

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

CLEIDIANE LACERDA

**TRAÇOS DE ARGAMASSA UTILIZANDO ESCÓRIA DE ACIARIA
ELÉTRICA**

VOLTA REDONDA

2015

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**TRAÇOS DE ARGAMASSA UTILIZANDO ESCÓRIA DE ACIARIA
ELÉTRICA**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do prof. Dr. Horácio Guimarães Delgado Júnior, na área de concentração de processamentos e caracterização de materiais, linha de pesquisa de materiais compósitos e reciclados.

Aluna:

Cleidiane Lacerda

Orientador:

Prof. Dr. Horácio Guimaraes Delgado Junior

VOLTA REDONDA

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tação Wagner - CRB 7/RJ 4316

L131t Lacerda, Cleidiane.

Traços de argamassa utilizando escória de aciaria elétrica. /
Cleidiane Lacerda. - Volta Redonda: UniFOA, 2015.

70 p. : Il

Orientador(a): Prof. Dr. Horácio Guimarães Delgado Júnior

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em
Materiais, 2015

FOLHA DE APROVAÇÃO

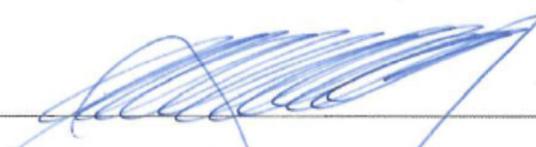
Aluno: Cleidiane Lacerda

TRAÇOS DE ARGAMASSA UTILIZANDO ESCÓRIA DE ACIARIA ELÉTRICA

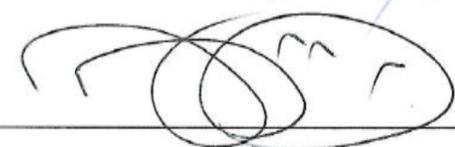
Orientador:

Prof. Dr. Horácio Guimarães Delgado Júnior

Banca Examinadora



Prof. Dr. Horácio Guimarães Delgado Júnior



Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe



Prof. Dr. Dener Martins dos Santos

Dedico este trabalho a Deus que me deu o Dom
da vida e me permitiu gerar minha filha Elisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores do curso de mestrados em materiais da UniFOA que foram grande incentivo durante o curso, com todas as experiências e ao meu orientador Horácio, que me incentivou e despertou a descobertas nas áreas de reciclagem e aproveitamento de resíduos industriais.

LACERDA, C., **TRAÇOS DE ARGAMASSA UTILIZANDO ESCÓRIA DE ACIARIA ELÉTRICA**. 2015. 70f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

RESUMO

O presente estudo objetivou avaliar a utilização da escória de aciaria elétrica como alternativa aos agregados da argamassa de cimento. Foram avaliadas as propriedades do estado endurecido em idades de sete (7) e vinte e oito (28) dias da argamassa de cimento e areia, tomando como referência a substituição em volume nos percentuais de 12,5%, 25% e 50% da areia por escória de aciaria elétrica, mantendo-se a mesma relação água/cimento em todos os traços. Verificou-se que o aumento do percentual de escória ocasionou maior porosidade na argamassa, porém, não apresentou capacidade de retenção de água. A resistência mecânica da argamassa com agregado de escória foi inferior à argamassa de referência em até 35% em sete dias e 12% em 28 dias à compressão, e em até 26% à flexão. Na argamassa padrão, com as partículas mais finas, observa-se a formação mineralógica clássica e a interface entre os grãos aglutinados pelo ligante. Já nas argamassas com adição de escória, observam-se os cristais aderidos as interfaces dos contornos de grão, em face de possível concentração de energia no contorno de grão. A 25% de adição de escória verificou-se a presença de porosidade, como também interação entre areia e escória. Os resultados desse estudo revelam o uso potencial da escória de aciaria elétrica, no sentido de conferir à argamassa aumento da capacidade de absorção de água, porém, sem retenção e com redução relativamente pequena de resistência à compressão. Dessa forma, espera-se contribuir no campo da pesquisa visando o aproveitamento de resíduos siderúrgicos em compósitos cimentícios.

Palavras-chave: Argamassa; Escória; Resíduo Siderúrgico.

LACERDA, C., **MORTAR TRAITS USING ELECTRICAL STEEL SLAG**. 2015. 70f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the use of electric arc furnace slag as an alternative to cement mortar aggregates. The properties hardened mortar, taken as reference, at ages of 7 and 28 days of cement and sand mortar, and replacing the volume percentage of 12,5%, 25% and 50% of the sand particles of slag electric furnace maintaining the same water / cement ratio for all composites were evaluated. Increased slag caused a greater percentage of porosity in the mortar, but there is no water retention. The mechanical resistance of the mortar added with slag was lower than the reference mortar up to 35% in 7 days and 12% in 28 days compression and bending up to 26%. In standard mortar, with finer particles, there is the classic mineral formation and the interface between grains bonded by a binder. As for the mortars with addition of slag observes the crystals adhered to the interfaces of grain boundaries, due to possible energy concentration in the grain boundary. The 25% slag addition can be observed to have porosity but also an interaction between slag and sand. The results of this study reveal the potential use of electric arc furnace slag, in order to impart to the mortar increased water absorbency but without restraint and relatively small reduction in compressive strength. Thus, we hope to contribute in research aimed at the use of steel waste in cement composites.

Keywords: Mortar; Slag; Waste Steel.

SUMÁRIO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 ESCÓRIA DE ACIARIA	19
2.2 APLICAÇÃO DA ESCÓRIA DE ACIARIA.....	20
2.3 ARGAMASSAS	22
2.3.1 Argamassa de Assentamento de Alvenaria.....	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1MATERIAIS	24
3.1.1 Cimento	24
3.1.2 Escória	25
3.1.3 Areia	26
3.2 MÉTODOS	27
3.2.1 Cura.....	34
3.2.2 Procedimento de ensaios	34
3.2.2.1 Resistência à compressão	34
3.2.2.2 Resistência à tração por compressão diametral.....	35
3.2.2.3 Absorção por imersão	36
3.2.2.3.1 - Absorção de água por imersão	36
3.2.2.3.2 Índice de vazios.....	37
3.2.2.3.2.1- Relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total, sendo calculada pela seguinte expressão	37
3.2.2.3.2.2 A saturação do corpo-de-prova pode ser feita em uma das condições a seguir, em função da especificação	37
3.2.2.4 Microscopia	39
4. RESULTADOS	40
4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	40
4.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	43

4.3 ABSORÇÃO POR IMERSÃO	47
4.4 MICROSCOPIA	50
5. CONCLUSÃO.....	59
6. INDICAÇÕES FUTURAS	60
7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação da argamassa segundo as suas funções na construção..23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química da escória do pátio.....	26
Tabela 2: Classificação da areia quanto ao módulo de finura (NBR 7217/1987).	27
Tabela 3: Proporções de adição de escória em relação a areia.....	28
Tabela 4: Proporções de adição de escória em relação a areia.....	30
Tabela 5: Resultados de corpos de prova de compressão de idade de 7 dias.	40
Tabela 6: Resultados de corpos de prova de compressão de idade de 28 dias.	42
Tabela 7: Resultados de corpos de prova de compressão diametral de idade de 7 dias.....	44
Tabela 8: Resultados de corpos de prova de compressão diametral de idade de 7 dias.....	46
Tabela 9: Resultado de absorção de água.....	48
Tabela 10: Desvio padrão para absorção de água.....	48

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula (1)	Resistência à tração por compressão diametral.....	36
Fórmula (2)	Absorção de água por imersão.....	37
Fórmula (3)	Índice de vazios.....	37
Fórmula (4)	Absorção após imersão em água à temperatura de: $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$	38
Fórmula (5)	Absorção após imersão e fervura.....	38
Fórmula (6)	Índice de vazios após saturação em água.....	38
Fórmula (7)	Índice de vazios após saturação e fervura.....	38
Fórmula (8)	Massa específica da amostra seca	38
Fórmula (9)	Massa específica da amostra após saturação.....	39
Fórmula (10)	Massa específica da amostra após saturação e fervura.....	39
Fórmula (11)	Massa específica real	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema simplificado da geração de escórias na aciaria elétrica à oxigênio (LD).....	21
Figura 2: Escória do refino redutor sendo vazada da panela diretamente na baia de escória.....	22
Figura 3: Diferentes alternativas de revestimentos de paredes (a) emboço + reboco + pintura (sistema mais antigo, atualmente pouco utilizado); (b) camada única + pintura.	25
Figura 4: Aplicação de argamassa de assentamento.....	25
Figura 5: Cimento CP III – 40.....	25
Figura 6: Escória de aciaria elétrica envelhecida.	25
Figura 7: Misturador mecânico de argamassa – vista superior.	29
Figura 8: Misturador mecânico de argamassa – vista frontal e lateral.	29
Figura 9: Misturador mecânico de argamassa	30
Figura 10: Molde para corpos de prova.....	31
Figura 11: Fotos do molde com fundo com uma leve camada de óleo.	32
Figura 12: Soquete para moldagem de corpos de prova.....	32
Figura 13: Máquina de ensaio Emic prensa hidráulica modelo PC100C, capacidade máxima 100 tf (100.000kgf).....	35
Figura 14: Avaliação de aumento de proporção de escoria X relação de resistência a compressão (idade: 7 dias)	41
Figura 15: Análise gráfica da Resistência a compressão – 28 dias	43
Figura 16: Análise gráfica da Resistência a compressão diametral – 7 dias.....	45
Figura 17: Análise gráfica da Resistência à compressão diametral – 28 dias.....	47
Figura 18: Análise gráfica para média absorção de água por percentual de escória.	49
Figura 19: Análise gráfica para desvio padrão absorção de água por percentual de escória.....	50
Figura 20: MEV corpos de 0% de adição de escória ampliados 40X e 60X.....	51
Figura 21: MEV corpos de 0% de adição de escória ampliados 100X e 200X.....	51
Figura 22: MEV corpos de 0% de adição de escória ampliados 1000X.....	51
Figura 23: MEV corpos de 12,5% de adição de escória ampliados 40X e 60X.....	52
Figura 24: MEV corpos de 12,5% de adição de escória ampliados 100X e 500X.....	52

Figura 25: MEV corpos de 12,5% de adição de escória ampliados 500X.....	53
Figura 26: MEV corpos de 12,5% de adição de escória ampliados 1000X.....	53
Figura 27: MEV corpos de 25% de adição de escória ampliados 40X e 60X.....	54
Figura 28: MEV corpos de 25% de adição de escória ampliados 100X e 200X.....	54
Figura 29: MEV corpos de 25% de adição de escória ampliado 500X.....	54
Figura 30: MEV corpos de 25% de adição de escória ampliado 1000X.....	55
Figura 31: MEV corpos de 50% de adição de escória ampliados 40X e 60X.....	55
Figura 32: MEV corpos de 50% de adição de escória ampliados 100X e 200X.....	56
Figura 33: MEV corpos de 50% de adição de escória ampliados 500X.....	56
Figura 34: MEV corpos de 50% de adição de escória ampliados 1000X.....	56

LISTA DE ANEXOS

Anexo I - Checklist NBR 7215- resistência a compressão.	64
Anexo II – Checklist NBR 7222 - resistência a compressão diametral.....	65
Anexo III – Checklist NBR 9778- Determinação da absorção de água por imersão .	66
Anexo IV – Check list NBR 9779 - Determinação da absorção de água por capilaridade.....	68

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Estudos que abordam sobre o aproveitamento de resíduos de diversas origens como materiais alternativos na construção civil vêm se tornando frequente nos dias atuais (GALDEANO *et al.*, 1994; GEYER, 1994, 2000, 2001; LEONARDO, 2006; MELLO, 2011). A abordagem sobre a temática que está relacionada aos problemas de armazenagem ou descarte de certos produtos foi incrementada, principalmente, pelo fato dos rejeitos, sejam industriais ou urbanos, ocasionarem impactos negativos no meio-ambiente.

Considera-se, como no caso de uma usina siderúrgica, que devido ao fato de possuir capacidade de gerar uma grande quantidade de resíduos industriais, que estes, ao serem descartados, apresentam inúmeros inconvenientes. Galdeano *et al.* (1994) pontua algumas dessas dificuldades: a necessidade de grandes áreas para o descarte de resíduos; elevado custo de transporte e preparação da área de descarte (US\$ 20 a US\$ 30 por tonelada de resíduo depositado); perda de materiais; agressão ao meio-ambiente.

As usinas que se utilizam de processos pirometalúrgicos, que é caracterizado pela obtenção e refinação de metais mediante a interface com o calor, ainda apresentam uma maior quantidade de material a ser descartado, pois além da fase líquida constituída pelo banho metálico, está quase sempre presente uma fase líquida de natureza não-metálica, denominada escória (LÚCIO, 1981). Essa escória normalmente é destinada ao pátio de armazenamento dentro do parque fabril, para posterior descarte.

Entretanto, o processo de descarte de resíduos industriais, bem como os padrões de identificação do mesmo, está sujeito a normatizações que variam sensivelmente entre os países. Vale ressaltar que as nações industrializadas têm revisto e tornado mais restritivas suas legislações ambientais, em especial, no que concerne à produção, ao transporte, ao tratamento e à deposição final dos resíduos industriais (GEYER, 2001).

Desse modo, ao partir da premissa que a siderurgia lida diariamente com quantidades imensas de matérias-primas e energia, a atitude de reduzir o impacto ambiental mediante o processo de descarte, assume extrema relevância. Assim sendo, verifica-se a necessidade de ações que superem a perspectiva de captação e

tratamento de esforços para reduzir emissões e efluentes. É preciso adotar novas tecnologias de produção, menos poluentes e mais eficientes em termos energéticos. Ratificando esse posicionamento, Pereira (1994) enfatiza que o trabalho nas usinas para preservar o meio-ambiente se faz e continuará a se realizar de quatro maneiras: obedecendo à legislação ambiental; implementando medidas de conservação de energia; reciclando e conservando os recursos naturais; buscando novas tecnologias, menos poluidoras.

No que tange à legislação ambiental, destaca-se a série ISO 14000 (ABNT, 1994), que é o conjunto de normas em elaboração pela ISO- International Organization for Standardization, que visa estabelecer diretrizes para a implementação de Sistemas de Gestão Ambiental, nas diversas atividades econômicas que possam impactar o meio ambiente. Essa normatização ainda prescreve parâmetros para a avaliação e a certificação destes sistemas, com metodologias uniformes e aceitas internacionalmente. Também têm como objetivo a preparação de critérios para a avaliação da qualidade e eficácia das relações entre empresas e o meio ambiente.

