensaios para determinação da estabilidade (a) argamassa de escória e (b) argamassa de cal

2.3.1.11 Determinação da retenção de água

Os resultados obtidos dos ensaios de retenção de água, NBR 9290/1996, indicaram ser a EFP capaz de produzir argamassas que retêm $R_{EFP}=70,6\%$ de água em média, superiores aos limites normativos $R=70\%$. A Figura 7, a seguir, apresenta uma comparação dos resultados obtidos pela argamassa de EFP e a argamassa de CH, que apresentaram $R_{CH}=77\%$.

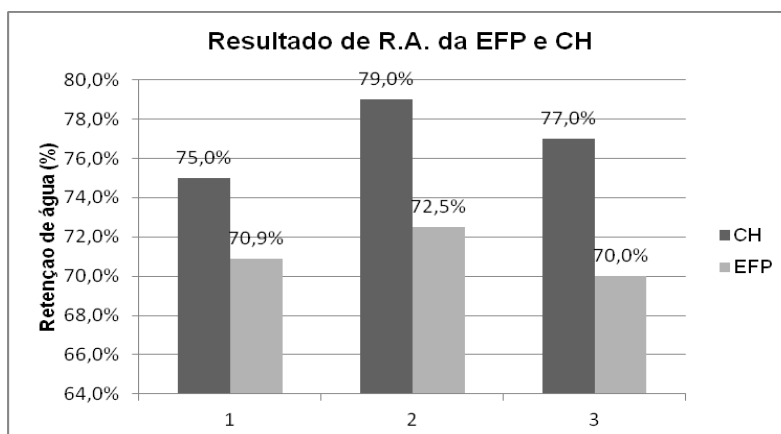


Figura 7 - Resultados dos ensaios para determinação da retenção de água

2.3.1.12 Capacidade de incorporação de areia

O ensaio foi realizado em etapas, de forma que as argamassas pudessem ser analisadas com incrementos definidos de 10% de massa de areia na proporção areia/aglomerante. Os incrementos seguiram-se até o ponto em que o índice de consistência não pudesse ser determinado, em função do cisalhamento para as argamassas.

Os resultados para incorporação de areia indicam redução do índice de consistência para incrementos percentuais de areia. Para a cal verifica-se capacidade de incorporação da areia até a proporção de 1:6 (IC=165) enquanto para EFP verifica-se capacidade de incorporação da areia até a proporção de 1:3 (IC=160), que sugere melhores propriedades aglomerantes para a cal que para EFP, conforme Figura 8, apresentada a seguir.

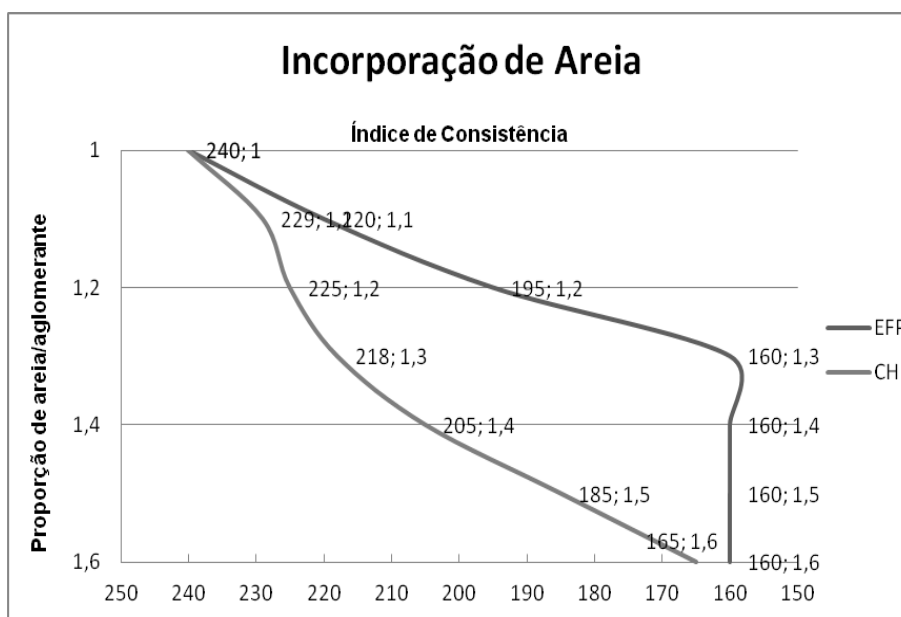


Figura 8 - Resultados dos ensaios para incorporação de areia

2.3.1.13 Ensaio de determinação da plasticidade

As argamassas de CH apresentam maior plasticidade que as argamassas EFP. Fato que pode ser justificado pela maior superfície específica. Adicionalmente, menor massa específica da cal produz argamassas mais leves e com menor atrito interno, o que de certa forma contribui para o escoamento das argamassas, assim como a maior retenção de água.