Todas essas considerações tornam-se mais potentes quando se verifica que o Brasil é hoje o 9º maior produtor de aço no mundo, o que o coloca numa posição estratégica no cenário mundial. Em 2012 foram produzidas 34,5 milhões de toneladas de aço e o setor siderúrgico foi responsável por 4% do PIB (Produto Interno Bruto) do país (PwC Brasil, 2012). No entanto, esta fonte contínua de produção gera, atualmente, aproximadamente seis milhões de toneladas/ano de escória de aciaria.

Simultaneamente à ascensão da produção brasileira de aço, o setor de agregados para a construção sofre cada vez mais restrições ambientais pela proximidade com os grandes centros consumidores, pelas políticas deficientes de uso e ocupação do solo e, principalmente, pelos recursos naturais serem finitos. (hoje consumimos 20% a mais do que o planeta consegue repor). Só no Brasil existem quase 500 pedreiras que exploram a extração do agregado natural, empregando mais de 15 mil pessoas. O consumo de agregado per capita no Brasil gira em torno de 2,3 toneladas/hab/ano, enquanto os países industrializados consomem, em média, 8 toneladas/hab/ano. Esses números demonstram que há

uma demanda reprimida e desafia que o mercado em potencial invista em projetos ambientais e economicamente viáveis para o produtor de aço, principalmente na área de habitação, saneamento, dentre outros (CETEC, 2007).

Uma pesquisa realizada nos Estados Unidos, em 1993, indicou que cerca de 50% dos consumidores norte-americanos dão preferência a produtos menos agressivos ao meio ambiente. Na Europa, estudos recentes estimam que o consumidor europeu está disposto a pagar de 5% a 15% a mais em mercadorias desde que ostentem rótulos ecológicos (GEYER, 2001, p. 21).

Sendo assim, ratificando o que a autora supracitada afirma, a reciclagem de resíduos industriais representa um componente primordial do esforço para um desenvolvimento sustentável, além de guardar uma relação econômica legal de descarte.

Portanto, diante do processo de disposição da escória de aciaria ter se tornando um fenômeno cada vez mais difícil ambiental e economicamente para o produtor de aço e para toda a sociedade, a proposta de usar co-produtos na construção ou em toda indústria, incrementa o potencial de aplicação do material em substituição aos recursos naturais.

Diante do exposto, este trabalho propõe avaliar os efeitos da inclusão de escória de aciaria elétrica na argamassa endurecida, em substituição percentual a areia, com estudo de resistência mecânica, absorção de água e microscopia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESCÓRIA DE ACIARIA

Em 1993, realizou-se na Alemanha, mais propriamente no Instituto FEhS em Duisburgo, um Congresso sobre ferro e aço escória. Nesse encontro, diante da constatação de que a situação no que diz respeito à representação dos interesses de escória a nível europeu era insatisfatória, nasce a idéia de criar uma organização internacional que tratasse dos assuntos de escória de aço e ferro. Em 2000, após reuniões contínuas de grupo de trabalho composto por 20 membros de 12 países europeus, nasce a EUROSLAG, Associação Européia de escória, que representa o movimento de cooperação de 12 países europeus que possui o intuito de organizar a troca de informações, monitorar regulamentos/normalização européia, desenvolver a imagem do produto de escória e propor metas ações de pesquisas sobre o uso de escória (EUROSLAG, 2010).

Em 2007, essa Associação apresenta um estudo demonstrando que a produção mundial de escória de aciaria estava em torno de dois milhões de toneladas em todo o mundo, sendo que a construção civil e a própria siderúrgica reaproveitavam em média 70% desta produção. Assim, verifica-se que a valorização de 100% da escória de aciaria produzida hoje no mundo não é uma utopia, mas uma possibilidade próxima (EUROSLAG, 2010).

A escória de aciaria é um subproduto gerado durante a produção do aço, podendo ser oriunda de diferentes processos, tais como as geradas nos fornos conversores Linz-Donawitz (LD), ou de arco elétrico (FEA). A produção mundial de aço bruto em 2013 alcançou a cifra de 1,6 bilhões de toneladas registrando um novo recorde de produção. Considerando que para cada tonelada de aço produzido são gerados cerca de 150 kg de escória de aciaria, ou seja, 15% do total produzido, somente no ano de 2013 foram produzidos aproximadamente 240 milhões de toneladas deste resíduo (EUROSLAG, 2010).

Destaca-se que a escória de forno a arco elétrico da produção de aço carbono é formada durante a fusão de sucata de aço em forno elétrico a arco e esse produto é produzido pela adição de fundentes, tais como pedra calcária e / ou dolomite. Além disso, alguns elementos do fundido são oxidados e contribuem para a formação de escória. A escória líquida, que tem temperaturas de cerca de 1600 ° C batendo é refrigerado a ar (possivelmente aplicar pequenas quantidades de água), sob condições controladas, em vasos ou poços que formam escória cristalina. (EUROSLAG, 2010)

2.2 APLICAÇÃO DA ESCÓRIA DE ACIARIA

Os projetos de aplicação da escória de aciaria se desenvolveram no sentido de usar este resíduo em materiais de construção, como por exemplo, concreto, argamassa e base asfáltica. Porém, estudos (GEYER, 2001, p. 11) mostraram que esta utilização têm restrições no que se refere à capacidade de hidratação da escória de aciaria após sua utilização, fazendo com que os materiais fabricados tenham sua integridade física comprometida. Cerca de 30% da produção brasileira e 20% da produção mundial da escória de aciaria não são reaproveitadas, tendo como destino extensas áreas dos parques industriais e ocasionando custos de disposição. Portanto, o reaproveitamento da escória de aciaria representa uma solução técnica, econômica e ecológica para as siderúrgicas. (LAREX, 2008)

A figura 1 mostra o circuito básico da geração de resíduos na aciaria elétrica e na aciaria à oxigênio (LD), com a geração específica da escória em cada etapa. Há duas escórias de refino, a escória oxidante e a escória redutora.



Figura 1: Esquema simplificado da geração de escórias na aciaria elétrica à oxigênio (LD).
Fonte: (GEYER *et al.*, 1996).

O metal obtido dos processos de redução nunca tem a composição química especificada do produto final do processo siderúrgico, sendo sempre acompanhado por maior ou menor proporção de impurezas. Por exemplo, o ferro-gusa sai do alto-forno com cerca de 4,0% de carbono, e, além disto, silício, manganês, fósforo, enxofre, etc. em proporções variáveis. Um dos métodos de se conduzir o metal à composição desejada é a combinação de um refino oxidante e de um refino redutor, esse último realizado normalmente na painela ou no forno-painela (LÚCIO, 1981).

No caso específico deste trabalho, a proposta é utilizar escória vinda de aciaria elétrica. Na figura 2 observa-se a escória de aciaria sendo vazada da painela, ainda líquida e incandescente. Em seguida, ela é transportada para o pátio de escória, onde se resfria.

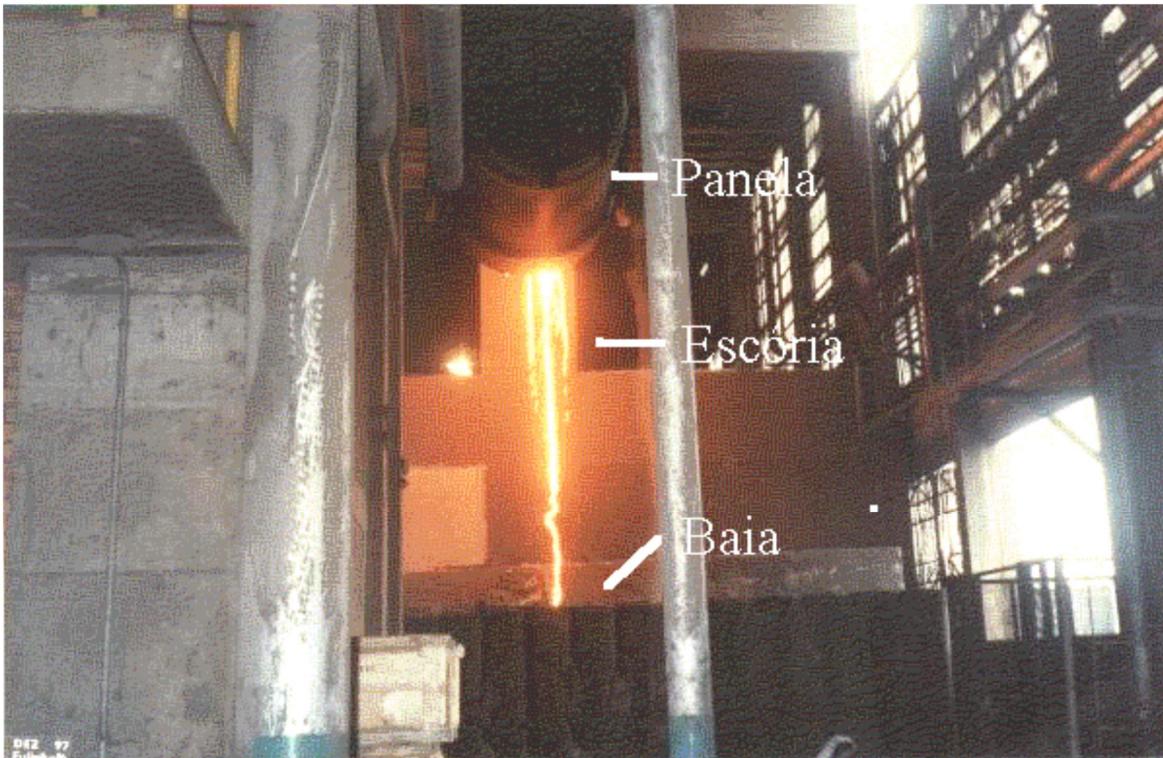


Figura 2: Escória do refino redutor sendo vazada da panela diretamente na baia de escória.
Fonte: (AUTOR, 2015)

2.3 ARGAMASSAS

Argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais (CARASEK, 2007).

As argamassas de revestimento são utilizadas com funções que vão desde a proteção de alvenarias, regularização de superfícies horizontais e verticais, estanqueidade até funções de natureza estética, sendo, dessa forma, classificada de acordo com a sua função na construção, como mostra a quadro 1.

FUNÇÃO	TIPOS
Construção de alvenarias	Argamassa de assentamento
	Argamassa de fixação (ou encunhamento)
Revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
	Argamassa de revestimento decorativo monocamada
Revestimento de pisos	Argamassa de contra piso
	Argamassa de alta resistência para piso
Revestimento cerâmico	Argamassa de assentamento de cerâmica (colante)
	Argamassa de rejuntamento
Reparação de estruturas	Argamassa de reparo

Quadro 1: Classificação da argamassa segundo as suas funções na construção.
Fonte: (CARASEK, 2007)

2.3.1 Argamassa de Assentamento de Alvenaria

A argamassa de assentamento de alvenaria é utilizada para a elevação de paredes e muros de tijolos ou blocos. Carasek (2007) destaca que as principais funções das juntas de argamassa na alvenaria são as seguintes:

- unir as unidades de alvenaria de forma a constituir um elemento monolítico, contribuindo na resistência aos esforços laterais;
- distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos;
- selar as juntas garantindo a estanqueidade da parede à penetração de água das chuvas;
- absorver as deformações naturais, como as de origem térmica e as de retração por secagem (origem higroscópica), a que a alvenaria estiver sujeita.

Contudo, ainda em conformidade com os estudos de Carasek (2007), há que se considerar que determinadas propriedades são essenciais ao bom desempenho das argamassas de alvenaria, tais como:

- trabalhabilidade – consistência e plasticidade adequadas ao processo de execução, além de uma elevada retenção de água;
- aderência;
- resistência mecânica;
- capacidade de absorver deformações.

Os sistemas de revestimento agem em conjunto com o substrato e podem ser constituídos por mais de uma camada (figura 3), com diferentes características e propriedades: o substrato é a superfície sobre a qual é aplicada a argamassa, influenciando diretamente na qualidade do revestimento devido à variação de suas características como absorção e rugosidade, refletindo na aderência argamassa-substrato; a camada de chapisco é aplicada no substrato para servir de elemento de ligação deste com o revestimento. Dessa forma, o chapisco tem a função de cobrir e uniformizar a superfície da base, melhorando a aderência com o revestimento.

Carasek (2007) define emboço como a camada que serve para cobrir e regularizar a base, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo. O reboco, por sua vez, é a camada

aplicada diretamente sobre o emboço e propicia uma superfície para receber o revestimento decorativo ou se constitui no acabamento final.

O revestimento de camada única é popularmente conhecido como “massa única”, constituindo-se de um único tipo de argamassa sobre a qual é aplicada, por exemplo, a pintura, conforme especificado na figura 4.

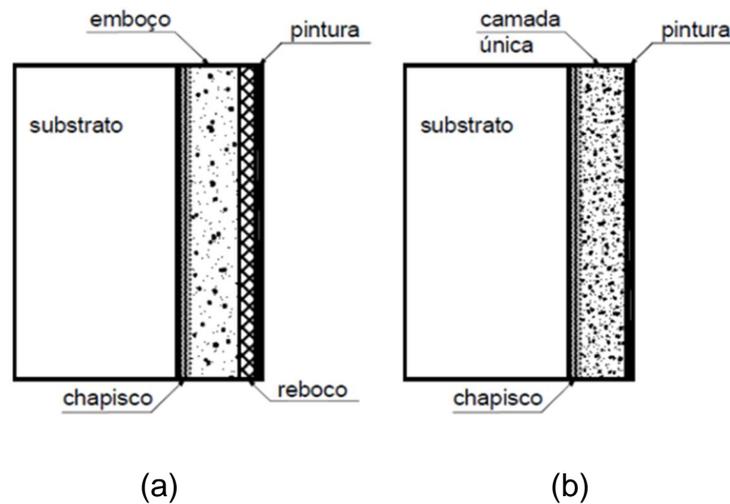


Figura 3: Diferentes alternativas de revestimentos de paredes (a) emboço + reboco + pintura (sistema mais antigo, atualmente pouco utilizado); (b) camada única + pintura.
Fonte: (CARASEK, 2007)



(a) bisnaga (foto: Prudêncio Jr.) e (b) meia desempenadeira ou palheta (foto: ABCP).

Figura 4: Aplicação de argamassa de assentamento.
Fonte: (CARASEK, 2007)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Argamassa de revestimento é composta basicamente de aglomerante (cimento e/ou cal), areia e água. Os aditivos podem ser incorporados à mistura com o objetivo de melhorar suas características e propriedades específicas, as quais resultam do tipo e proporcionalmente dos materiais, chamado de traço. Entre esses, o principal é o aglomerante, com a participação dos seus compostos químicos nas reações de hidratação da pasta (BAUER *et al.*, 2005).

3.1.1 Cimento

O cimento é um aglomerante do tipo hidráulico, assim o cimento não só endurece através de reações com a água, como também forma um produto resistente a ela. Os seus constituintes fundamentais são a cal (CaO), a sílica (SiO₂), a alumina (Al₂O₃), o óxido de ferro (Fe₂O₃), que representam 95 a 96% do total dos óxidos. Há ainda certa proporção de magnésia e anidrido sulfúrico, e ainda, em menores proporções, óxido de sódio (Na₂O), óxido de potássio (K₂O), óxido de titânio (TiO₂), os dois primeiros denominados álcalis do cimento (BAUER, 2001).

As matérias-primas com proporções dos constituintes mencionados são pulverizados, homogeneizados e submetidos à temperatura elevada, que resulta na obtenção do clínquer. Neste processo há formação dos seguintes compostos: silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$), Silicato bicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$), aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$), ferro aluminato tetracálcico ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AFe}$). O silicato tricálcico é o maior responsável pela resistência em todas as idades dos materiais à base de cimento, sobretudo no primeiro mês

de cura. O silicato bicálcico é mais importante no processo de envelhecimento em idades mais avançadas, sendo responsável pelo ganho de resistência com um ano ou mais, o aluminato tricálcico contribui para resistência especialmente no primeiro dia e o ferro aluminato tetracálcico em nada contribui para resistência. O aluminato tricálcico é o maior responsável para o calor de hidratação do cimento e, quando presente em forma cristalina, pela rapidez da pega.



Figura 5: Cimento CP III – 40.
Fonte: (AUTOR, 2015)

3.1.2 Escória

A escória utilizada nestes ensaios de viabilização é proveniente do pátio de maturação de escória uma aciaria do estado do Rio de Janeiro do forno elétrico a arco (FEA).



Figura 6: Escória de aciaria elétrica envelhecida.
Fonte: (AUTOR, 2015)

Foi coletada uma amostra aleatória de escória.

CAO	SiO ₂	MGO	FEO	MNO	AL ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CR ₂ O ₃	S	F	TiO ₂
50,92	24,07	9,61	1,73	0,09	5,14	0,33	0,08	1,90	0,60	0,43
50,92	24,07	9,61	1,73	0,09	5,14	0,33	0,08	1,90	0,60	0,43
37,63	29,93	9,54	4,24	3,80	8,12	0,16	0,09	0,16	-0,81	1,10
32,55	28,36	9,56	9,98	10,21	7,74	0,51	1,12	0,05	-0,25	1,26
44,17	29,12	9,21	2,47	3,52	4,38	0,29	0,11	0,19	0,13	0,49
47,66	29,14	9,16	1,60	0,26	4,31	0,25	0,05	0,80	0,37	0,40

Tabela 1: Composição química da escória do pátio.

Fonte: (AUTOR, 2015)

3.1.3 Areia

O agregado utilizado para a produção de argamassas é a areia, com diâmetro menor do que 2,0mm. Apresentando um custo bem menor do que o cimento, a areia assume um papel importante em termos econômicos para argamassa e o concreto, todavia, a influência dos agregados não se restringe apenas à questão da redução de custos, pois suas características físicas também são relevantes no estudo das propriedades desses compósitos.

Em concreto, a forma e a textura do agregado miúdo têm um efeito significativo sobre a demanda de água na mistura, considerando que partículas angulosas exigem mais água para uma mesma trabalhabilidade. A aderência entre o agregado e a pasta de cimento, importante fator da resistência do concreto, é devido ao intertravamento do agregado na pasta, onde a textura superficial exerce influência. Em geral, partículas mais moles e porosas apresentam melhor aderência. Desse modo, a resistência mecânica do agregado não é o único fator a ser considerado na resistência do concreto/argamassa, mas também, às suas características de absorção e aderência à pasta de cimento.

Araújo Júnior (2004) salienta que areias muito grossa não produz argamassas trabalháveis, prejudicando essa propriedade, e em consequência, sua aplicação ao substrato. Acrescenta, ainda, que normalmente a escolha da areia para o uso em argamassa é feita pelo módulo de finura, que é o valor resultante

da divisão por 100 do somatório das porcentagens de massa retidas e acumuladas nas peneiras da série normal especificadas pela NBR 7211/1983. A tabela 2 mostra a classificação das areias de acordo com o módulo de finura, segundo a NBR 7217/1987.

Classificação da areia	Módulo de finura (MF)
Areia fina	$MF < 2,0$
Areia media	$2,0 \leq MF \leq 3,0$
Areia grossa	$MF > 3,0$

Tabela 2: Classificação da areia quanto ao módulo de finura (NBR 7217/1987).

Fonte: (NBR 7217/1987)

Carneiro, Cincotto e John (1997) consideram que a distribuição granulométrica da areia na argamassa, juntamente com o diâmetro máximo e a forma das partículas influem no grau de empacotamento, e, portanto, no volume de vazios que é preenchido pela pasta. Nessa análise, o módulo de finura é considerado um parâmetro limitado, tendo em vista que não reflete a distribuição granulométrica. Por outro lado, a massa unitária, integrando a um só tempo, a distribuição granulométrica, forma e empacotamento dos grãos, é um parâmetro que avalia melhor as propriedades da argamassa a partir das propriedades do agregado. Destaca-se a influência da variação da massa unitária da areia nas propriedades da argamassa, de forma que o aumento desta propriedade está relacionado com a redução no índice de vazios, consumo de aglomerantes, teor de ar incorporado e retenção da consistência, e com o aumento da resistência mecânica e do módulo de deformação.

3.2 MÉTODOS

Com o objetivo de apontar a viabilidade técnica da utilização da escória de aciaria elétrica como adição argamassa definiu-se os ensaios de referência para o estudo de argamassa dentro da construção civil. Os ensaios foram:

- Determinação da resistência à compressão segundo a NBR 7215 (ABNT, 1995), esta norma também determina a moldagem e compressão de corpos de prova de argamassa.
- Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos, segundo a NRB 7222 (ABNT, 1994).
- Determinação da absorção de água por imersão, que foi verificada a partir da absorção de água dos corpos de argamassa, segundo a NBR 9778 (ABNT, 1987).

Conforme a NBR 7215 (ABNT, 1995), determinou-se a moldagem e compressão de corpos de prova de argamassa, que compreende a determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura.

Os corpos-de-prova foram elaborados com argamassa composta de uma parte de cimento, três de areia normalizada, em massa, e com relação água/cimento de 0,48. Porém para a viabilização da utilização da escória foram substituídos percentuais de escória na areia, em 12,5%, 25% e 50%, conforme tabela 3:

% de escória	Proporção areia/cimento	Nº de corpos de prova
0	03:01	3
12,5	03:01	3
25	03:01	3
50	03:01	3

Tabela 3: Proporções de adição de escórias em relação a areia.

Fonte: (AUTOR, 2015)

A argamassa foi preparada por meio de um misturador mecânico, conforme figura 7 e figura 8, e compactada manualmente em um molde, conforme figura 9, por um procedimento normalizado.

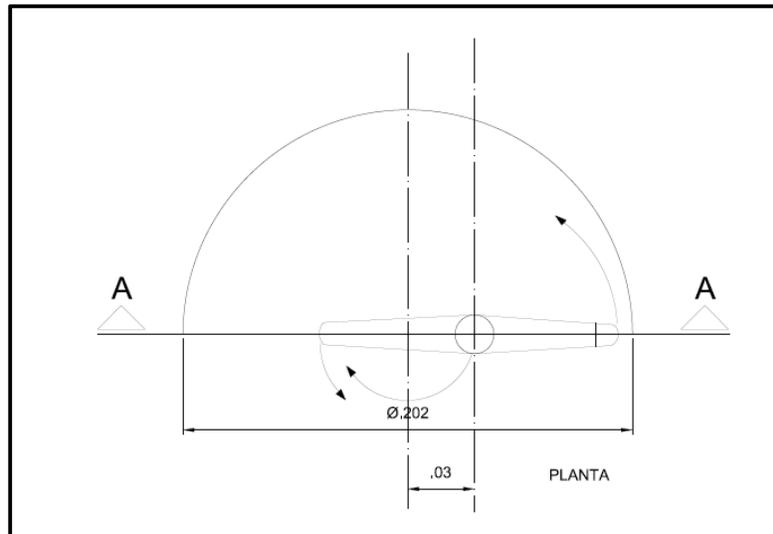


Figura 7: Misturador mecânico de argamassa – vista superior.
Fonte: (AUTOR, 2015)

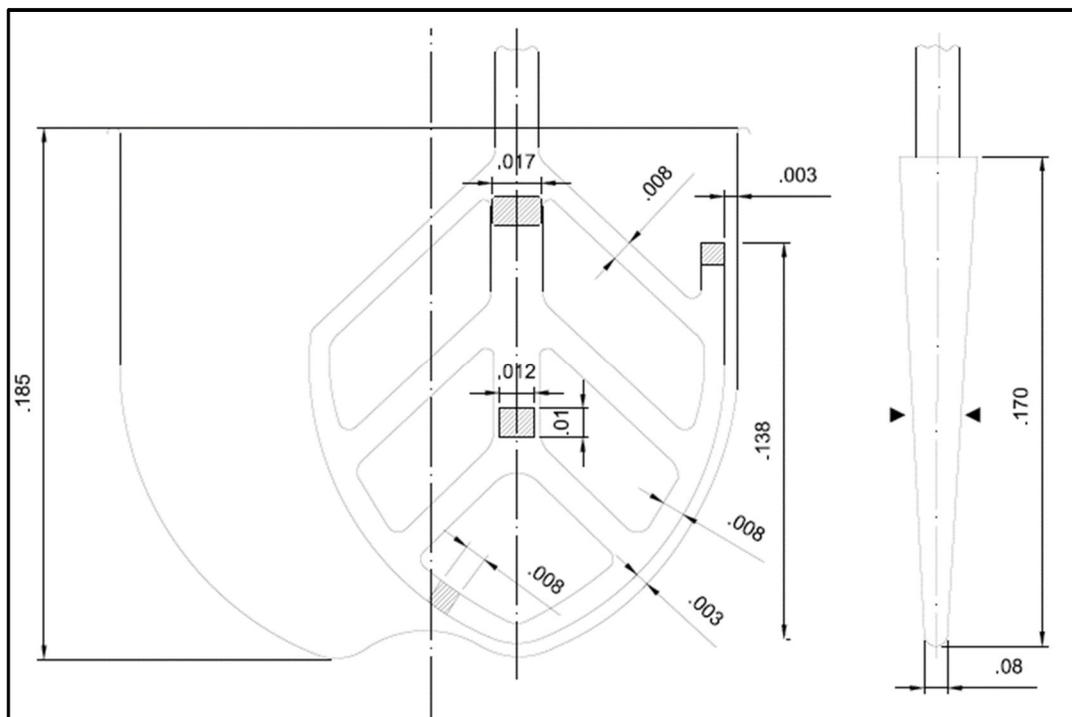


Figura 8: Misturador mecânico de argamassa – vista frontal e lateral.
Fonte: (AUTOR, 2015)

A mistura mecânica foi executada conforme item 3.5.1.2 da NBR 7215, colocando inicialmente as frações de água e cimento, misturando em velocidade baixa por 30s; após esse tempo, ir colocando as quatro frações de areia durante

30 segundos; altera a velocidade para alta e misturar mais 30 s; desligar o misturador nos primeiros 15s retirar a argamassa aderida nas paredes e pá do misturador; nos 1min 15s restante deixar descansar com pano úmido e limpo; após misturar por mais 1 min em velocidade alta. As velocidades do misturador estão na tabela 4.

Velocidade	Rotação em torno do eixo	Movimento planetário
	RPM	RPM
Baixa	140 ± 5	62 ± 5
Alta	285 ± 10	125 ± 10

Tabela 4: Proporções de adição de escória em relação a areia.
Fonte: (AUTOR, 2015)



Figura 9: Misturador mecânico de argamassa
Fonte: (AUTOR, 2015)

O molde é composto de forma cilíndrica e base, rosqueada ou não, ambas de metal não corrosível. O molde (figura 10) tem que seguir a ABNT 1020, ter no mínimo três mm de espessura e obedecer as seguintes dimensões:

a) na aquisição:

- diâmetro interno: $(50 + 0,1)$ mm;

- altura: $(100 + 0,2)$ mm;

b) em uso:

- diâmetro interno: $(50 + 0,2)$ mm;

- altura: $(100 \pm 0,5)$ mm.

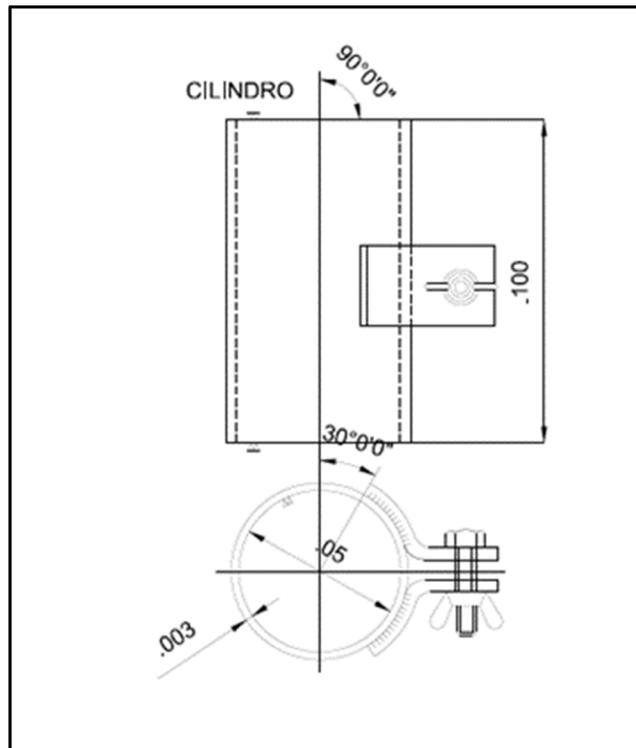


Figura 10: Molde para corpos de prova.

Para a moldagem dos corpos de prova, a superfície interna e o fundo do molde receberam uma leve camada de óleo, conforme mostrado na figura 11.



Figura 11: Fotos do molde com fundo com uma leve camada de óleo.
Fonte: (AUTOR, 2015)

A moldagem foi feita com quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes utilizando o soquete mostrado na figura 12.

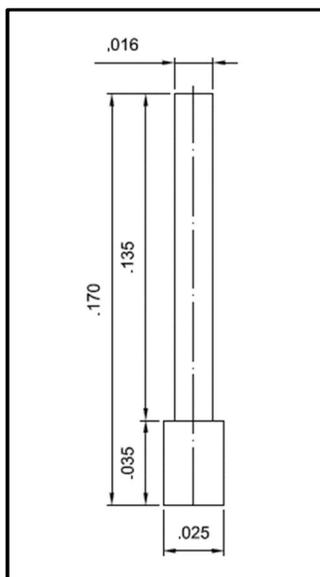


Figura 12: Soquete para moldagem de corpos de prova.
Fonte: (AUTOR, 2015)

A cura dos corpos de prova foi feita inicialmente ao ar, em câmara úmida, durante 20 a 24 h. Terminado o período inicial de cura, os corpos-de-prova foram retirados das formas, identificados e foram imersos, separados entre si no tanque de água (não corrente) saturada de cal da câmara úmida, onde permaneceram até o momento do ensaio.