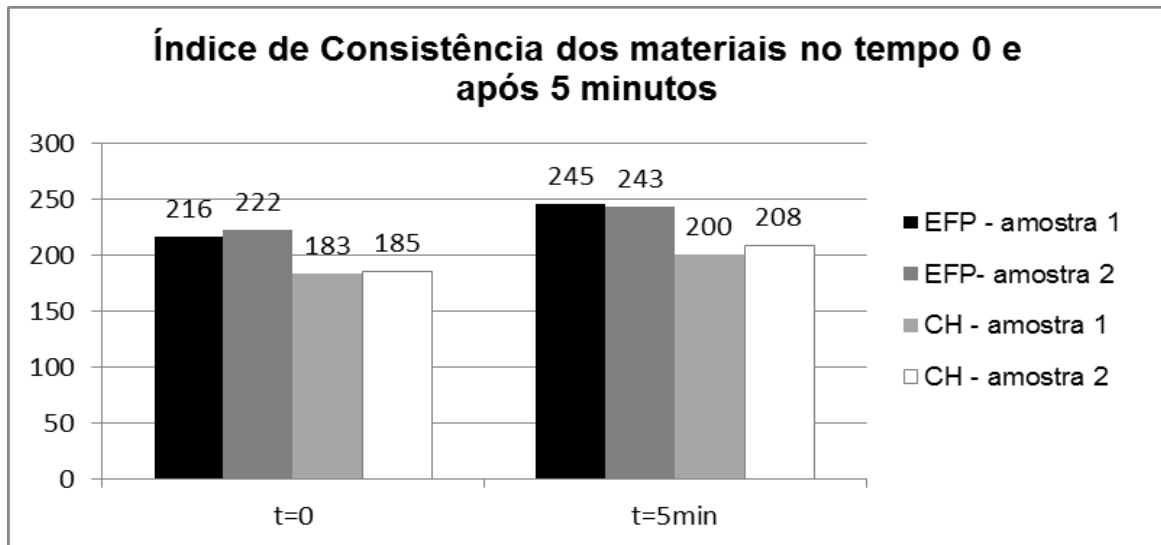


Figura 10 - Resultados dos ensaios para determinação da plasticidade

2.3.2 Preparo das argamassas

2.3.2.1 Resistência à compressão e à tração na flexão

Os resultados do ensaio de resistência à compressão, apresentados a seguir na Figura 9, mostram que as argamassas produzidas com EFP como um dos aglomerantes apresentam valores de resistência aos 3, 7 e 28 dias superiores àqueles traços para as argamassas CH.

O mesmo acontece com o ensaio de resistência a tração na flexão ilustrada na figura10.