Os corpos-de-prova, capeados de acordo com item 3.5.4 da norma, devem ser rompidos à compressão nas idades especificadas, para o tipo de cimento em ensaio. A idade de cada corpo-de-prova é contada a partir do instante em que o cimento é posto em contato com a água de mistura, sendo registrada na respectiva ficha de controle.

Atingida a idade, o mesmo é submetido ao ensaio de resistência à compressão. A velocidade de carregamento da máquina de ensaio, ao transmitir a carga de compressão ao corpo-de-prova, deve ser equivalente a $(0,25 \pm 0,05)$ MPa/s.

Para os ensaios de compressão diametral, utilizou-se a NBR 7222, os corpos de prova foram confeccionados conforme os procedimentos utilizados na compressão, de acordo com a norma NBR 7215.

Atingida a idade, o mesmo é submetido ao ensaio de resistência a compressão diametral, a carga foi aplicada continuamente, sem choque, com crescimento constante da tensão de tração a uma velocidade de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa/s, até a ruptura do corpo-de-prova.

Para a determinação da absorção de água por imersão, utilizou-se a NBR 9778. Para este ensaio o procedimento utilizado para confecção dos corpos de prova foram os mesmos utilizados na compressão conforme norma NBR 7215.

Atingida a idade o mesmo é submetido a aquecimento em estufa a temperatura de $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, e foram feitas medições às 24h, 48h e 72 h. Após as 72 horas foram resfriados os corpos e medido a massa.

As amostras foram submetidas à imersão, começando com 1/3 de seu volume imerso nas primeiras 4 h em água à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e 2/3 nas 4 h subsequentes, sendo completamente imerso nas 64 h restantes. Após as 24h, foram medidas as massas e também as 48h e 72 h. Após as mesmas, foram submetidas à água em ebulição por 5 horas, após deixou-se a água esfriar, pela perda natural de calor, por não menos que 14 h, até a temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$,

quando foi retirada a amostra da água e, em seguida, a mesma foi enxugada e pesada.

Todos os procedimentos foram verificados e certificados, conforme formulário em anexo I – NBR 7215 -resistência à compressão, anexo II - NBR 7222- resistência à compressão diametral, anexo III - NBR 9778 - Determinação da absorção de água por imersão, e anexo IV - NBR 9779 - Determinação da absorção de água por capilaridade e descritos nos itens subsequentes.

3.2.1 Cura

A cura dos corpos de prova foi inicialmente ao ar, feita em câmara úmida durante 20 a 24 h e a cura final em tanque de água saturada de cal se deu até a idade de cura, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996). Esse processo está descritos no anexo I, anexo II, anexo III e anexo IV, itens 5 e 6.

As idades de cura definidas para os corpos de prova foram de sete e 28 dias.

3.2.2 Procedimento de ensaios

3.2.2.1 Resistência à compressão

Este ensaio, segundo norma NBR 7215 (ABNT, 1982), consiste em determinar a resistência à compressão de corpos-de-prova de argamassa. Foram confeccionados corpos-de-prova cilíndricos com dimensões 100x50mm, em número de três para cada adição e para cada idade.

Cada corpo-de-prova foi submetido a uma prensa hidráulica de carga contínua até a ruptura do mesmo, na idade de sete e 28 dias, conforme registrado na figura 13.



Figura 13: Máquina de ensaio Emic prensa hidráulica modelo PC100C, capacidade máxima 100 tf (100.000kgf)

Fonte: (EMIC, 2014)

O resultado final foi a média dos três valores, em MPa.

3.2.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

Este ensaio, segundo norma NBR 7222 (ABNT, 1994), prescreve o método para determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos de argamassa.

Para este ensaio foram moldados os corpos de prova conforme norma NBR 7215 (ABNT, 1982). Foram confeccionados corpos-de-prova cilíndricos com dimensões 100x50mm, em número de duas para cada adição e para cada idade.

Cada corpo-de-prova foi submetido a uma prensa hidráulica (Figura 13) de carga contínua até a ruptura do mesmo, na idade de (7) sete e (28) vinte e oito dias.

O resultado final da resistência à tração por compressão diametral foi calculado pela seguinte expressão:

$$f_{t,D} = \frac{2.F}{p.d.L} \quad (1)$$

Onde:

$f_{t,D}$ = resistência à tração por compressão diametral, expressa em MPa, com aproximação de 0,05 MPa

F = carga máxima obtida no ensaio (kN)

d = diâmetro do corpo-de-prova (mm)

L = altura do corpo-de-prova (mm)

3.2.2.3 Absorção por imersão

Este ensaio, segundo norma NBR 9778 (ABNT, 1987), prescreve o modo pelo qual deve ser executado o ensaio para determinação da absorção de água, através de imersão, do índice de vazios e massa específica de argamassa endurecidos.

Para este ensaio foram moldados os corpos de prova, conforme norma NBR 7215 (ABNT, 1982).

3.2.2.3.1 - Absorção de água por imersão

Definida pela seguinte expressão:

$$\frac{M_{Sat} - M_S}{M_{Sat}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

M_{sat} = massa do corpo-de-prova saturado

M_s = massa do corpo-de-prova seco em estufa

3.2.2.3.2 Índice de vazios

3.2.2.3.2.1- Relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total, sendo calculada pela seguinte expressão

$$\frac{M_{Sat} - M_S}{M_{Sat} - M_i} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

M_i = massa do corpo-de-prova saturado, imerso em água

3.2.2.3.2.2 A saturação do corpo-de-prova pode ser feita em uma das condições a seguir, em função da especificação

- a) imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$;
- b) imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, seguida de permanência em água em ebulição durante 5 h.

As amostras podem ser obtidas em argamassa moldadas, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996) para análise de composições de argamassa. Destaca-se que o ensaio deve ser constituído por três amostras.

Conforme itens 7 a 17 do anexo III, verifica-se os resultados da absorção após imersão em água usando as massas determinadas e fazer os seguintes cálculos através da média de três amostras de ensaio:

Absorção após imersão em água à temperatura de: $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, em percentagem

$$\frac{B - A}{A} \times 100 \quad (4)$$

Absorção após imersão e fervura, em percentagem

$$\frac{C - A}{A} \times 100 \quad (5)$$

Índice de vazios após saturação em água, em percentagem

$$\frac{B - A}{B - D} \times 100 \quad (6)$$

Índice de vazios após saturação e fervura, em percentagem

$$\frac{C - A}{C - E} \times 100 \quad (7)$$

Massa específica da amostra seca

$$\frac{A}{C - D} \quad (8)$$

Massa específica da amostra após saturação = $[B/(C - D)]$;

$$\frac{B}{C - D} \quad (9)$$

Massa específica da amostra após saturação e fervura = $[C/(C - D)]$;

$$\frac{C}{C - D} \quad (10)$$

Massa específica real

$$\frac{A}{A - D} \quad (11)$$

Onde:

A = massa, em g, da amostra seca em estufa

B = massa, em g, da amostra saturada em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ com superfície seca.

C = massa, em g, da amostra com superfície seca, após saturação em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, e fervura em água em ebulição durante 5 h

D = massa, em g, da amostra, após saturação em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$

E = massa, em g, da amostra após saturação em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, e fervura em água em ebulição durante 5 h

3.2.2.4 Microscopia

Os fragmentos dos corpos-de-prova recuperados do ensaio de resistência à compressão, foram submetidos a um estudo de caracterização da microestrutura por meio da técnica de microscopia eletrônica de varredura. As micrografias foram

obtidas em um Microscópio Eletrônico de Varredura HITACHI, TM 3000, disponível no laboratório da UniFOA (Volta Redonda-RJ).

4. RESULTADOS

4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Conforme norma NBR 7215 (ABNT, 1982), descrita no anexo I, foi determinada a resistência à compressão de corpos-de-prova de argamassa e obteve-se os seguintes resultados descritos na tabela 5:

Corpo de prova	idade	% de escória na areia	Resistência a compressão (MPa)	media da resistência (MPa)	Desvio padrão	Desvio relativo máximo (%)
1	7	0	25,1			0,76%
2	7	0	25,37	25,3	0,2	0,30%
3	7	0	25,41			0,46%
1	7	12,5	23,86			0,85%
2	7	12,5	24,33	23,7	0,8	2,83%
3	7	12,5	22,79			3,68%
1	7	25	20,47			6,04%
2	7	25	20,25	19,3	1,8	4,90%
3	7	25	17,19			10,95%
1	7	50	17,77			7,46%
2	7	50	15,67	16,5	1,1	5,24%
3	7	50	16,17			2,22%

Tabela 5: Resultados de corpos de prova de compressão de idade de 7 dias.

Fonte: (AUTOR, 2015)

Assim, pode-se observar na tabela 5, que há uma diminuição dos valores de resistência à compressão, à medida que se aumenta o percentual de escória na areia, em cerca de 8,8Mpa de média de 0% para 50% de adição de escória a mistura.

O desvio padrão das amostras de 0% foi satisfatório em torno de 0,2%.

Já a diferença entre os valores obtidos em 12,5% em relação a 0% foi de 1,6 Mpa e o desvio padrão das amostras foi de 0,8%.

Houve queda de 4,4 Mpa nos corpos de prova de 25% em relação ao 12,5% e em relação ao de 0% foi maior 6 Mpa. O desvio padrão foi significativo entre as amostras foi de 1,8.

Já os corpos de prova de 50% de adição de escória houve uma diferença de 2,8 Mpa em relação aos corpos de 25% e o desvio padrão foi também significativo 1,1%.

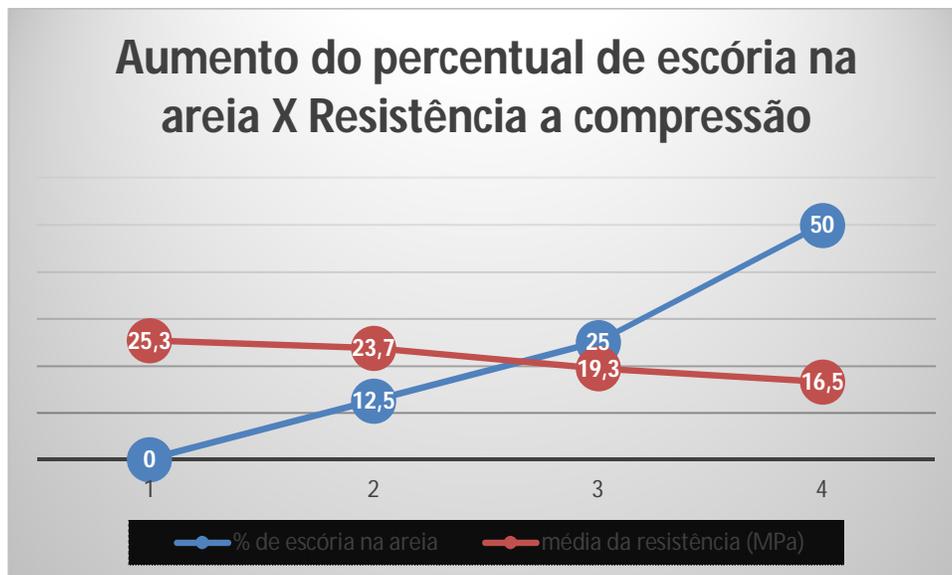


Figura 14: Avaliação de aumento de proporção de escoria X relação de resistência a compressão (idade: 7 dias)

Fonte: (AUTOR, 2015)

Pela análise gráfica descrita na figura 14, pode-se observar uma queda de 8,8 MPa, entre os corpos de 0% a 50 % de escória. Porém, os valores de sete dias com substituição de 12,5% de areia apresentaram valores de resistência bem próximos aos corpos de prova de 0%.

Corpo de prova	Idade	% de escória na areia	Resistência a compressão (MPa)	Média da resistência (MPa)	Desvio padrão	Desvio relativo máximo (%)
1	28	0	35,05			0,69%
2	28	0	34,53	34,8	0,3	0,80%
3	28	0	34,85			0,11%
1	28	12,5	32,57			0,70%
2	28	12,5	31,99	32,3	0,3	1,09%
3	28	12,5	32,47			0,39%
1	28	25	31,44			1,04%
2	28	25	31,99	31,1	1,1	2,81%
3	28	25	29,92			3,85%
1	28	50	30,25			1,53%
2	28	50	30,46	30,7	0,6	0,85%
3	28	50	31,45			2,38%

Tabela 6: Resultados de corpos de prova de compressão de idade de 28 dias.
Fonte: (AUTOR, 2015)

Pode-se observar na tabela 6, que há uma diminuição dos valores de resistência à compressão, à medida que se aumenta o percentual de escória na areia, cerca de 4,1Mpa de média de 0% para 50% de adição de escória a mistura.

O desvio padrão das amostras de 0% foi satisfatório em torno de 0,3.

Já a diferença entre os valores obtidos em 12,5% em relação a 0% foi de 2,5 Mpa e o desvio padrão das amostras foi de 0,3, também considerado satisfatório.

Houve queda de 1,2 Mpa nos corpos de prova de 25% em relação ao 12,5% e em relação ao de 0% foi maior 3,7Mpa. O desvio padrão foi significativo entre as amostras foi de 1,1.

Já os corpos de prova de 50% de adição de escória, conforme houve uma diferença de 0,4 Mpa em relação aos corpos de 25% e o desvio padrão foi 0,6, pode ser considerado como um valor bom.

Há uma instabilidade nos valores de 25%, tanto para os de sete dias e os de 28 dias, causando um desvio padrão alto 1,8 para corpos de prova de sete dias e 1,1 para 28 dias.

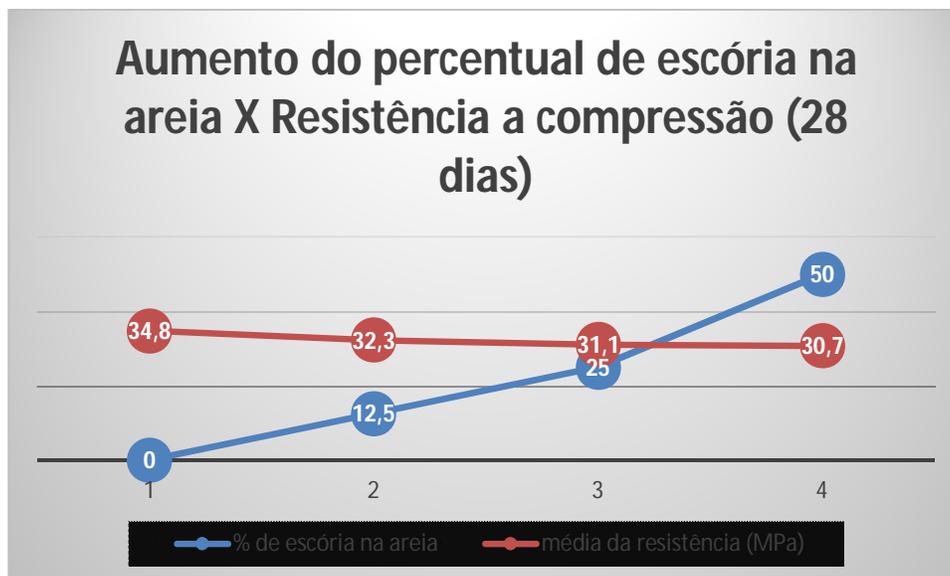


Figura 15: Análise gráfica da Resistência a compressão – 28 dias
Fonte: (AUTOR, 2015)

Pelo gráfico apresentado na figura 15, pode-se observar que houve uma queda de 4,08 MPa de resistência à compressão, porém o valor de 50% ainda sim é muito superior ao melhor valor dos corpos de prova de 7 dias, 25,3MPa.

Comparando as duas idades constatou-se que as amostras de 28 dias têm valores mais estáveis e maior valor de resistência que as amostras de sete dias e a variação de resistência é metade comparada a idade de 7 dias.

4.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Conforme norma NBR 7222 (ABNT, 1994), descrita no anexo I, que determina a resistência à compressão de corpos-de-prova de argamassa, obteve-se os resultados registrados na tabela 7:

% de escória	Idade (dias)	Força (kN)	Média (KN)	Desvio Padrão	Tensão (Mpa)	Média (MPa)	Desvio Padrão
0	7	24,52			0,78		
0	7	36,92	32,66	5,76	1,18	1,04	0,18
0	7	36,53			1,16		
12,5	7	18,71			0,60		
12,5	7	21,17	21,93	2,98	0,67	0,70	0,09
12,5	7	25,9			0,82		
25	7	56,22			1,79		
25	7	114,28	76,49	26,75	3,64	2,43	0,85
25	7	58,96			1,88		
50	7	53,83			1,71		
50	7	55,86	53,80	1,70	1,78	1,71	0,05
50	7	51,7			1,65		

Tabela 7: Resultados de corpos de prova de compressão diametral de idade de 7 dias.
Fonte: (AUTOR, 2015)

Pode-se observar através da tabela 7, que há uma diminuição dos valores de tração quando se substitui 12,5% de areia por escória em torno de 0,34MPa. O desvio padrão foi de 0,18.

Os corpos de prova de 25% de adição de escória aumentam significativamente os valores em relação a 12,5% e a 0%, 1,74 MPa e 1,4 MPa respectivamente. O desvio padrão foi de 0,85. A média foi desproporcional devido a um dos corpos de prova de 25% ter apresentado valor de tensão de 114 kN.

Os corpos de provas de 50% tiveram 0,7 Mpa maior em comparação aos corpos de 0% e um desvio padrão de excelente de 0,05.

Pode-se verificar estes comportamentos por meio da figura 16.

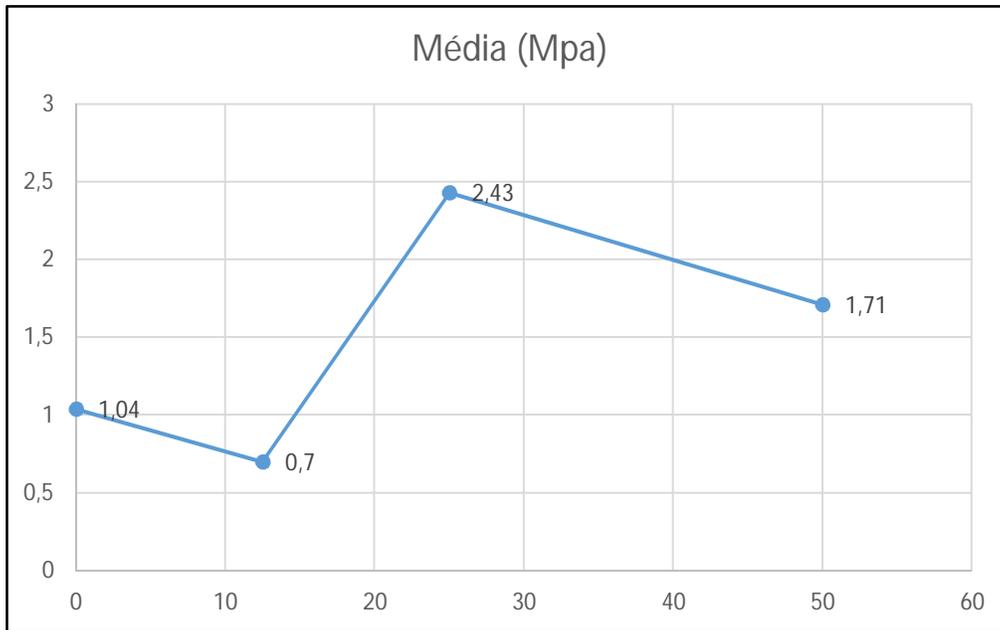


Figura 16: Análise gráfica da Resistência a compressão diametral – 7 dias
Fonte: (AUTOR, 2015)

Constatou-se, conforme apontado na tabela 8, que há uma diminuição dos valores de resistência à tração, de acordo com o aumento percentual de adição de escória na areia, cerca de 0,83 Mpa de média de 0% para 50% de adição de escória a mistura.

% de escória	idade (dias)	Força (kN)	Média (KN)	Desvio Padrão	Tensão (Mpa)	Média (Mpa)	Desvio Padrão
0	28	74,38			2,37		
0	28	80,71	89,12	16,58	2,57	2,84	0,53
0	28	112,28			3,57		
12,5	28	75,66			2,41		
12,5	28	64,42	71,91	5,29	2,05	2,29	0,17
12,5	28	75,64			2,41		
25	28	82,45			2,62		
25	28	81,33	83,64	2,52	2,59	2,66	0,08
25	28	87,15			2,77		
50	28	58,05			1,85		
50	28	68,31	66,26	6,05	2,17	2,11	0,19
50	28	72,43			2,31		

Tabela 8: Resultados de corpos de prova de compressão diametral de idade de 7 dias.
Fonte: (AUTOR, 2015)

O desvio padrão das amostras de 0% foi satisfatório em torno de 0,53.

O desvio padrão das amostras de 0% foi significativo em torno de 0,17.

Já a diferença entre os valores obtidos em 12,5% em relação a 0% foi de 0,55Mpa e a diferença entre o desvio padrão das amostras foi de 0,36, valor um pouco alto devido uma amostra de 0% ter tido um valor de 112,28kN.

Houve queda de 0,55 Mpa nos corpos de prova de 25% em relação ao 12,5% e em relação ao de 0% foi de 0,37 Mpa. O desvio padrão foi em torno de 0,1.

Já os corpos de prova de 50% de adição de escória, conforme houve uma queda na média de 0,55 Mpa em relação aos corpos de 25% e o desvio padrão foi 0,19 um valor bom.

Comparando as duas idades pode-se observar que as amostras de 28 dias têm valores mais estáveis e maior valor de resistência que as amostras de sete dias

Há uma instabilidade nos valores de 25% tanto para os de sete dias e os de 28 dias, causando um desvio padrão alto, que, provavelmente, foi em função da mistura para as duas idades terem sido feitas juntas (figura17).

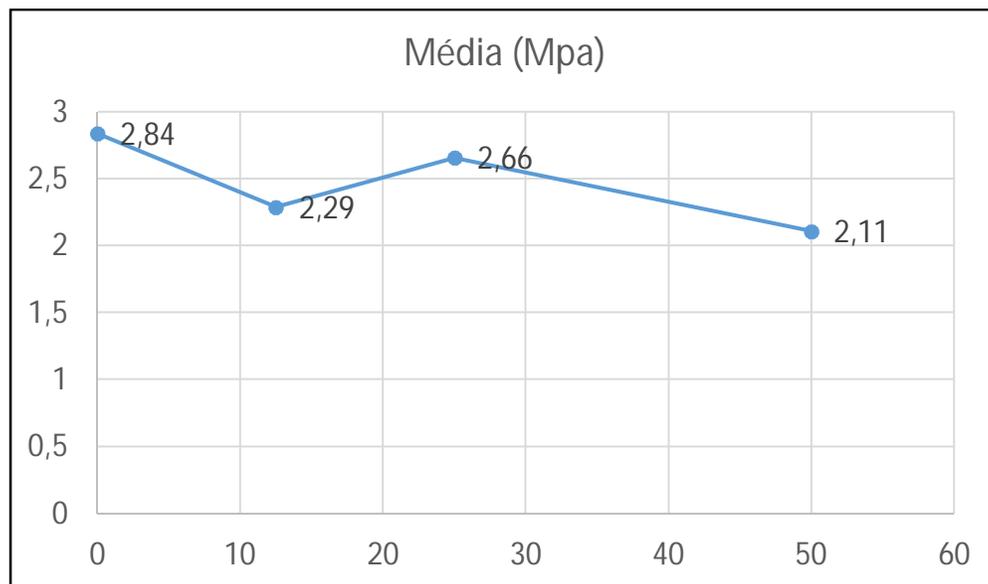


Figura 17: Análise gráfica da Resistência à compressão diametral – 28 dias
Fonte: (AUTOR, 2015)

4.3 ABSORÇÃO POR IMERSÃO

Pode-se observar nas tabelas 9 e 10, que com a adição de escória em substituição ao percentual de areia, a absorção de água se reduz, mostrando que não há retenção de água nos corpos.

Corpo de prova	Idade	% de escória na areia	Relação fração de areia cimento	antes da estufa (g)	Estufa 24h (g)	Estufa 48h (g)	Estufa 72h	imersão 24h (g)	imersão 48h (g)	imersão 72h (g)
1	28	0	3/1	444,5	441,4	441,3	440,5	445,3	446,7	446,8
2	28	0	3/1	475,7	468,2	467,8	466,5	450,8	451,4	451,9
3	28	0	3/1	448,3	447,5	445,4	444,3	449,5	450,3	450,9
1	28	12,5	3/1	485,5	484,1	483,7	482,8	489,8	490,4	491,2
2	28	12,5	3/1	483,2	482,3	481,5	480,6	488,5	489,8	490,5
3	28	12,5	3/1	484,4	483,4	482,4	481,8	488,4	490,6	491,4
1	28	25	3/1	492,3	491,6	491	490,4	495,5	496,1	497,2
2	28	25	3/1	488,3	487,1	486,5	484,8	486,2	488,2	488,7
3	28	25	3/1	487,8	486,5	485,1	483,2	485,4	486,3	486,7
1	28	50	3/1	495,5	494,3	493,4	492,6	495,3	496,1	496,6
2	28	50	3/1	488,7	487,3	486,5	485,4	488,2	488,7	490,3
3	28	50	3/1	499,8	498,7	498,2	497,5	499,5	500,3	500,9

Tabela 9: Resultado de absorção de água.

Fonte: (AUTOR, 2015)

Corpo de prova	Idade	% de escória na areia	Relação fração de areia cimento	Cálculo de absorção por imersão	Media	Desvio padrão
1	28	0	3/1	0,91		
2	28	0	3/1	1,97	1,26	0,62
3	28	0	3/1	0,90		
1	28	12,5	3/1	0,56		
2	28	12,5	3/1	0,54	0,55	0,01
3	28	12,5	3/1	0,54		
1	28	25	3/1	0,39		
2	28	25	3/1	0,72	0,69	0,28
3	28	25	3/1	0,95		
1	28	50	3/1	0,59		
2	28	50	3/1	0,68	0,58	0,11
3	28	50	3/1	0,46		

Tabela 10: Desvio padrão para absorção de água.

Fonte: (AUTOR, 2015)

A diferença de absorção entre os corpos de prova de 0% para 12,5% de escória na areia foi de 0,7 g. Mas o desvio padrão das amostras de 12,5% foi excelente, 0,01.

Já a diferença entre os corpos de 12,5% e 25% houve aumento de 0,14g na média. No entanto, para os corpos de prova de 25% o desvio padrão foi o mais alto dos corpos de prova com adição de escória, 0,28.

Ao observar os corpos com 50% de escória na areia, constata-se uma redução na absorção de água, 0,58g bem próximo aos valores dos corpos de prova de 12,5% e mais baixo em 0,11g dos corpos de 25%. Valores estes satisfatórios. Esses dados estão registrados nas figuras 18 e 19.

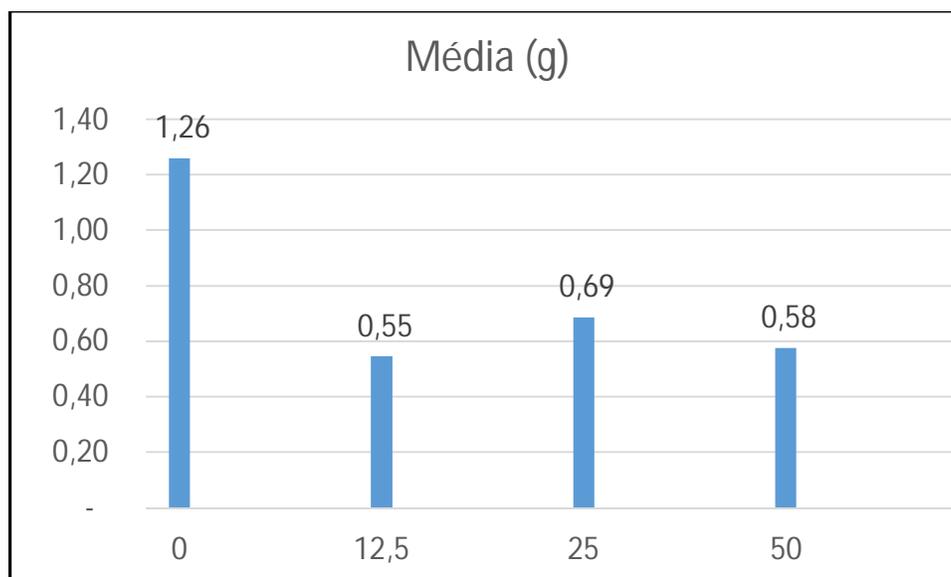


Figura 18: Análise gráfica para média absorção de água por percentual de escória.