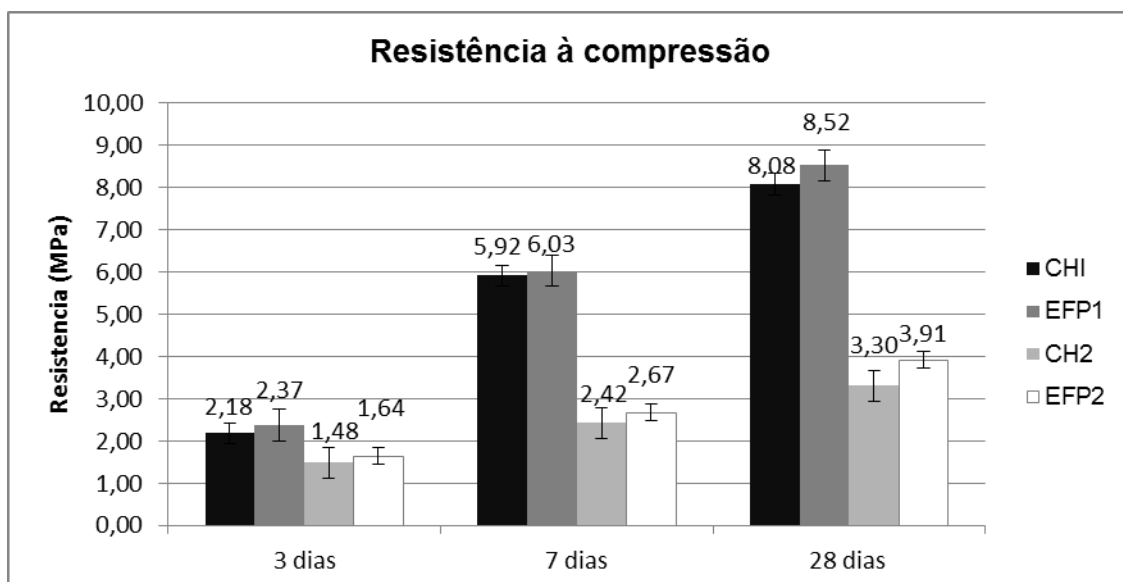


Figura 9 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão

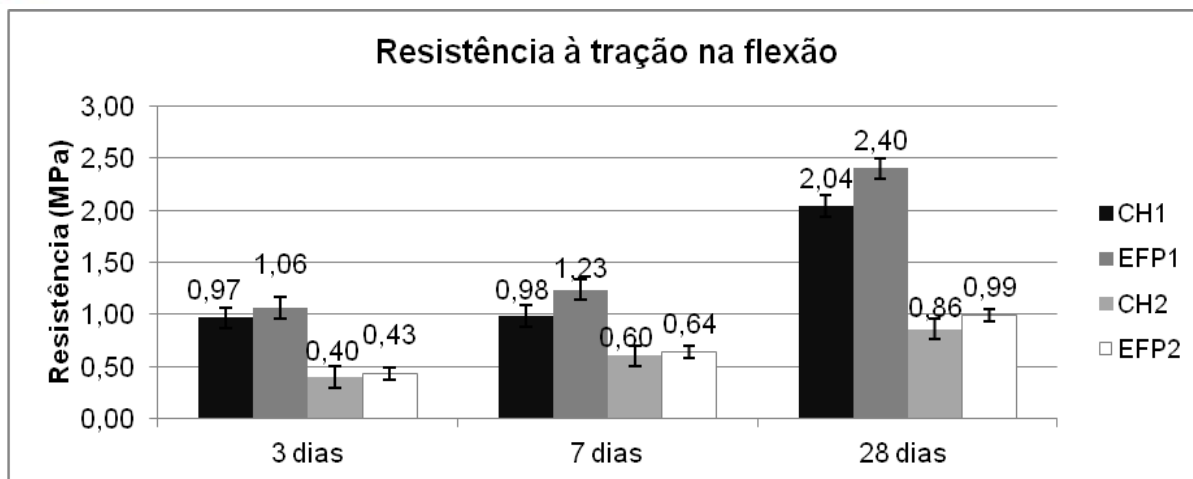


Figura 10 - Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão

3 Conclusão

Em relação à caracterização dos aglomerantes, pode-se observar que a escória de forno panela apresentou propriedades similares a cal hidratada.

A escória também apresentou grande proporção do material pulverulento dentro dos limites estabelecidos em norma para cal hidratada, na qual o material adequado para ser utilizado nos ensaios deve ter uma granulometria menor do que 0,075mm. De tal modo que a EFP foi submetida previamente a um peneiramento para que assim fossem realizados os outros ensaios, utilizando apenas a faixa de interesse.

Sobre os resultados de massa específica e teor de umidade observou-se que a escória obteve resultados superiores a cal hidratada.

As investigações de atividade pozolânica, segundo a NBR 5751/1992 e 5752/1992 obtiveram um resultado desfavorável, não sendo a EFP considerada uma pozolana, e em contradição, o Método de Luxan apresentou um teor moderado de atividade pozolânica.

Em relação as exigências físicas e químicas determinadas pela norma NBR 7175/2003 a escória atende a alguns requisitos normativos tais como a retenção a água, consistência normal, estabilidade e incorporação de areia.

As argamassas mistas de EFP apresentaram, ainda, valores de resistência à compressão e à tração na flexão superiores à argamassa mista de CH.

Embora a material não atenda satisfatoriamente todos os resultados, de acordo com os resultados preliminares, a EFP pode ser considerada um resíduo viável na produção de um aglomerantes para argamassas em substituição a cal.

4 Agradecimentos

À FAPEMIG, CNPq, CAPES, Grupo de pesquisa RECICLOS e UFOP pelo apoio e fomento concedidos; PROPEC e ARCELLORMITTAL BRASIL pela concessão de materiais primas, logística e apoio financeiro.



5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5751 – Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica - Índice de atividade pozolânica com cal. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5752 – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland - Índice de atividade pozolânica com cimento. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7175 – Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9205 – Cal hidratada para argamassas - Determinação da estabilidade. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9206 – Cal hidratada para argamassas - Determinação da plasticidade. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9207 – Cal hidratada para argamassas - Determinação da capacidade de incorporação de areia no plastômetro de Voss. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9289 – Cal hidratada para argamassas - Determinação da finura. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9290 – Cal hidratada para argamassas - Determinação de retenção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9939 – Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12653 – Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13276 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13281 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14399 – Cal hidratada para argamassas - Determinação da água da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NM 23 – Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim Técnico n. 68.

DEL CARLO, U. **Cultura sustentável**. Revista Técnica. Edição 133. São Paulo – SP: Editora Pini, 2008. P. 22-28.

GALDEANO, O.V.R. et al. **A experiência da CSN na reciclagem de resíduos sólidos nas sinterizações da CSN**. In: Seminário de redução e matérias primas resíduos na siderurgia, 25, Volta Redonda, RJ. Anais...Volta Redonda, 1994. p.271-285.

GRUPO DE PESQUISA RECICLOS. REC01 – **Recuperação de fração metálica presente em amostras através da recirculação de material em imã de 2600Gauss**. 2011.

GUIMARÃES, J. E. P.; **A cal – Fundamentos e aplicações na engenharia civil**. São Paulo: PINI. 1998.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2013**. Rio de Janeiro, 2013, 49p.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e de demolição**. Porto Alegre, 2001. 270p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LÚCIO, A. **Físico-química metalúrgica- 2ª parte**. Belo Horizonte: [s. n.], 1981.

MANSO, J.M. et al. **The durability of masonry mortars made with ladle furnace slag**. Construction and Building Materials, 2011, 12p.

OLIVEIRA, I. **Natureza em pauta**. Revista Foco. Edição 110. Ano VIII, Natal-RN: Editora Foco, Maio 2008. p. 26 -27.