Fonte: (AUTOR, 2015)

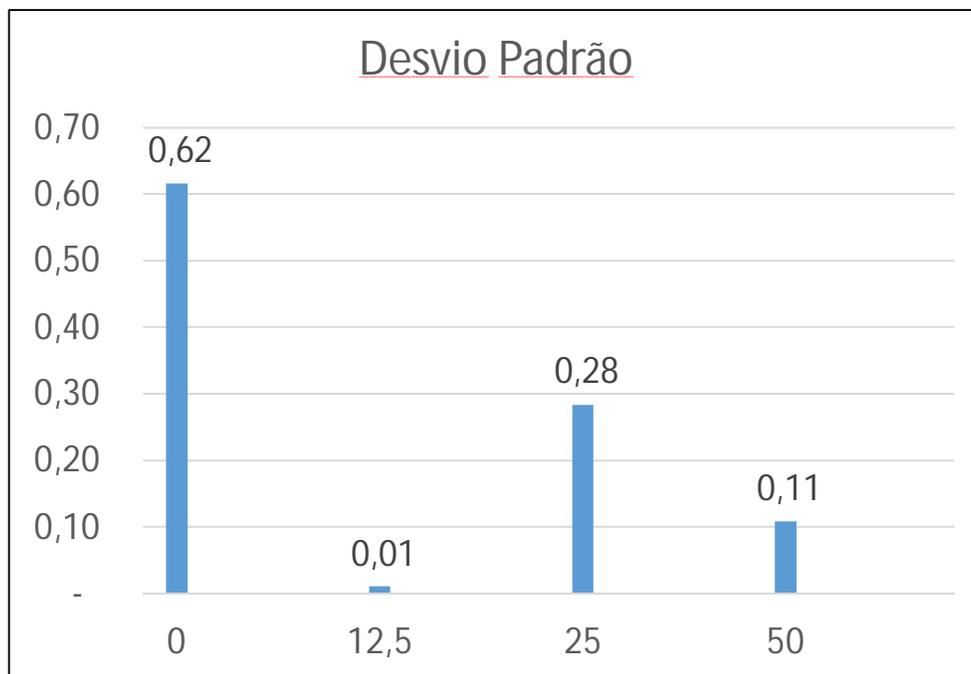


Figura 19: Análise gráfica para desvio padrão absorção de água por percentual de escória.
Fonte: (AUTOR, 2015)

4.4 MICROSCOPIA

A técnica de microscopia eletrônica de varredura teve por objetivo determinar as características dos corpos de prova de argamassa sem adição de escória e com adição em percentual de escória na areia.

Conforme observado nas figuras 20, 21 e 22, sem adição de escória, as partículas mais finas sofrem a formação mineralógica clássica e a interface entre os grãos aglutinadas pelo ligante.

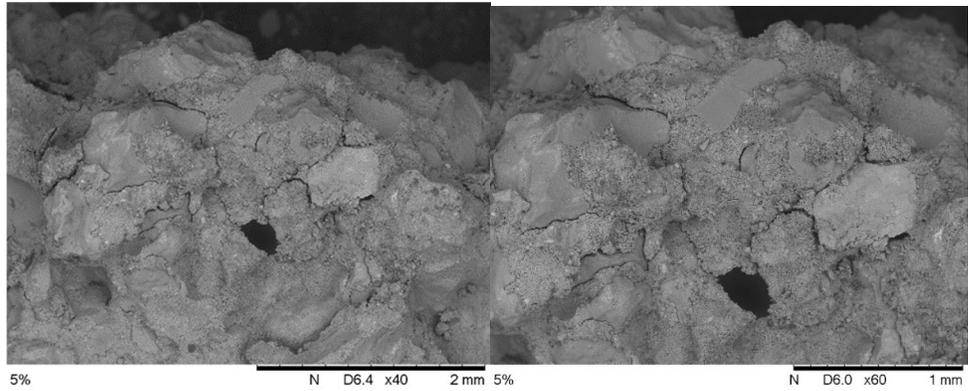


Figura 20: MEV corpos de 0% de adição de escória ampliados 40X e 60X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

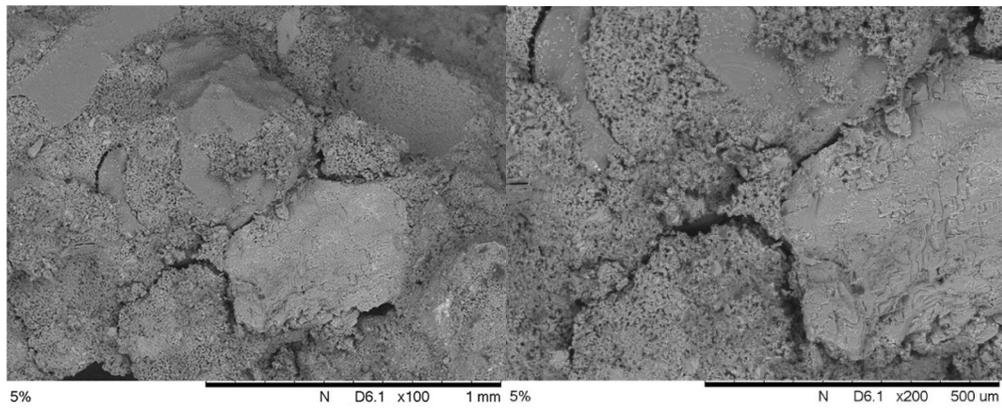


Figura 21: MEV corpos de 0% de adição de escória ampliados 100X e 200X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

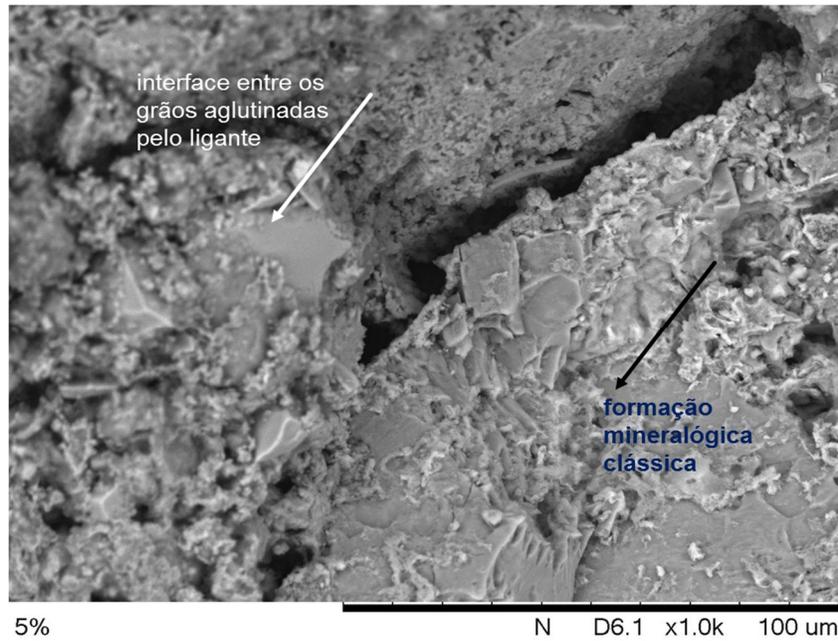


Figura 22: MEV corpos de 0% de adição de escória ampliados 1000X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

Já em relação às imagens com adição de escória proporcionais as suas quantidades, observa-se os cristais aderidos às interfaces dos contornos de grão, em face de possível concentração de energia no contorno de grão. Pode-se verificar esse fenômeno nas figuras 23, 24, 25 e 26, que atingem um aumento de 1000X nos corpos de prova com 12,5% de adição de escória a areia.

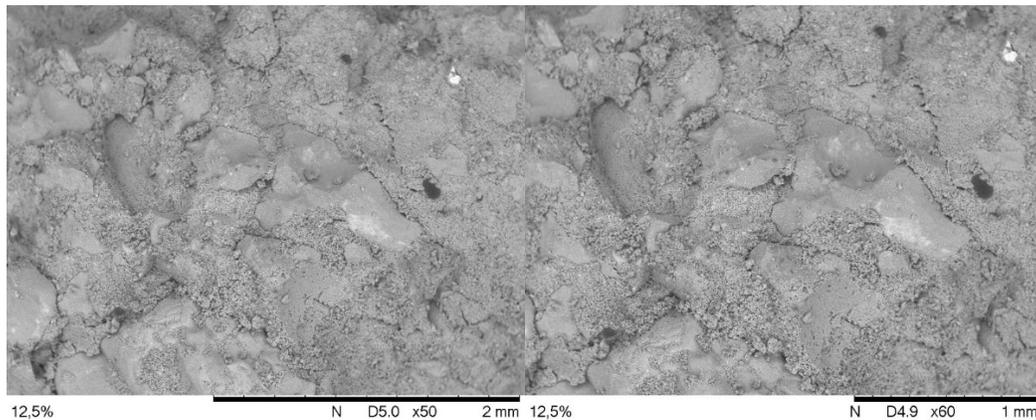


Figura 23: MEV corpos de 12,5% de adição de escória ampliados 40X e 60X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

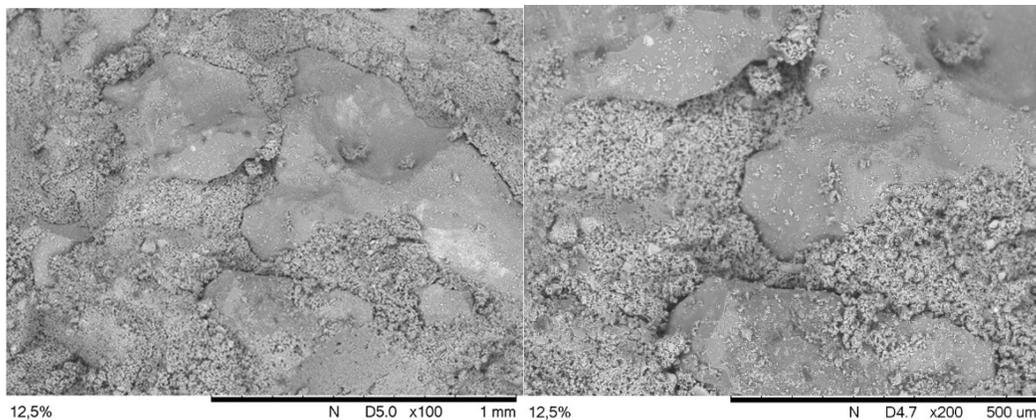


Figura 24: MEV corpos de 12,5% de adição de escória ampliados 100X e 500X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

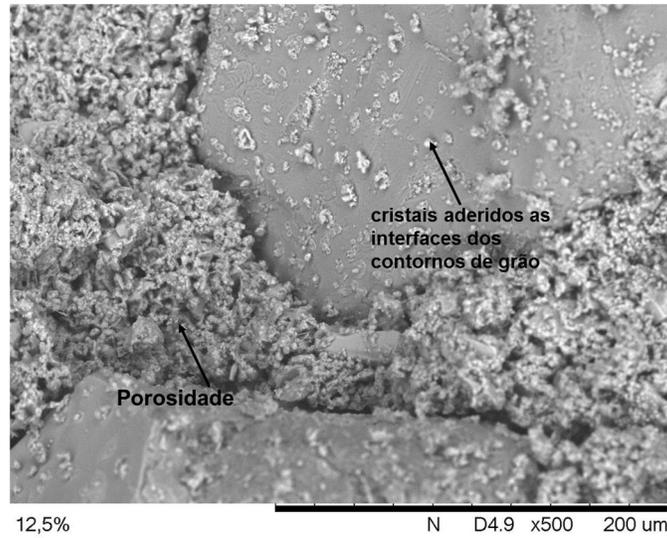


Figura 25: MEV corpos de 12,5% de adição de escória ampliados 500X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

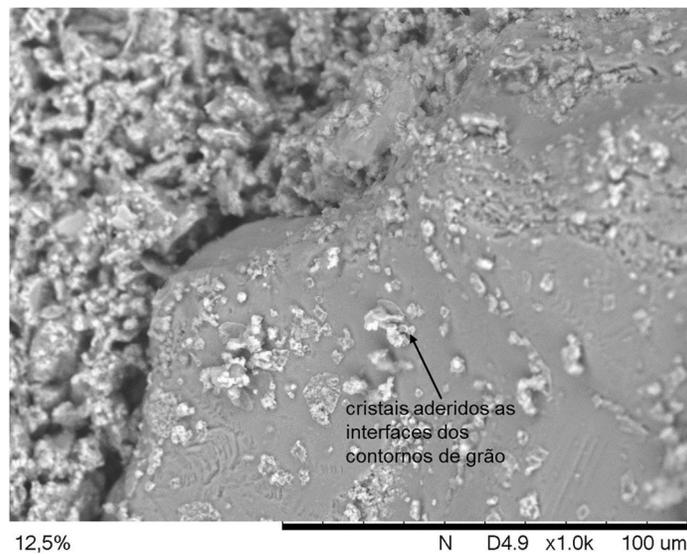


Figura 26: MEV corpos de 12,5% de adição de escória ampliados 1000X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

A 25% de adição de escória pode-se observar a porosidade, assim, há também uma interação entre areia e escória, face a interação, conforme mostrado nas figuras 27, 28, 29 e 30.

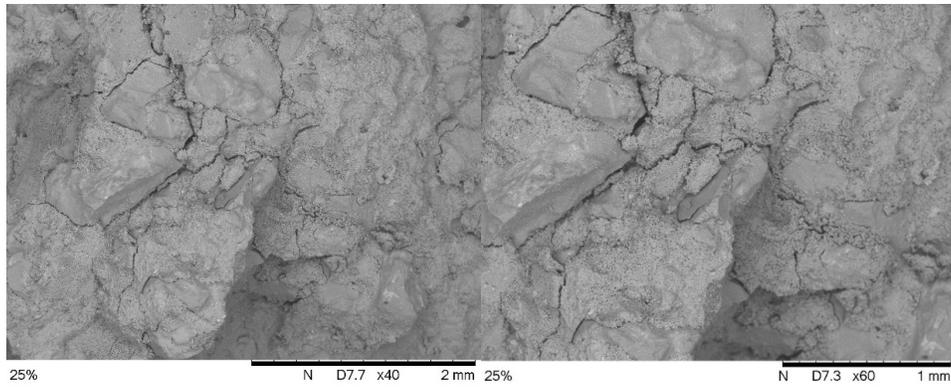


Figura 27: MEV corpos de 25% de adição de escória ampliados 40X e 60X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

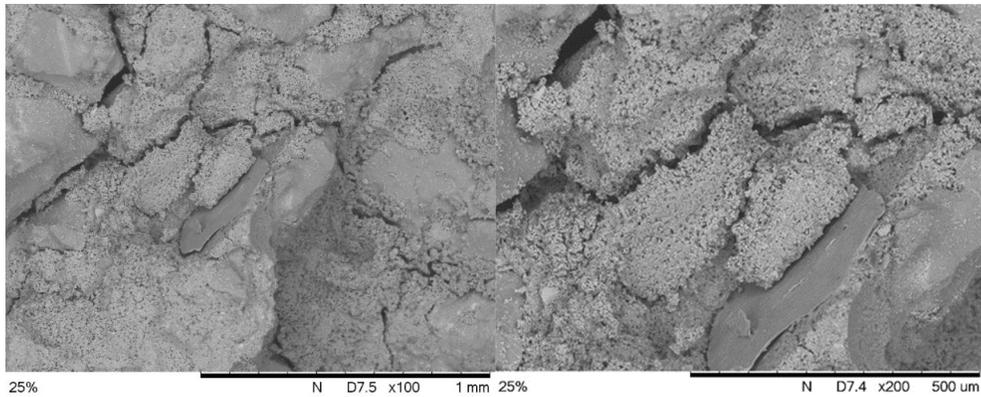


Figura 28: MEV corpos de 25% de adição de escória ampliados 100X e 200X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

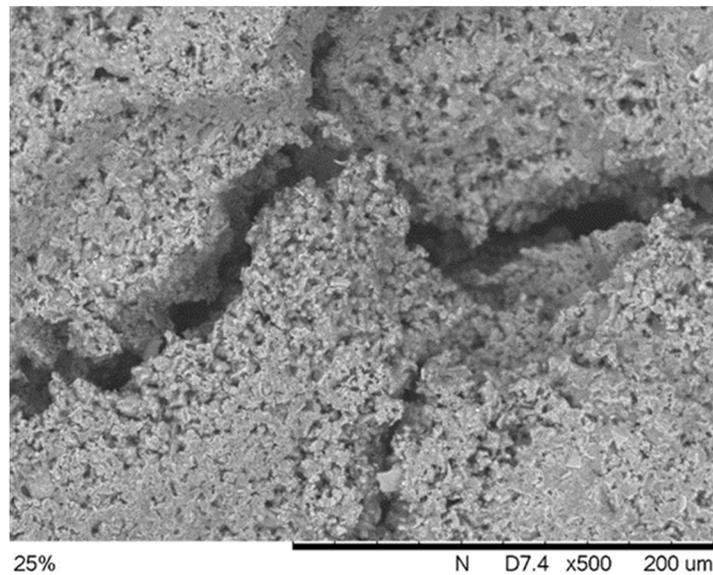


Figura 29: MEV corpos de 25% de adição de escória ampliado 500X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

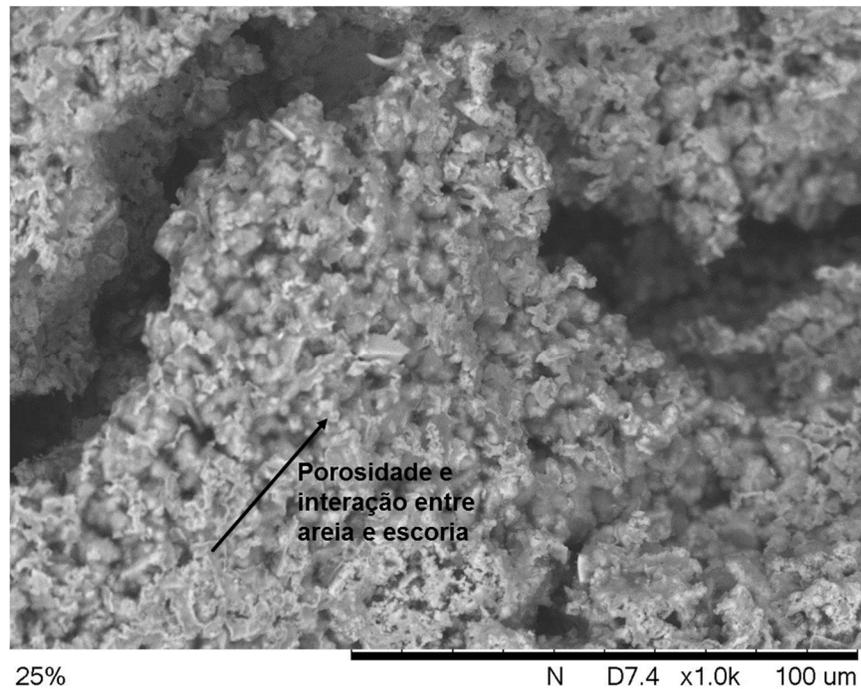


Figura 30: MEV corpos de 25% de adição de escória ampliado 1000X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

Pode-se observar em 50% de adição de escória a areia que a diferença de granulometria da escória é maior que a da areia. E em 1000X de aumento observa-se a separação, conforme apontado nas figuras 31, 32, 33 e 34.

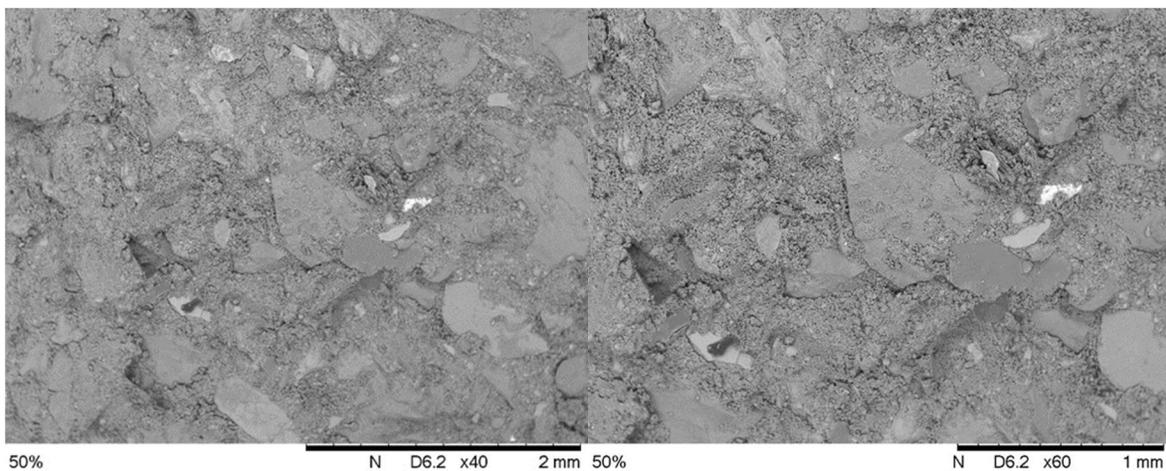


Figura 31: MEV corpos de 50% de adição de escória ampliados 40X e 60X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

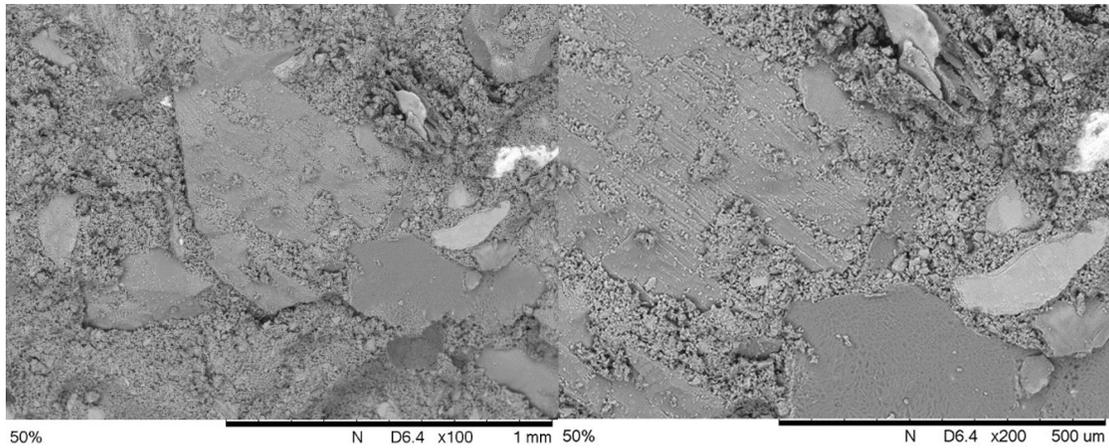


Figura 32: MEV corpos de 50% de adição de escória ampliados 100X e 200X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

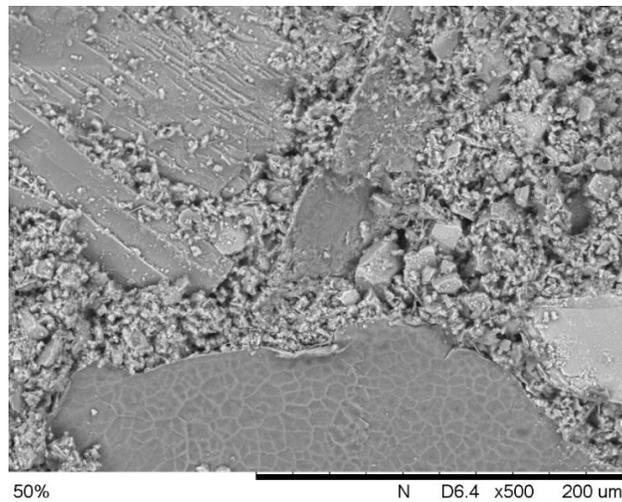


Figura 33: MEV corpos de 50% de adição de escória ampliados 500X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

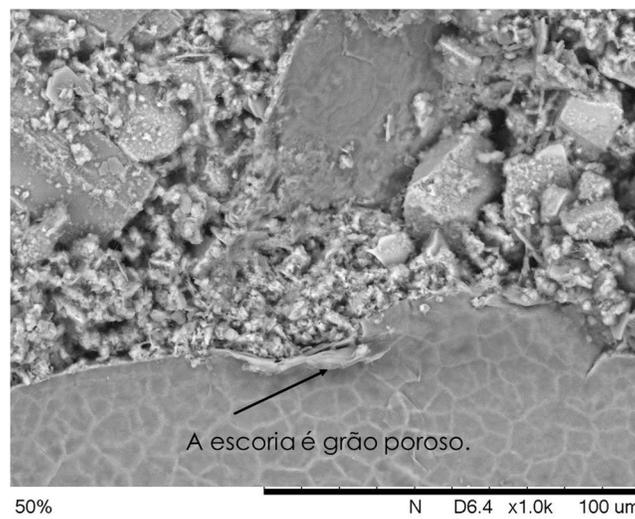


Figura 34: MEV corpos de 50% de adição de escória ampliados 1000X.
Fonte: (AUTOR, 2015)

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos foi possível avaliar o efeito da adição percentual de escória em areia nos traços de argamassa.

Quanto aos resultados obtidos nos ensaios dos corpos de prova podemos chegar as seguintes conclusões:

- o aumento do percentual de escória ocasionou uma maior porosidade na argamassa, porém não há uma retenção de água;
- a porosidade em alguns resultados de compressão e tração ter sido maiores, possivelmente foi devido à propriedade cimentíssia e aglutinante da escória imediata ou curto prazo;
- a resistência mecânica da argamassa com agregado de escória foi inferior à argamassa de referência em até em 35% em 7 dias e 12% em 28 dias à compressão;
- nas argamassas com adição de escória, observa-se os cristais aderidos às interfaces dos contornos de grão, em face de possível concentração de energia no contorno de grão;
- a 25% de adição de escória, pode-se observar a porosidade. No entanto, ocorreu também uma interação entre areia e escória;
- a escória se mistura ao aglutinante (cimento) e em alguns casos fica no contorno de grão;
- para a absorção de água por imersão a variação de absorção se deu numa média de $\pm 5\%$.

A partir dos resultados encontrados, pode-se concluir que as adições de escória de aciaria em argamassa possuem características apropriadas para serem reutilizadas e recicladas, principalmente em 25% de adição, objetivando reduzir os impactos ambientais e econômicos causados pelo descarte de escória em aterros.

6. INDICAÇÕES FUTURAS

Algumas etapas, não menos relevantes das que aqui foram apresentadas, carecem de ser tratadas mais detalhadamente. Essas etapas que não foram incluídas no presente trabalho deveriam ser objeto de estudo de futuros pesquisadores. Dessa forma, pode-se salientar que as perspectivas futuras desse trabalho são:

- reduzir a granulometria da escória através de moagem para reduzir a separação vista nos corpos de prova de 50%, e melhorar a interface entre os grãos aglutinadas pelo ligante;
- estudo da viabilidade econômica da adição da escória na argamassa;
- observar a evolução das propriedades reológicas e do comportamento da argamassa aglutinante dos agregados graúdos com a adição de escória ao longo do tempo, principalmente por causa das propriedades expansivas da escória quando apresenta significativo teor de enxofre.
- as características da argamassa com adição de escória quanto à molhabilidade em casos de variação de temperatura;
- fazer testes com adição de escória em argamassa utilizando outros tipos de cimento: AF32, 40, 50, etc.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7. ed. São Paulo, 2002. 24p. Disponível em: http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2009/12/BT106_2003.pdf. Acesso em 14 de março de 2015.

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em <http://www.abes-dn.org.br>. Acessado em 14 de março de 2015.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5.732 - **Cimento Portland comum-especificação**. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

_____. NBR 5.738 – **Concreto**: procedimento de moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro. 2008. 9p.

_____. NBR 7.211 - **Agregados para Concreto**: especificação. Rio de Janeiro, 2009, 12p.

_____.NBR 7.214 - **Normal para ensaio de cimento**. Rio de Janeiro, 1982. 7p.

_____.NBR 7.215 - **Cimento Portland**: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8p.

_____.NBR 7.219 – **Agregados**: determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987. 8p.

_____. NBR 7.222 – **Argamassa e concreto**: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.3p.

_____. NBR 9.935 – **Agregados**: terminologia. Rio de Janeiro, 1987. 6p.

_____. NBR 10.004 – **Resíduos Sólidos**: classificação. 2004.

_____. NBR 12.655 – **Concreto**: preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 1996, 7p.

ANDRADE, L. S. **Preparação e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras da casca de noz macadâmia**. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda-RJ, 2015, 65 p.

ARAÚJO JÚNIOR, J. M. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

BAUER, L. A. **Materiais de construção**. 5 ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2011, 471 p.

BAUER, E. ; *et al.* **Revestimentos de argamassa** - características e peculiaridades. 1. ed. BRASÍLIA: LEM-UnB - SINDUSCON/DF, 2005. v. 1. Disponível em: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/123/anexo/revesar.pdf> Acesso em 14 de março de 2015.

CARASEK, H. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. Ed. G.C. Isaia – São Paulo: IBRACON, 2007.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A. e JOHN, V. M. **A massa unitária da areia como parâmetro de análise das características de argamassas**. Ambiente Construído, v. 1, n. 2, p. 37-44. São Paulo, 1997.

EUROSLAG - The European Association representing metallurgical slag producers and processors **Statistics 2010**. Disponível em: http://www.euroslag.com/fileadmin/_media/images/statistics/Statistics_2010_download.pdf. Acessado em 14 de março de 2015.

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral/Ministério de Minas e Energia. **Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional - Plano de Ação 2007-2010**. Disponível em http://www.mct.gov.br/upd_blob/0021/21439.pdf. Acessado em 14 de março de 2015.

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.

GEYER, A. L. B. **Estudo sobre a disposição final e potencialidades de aproveitamento das cinzas de lodos de estações de tratamento de esgotos sanitários de Porto Alegre como insumo na produção de concreto.** Tese (Doutorado em Engenharia)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. NORIE/UFGRS, 2000, 165 p.

GEYER, R. M. T. **Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto.** Dissertação para a obtenção do título de Doutor em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, 187 p.

GEYER, R. M. T. *et al.* **Escórias Siderúrgicas:** caracterização e aplicações para a Indústria da Construção Civil. In: Seminário de Redução e Matérias-Primas Resíduos na Siderurgia, 25. Volta Redonda, RJ. Anais... Volta Redonda, 1994, p.363- 381.

LAREX - Laboratório de Reciclagem, Tratamento de Resíduos e Metalurgia Extrativa. **Reciclagem da Escória de Aciaria.** São Paulo, SP, 2008. Disponível em <http://www.pmt.usp.br/larex/trabalhos/Reciclagem%20Escoria.pdf>. Acessado em 14 de março de 2015.

LEONARDO, A. **Reciclagem de escória cristalizada para produção de Argamassas.** Curso de Mestrado da Universidade Federal de Itajubá. Universidade Federal de Itajubá, 2006, 81p. .

LÚCIO, A. **Físico-química metalúrgica - 2ª parte.** Belo Horizonte, 1981. p. 555-599.

MELLO, A. L. **Utilização de resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa.** Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2011, 173 p.

PEREIRA, E. A. C. **Aspectos técnicos da gestão de resíduos nas siderúrgicas integradas a coque.** In: Seminário de Redução e Matérias-Primas Resíduos na Siderurgia, 25. Volta Redonda, RJ. Anais. Volta Redonda, 1994, p.187-199.

PETRUCCI, E. G. **Concreto de Cimento Portland.** São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1968.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999, 189 p.

ANEXO I

Checklist NBR 7215- resistência a compressão. Fonte: (AUTOR, 2015)

 Mestrado Profissional em Materials		VERIFICAÇÃO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO			
		Conforme recomendação da NBR 7215			
C.P:	Idade:	% de escória:	DATA: / /		HORA :
Atesto que os paramentos abaixo foram verificados, tendo o status indicado.					
1 - A temperatura do laboratório estava 24 ± 4 °C			OK ()	NOK ()	NA ()
2 - A mistura mecânica foi executada conforme item 3.5.1.2. Colocar inicialmente as frações de água e cimento, misturando em velocidade baixa por 30 s; após esse tempo ir colocando as 4 frações de areia durante 30 segundos; altera a velocidade para alta e misturar mais 30 s; desligar o misturador nos primeiros 15s retirar a argamassa aderida nas paredes e pá do misturador; nos 1min 15s restante deixar descansar com pano umido e limpo; após misturar por mais 1 min em velocidade alta.			OK ()	NOK ()	NA ()
3 - A superfície interna e o fundo da forma recebeu uma leve camada de óleo.			OK ()	NOK ()	NA ()
4 - A moldagem foi feita com quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes.			OK ()	NOK ()	NA ()
5 - A cura inicial ao ar foi feita em camara úmida durante 20 a 24 h.			OK ()	NOK ()	NA ()
6 - A cura final em tanque de água saturada de cal se deu até a idade de rompim			OK ()	NOK ()	NA ()
7 - Os corpos-de-prova foram capeados com a mistura de enxofre a quente.			OK ()	NOK ()	NA ()
8 - Foi limpo completamente os pratos da prensa e colocado em operação a máquina de compressão com a escala tal que a carga de ruptura sej maior que 10% a escala que e menor 90% da leitura maxima da escala.			OK ()	NOK ()	NA ()
9 - O corpo de prova foi rigorosamente centrado em relação ao eixo de carregamento.			OK ()	NOK ()	NA ()
10 - A velocidade de carregamento da máquina de ensaio era equivalente a $(0,25 \pm 0,05)$ MPa/s.			OK ()	NOK ()	NA ()
11- Qual foi a carga de ruptura? _____					
Volta Redonda, _____ de _____ de _____.					
_____ Responsável pelo procedimento					

ANEXO II

Checklist NBR 7222 - resistência a compressão diametral. Fonte: (AUTOR, 2015).

 Mestrado Profissional em Materiais		VERIFICAÇÃO DE DE RESITÊNCIA A COMPRESSÃO DIAMETRAL			
Conforme recomendação da NBR 7222					
C.P:	Idade:	% de escória:	DATA: / /	HORA :	
Atesto que os paramentos abaixo foram verificados, tendo o status indicado.					
1 - A temperatura do laboratório estava 24 ± 4 °C			OK ()	NOK ()	NA ()
2 - A mistura mecânica foi executada conforme item 3.5.1.2.			OK ()	NOK ()	NA ()
3 - A superfície interna e o fundo da forma recebeu uma leve camada de óleo. 2 - A mistura mecânica foi executada conforme item 3.5.1.2. Colocar inicialmente as frações de água e cimento, misturando em velocidade baixa por 30 s; após esse tempo ir colocando as 4 frações de areia durante 30 segundos; altera a velocidade para alta e misturar mais 30 s; desligar o misturador nos primeiros 15s retirar a argamassa aderida nas paredes e pá do misturador; nos 1min 15s restante deixar descansar com pano umido e limpo; após misturar por mais 1 min em velocidade alta.			OK ()	NOK ()	NA ()
4 - A moldagem foi feita com quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes.			OK ()	NOK ()	NA ()
5 - A cura inicial ao ar foi feita em camara umida durante 20 a 24 h.			OK ()	NOK ()	NA ()
6 - A cura final em tanque de água saturada de cal se deu até a idade de cura.			OK ()	NOK ()	NA ()
7 - Os corpos-de-prova foram capeados com a mistura de enxofre a quente.			OK ()	NOK ()	NA ()
8 - Foi limpo completamente os pratos da prensa e colocado em operação a máquina de compressão com a escala tal que a carga de ruptura sej maior que 10% a escala que e menor 90% da leitura maxima da escala.			OK ()	NOK ()	NA ()
9 - O corpo de prova foi rigorosamente centrado em relação ao eixo de carregamento.			OK ()	NOK ()	NA ()
10 - O corpo-de-prova foi colocado de modo que ficasse em repouso ao longo de uma geratriz, sobre o prato da máquina de compressão.			OK ()	NOK ()	NA ()
11- Foi colocado, entre os pratos e o corpo-de-prova em ensaio, duas tiras de chapa dura de fibra de madeira conforme especificado na NBR 10024.			OK ()	NOK ()	NA ()
12- Ajustou-se os pratos da máquina até que seja obtida uma compressão capaz de manter em posição o corpo-de-prova.			OK ()	NOK ()	NA ()
13- A carga foi aplicada continuamente, sem choque, com crescimento constante da tensão de tração a uma velocidade de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa/s, até a ruptura do corpo-de-prova.			OK ()	NOK ()	NA ()
14 - F = _____ (kN)					
Volta Redonda, _____ de _____ de _____.					
_____ Responsável pelo procedimento					

ANEXO III

Checklist NBR 9778- Determinação da absorção de água por imersão. Fonte: (AUTOR, 2015).

 Mestrado Profissional em Materiais		DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO		
		Conforme recomendação da NBR 9778		
C.P:	Idade:	% de escória:	DATA: / /	HORA :
Atesto que os paramentos abaixo foram verificados, tendo o status indicado.				
1 - A temperatura do laboratório estava 24 ± 4 °C		OK ()	NOK ()	NA ()
2 - A mistura mecânica foi executada conforme item 3.5.1.2. Colocar inicialmente as frações de água e cimento, misturando em velocidade baixa por 30 s; após esse tempo ir colocando as 4 frações de areia durante 30 segundos; altera a velocidade para alta e misturar mais 30 s; desligar o misturador nos primeiros 15s retirar a argamassa aderida nas paredes e pá do misturador; nos 1min 15s restante deixar descansar com pano umido e limpo; após misturar por mais 1 min em velocidade alta.		OK ()	NOK ()	NA ()
3 - A superfície interna e o fundo da forma com uma leve camada de óleo.		OK ()	NOK ()	NA ()
4 - A moldagem foi feita com quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes.		OK ()	NOK ()	NA ()
5 - A cura inicial ao ar foi feita em camara úmida durante 20 a 24 h.		OK ()	NOK ()	NA ()
6 - A cura final em tanque de água saturada de cal até a idade de cura.		OK ()	NOK ()	NA ()
7 - Os corpos-de-prova devem ser capeados com a mistura de enxofre a quente.		OK ()	NOK ()	NA ()
8 - Determinou-se a massa da amostra ao ar e manteve-a em estufa à temperatura de (105 ± 5) °C.		OK ()	NOK ()	NA ()
9 - Determinou-se a massa da amostra após permanência na estufa em 24 h.		OK ()	NOK ()	NA ()
		Valor: _____		
10 - Determinou-se a massa da amostra após permanência na estufa em 48 h.		OK ()	NOK ()	NA ()
		Valor: _____		

11 - Determinou-se a massa da amostra após permanência na estufa em 72 h.	OK ()	NOK ()	NA ()
12- Resfriou-se a amostra ao ar seco à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e determinou a massa.	OK ()	NOK ()	NA ()
13- A amostra deve ser mantida com 1/3 de seu volume imerso nas primeiras 4 h em água à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e 2/3 nas 4 h subseqüentes, sendo completamente imerso nas 64 h restantes.	OK ()	NOK ()	NA ()
14 - Determinou-se a massa, decorridas 24 h de imersão.	OK ()	NOK ()	NA ()
15 - Determinou-se a massa, decorridas 48 h de imersão.	OK ()	NOK ()	NA ()
16 - Determinou-se a massa, decorridas 72 h de imersão.	OK ()	NOK ()	NA ()
17- Colocou-se a amostra em um recipiente cheio d'água que deve ser progressivamente levado à ebulição. A ação da água quente durou 5 h.	OK ()	NOK ()	NA ()
18 - Deixou-se a água resfriar, pela perda natural de calor, por não menos que 14 h, até a temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ retirou a amostra da água, enxugou e pesou.	OK ()	NOK ()	NA ()
19 - Pesou em balança hidrostática, anotou a massa da amostra imersa em água.	OK ()	NOK ()	NA ()
<p>Volta Redonda, _____ de _____ de _____.</p> <p>_____</p> <p>Responsável pelo procedimento</p>			

ANEXO IV

Check list NBR 9779 -Determinação da absorção de água por capilaridade. Fonte:
(AUTOR, 2015)

 Mestrado Profissional em Materiais		DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE			
		Conforme recomendação da NBR 9779			
C.P:	Idade:	% de escória:	DATA: / /		HORA :
Atesto que os paramentos abaixo foram verificados, tendo o status indicado.					
1 - A temperatura do laboratorio estava 24 ± 4 °C		OK ()	NOK ()	NA ()	
2 - A mistura mecânica foi executada conforme item 3.5.1.2. Colocar inicialmente as frações de água e cimento, misturando em velocidade baixa por 30 s; após esse tempo ir colocando as 4 frações de areia durante 30 segundos; altera a velocidade para alta e misturar mais 30 s; desligar o misturador nos primeiros 15s retirar a argamassa aderida nas paredes e pá do misturador; nos 1min 15s restante deixar descansar com pano umido e limpo; após misturar por mais 1 min em velocidade alta.		OK ()	NOK ()	NA ()	
3 - A superfície interna e o fundo da forma com uma leve camada de óleo.		OK ()	NOK ()	NA ()	
4 - A moldagem foi feita com quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes.		OK ()	NOK ()	NA ()	
5 - A cura inicial ao ar foi feita em camara umida durante 20 a 24 h.		OK ()	NOK ()	NA ()	
6 - A cura final em tanque de água saturada de cal até a idade de cura.		OK ()	NOK ()	NA ()	
7 - Os corpos-de-prova devem ser capeados com a mistura de enxofre a quente.		OK ()	NOK ()	NA ()	
8 - Determinou-se a massa da amostra ao ar e manteve-a em estufa à temperatura de (105 ± 5) °C, até constância de massa.		OK ()	NOK ()	NA ()	Valor: _____
9- Resfriou-se a amostra ao ar seco à temperatura de (23 ± 2) °C e determinou a massa.		OK ()	NOK ()	NA ()	Valor: _____
10 - Instalou-se o recipiente num ambiente com temperatura constante de $(23 + 2)$ °C.		OK ()	NOK ()	NA ()	
11- Posicionou-se os corpos-de-prova sobre suportes, preenchendo com água o recipiente de ensaio, de modo que o nível d'água permaneça constante a $(5 + 1)$ mm acima de sua face inferior , evitando a molhagem de outras superfícies.		OK ()	NOK ()	NA ()	
12- Determinou-se a massa dos corpos-de- prova com 3h.		OK ()	NOK ()	NA ()	Valor: _____
13- Determinou-se a massa dos corpos-de- prova com 6h.		OK ()	NOK ()	NA ()	Valor: _____
14- Determinou-se a massa dos corpos-de- prova com 24h.		OK ()	NOK ()	NA ()	Valor: _____
15- Determinou-se a massa dos corpos-de- prova com 48h.		OK ()	NOK ()	NA ()	Valor: _____

16- Determinou-se a massa dos corpos-de- prova com 72h.	OK ()	NOK ()	NA ()
	Valor: _____		
17 - Foi limpo completamente os pratos da prensa e colocado em operação a escala.	OK ()	NOK ()	NA ()
18 - O corpo de prova foi rigorosamente centrado em relação ao eixo de carregamento	OK ()	NOK ()	NA ()
19 - O corpo-de-prova foi colocado de modo que ficasse em repouso ao longo de uma geratriz, sobre o prato da máquina de compressão.	OK ()	NOK ()	NA ()
20- Foi colocado, entre os pratos e o corpo-de-prova em ensaio, duas tiras de chapa dura de fibra de madeira conforme especificado na NBR 10024.	OK ()	NOK ()	NA ()
21- Ajustou-se os pratos da máquina até que seja obtida uma compressão capaz de manter em posição o corpo-de-prova.	OK ()	NOK ()	NA ()
22- A carga foi aplicada continuamente, sem choque, com crescimento constante da tensão de tração a uma velocidade de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa/s, até a ruptura do corpo-de-prova.	OK ()	NOK ()	NA ()
23 - F = _____ (kN)			
Volta Redonda, _____ de _____ de _____.			
_____ Responsável pelo procedimento			