



Universidade Eduardo
Mondlane
Faculdade de Ciências
Departamento de química

Trabalho de Licenciatura
**Reutilização de resíduos de rochas ornamentais em argamassas
de revestimento**



Autor: Custódio Eduardo Safo Chicumule

Maputo, Dezembro de 2011



Universidade Eduardo
Mondlane
Faculdade de Ciências
Departamento de química
Trabalho de Licenciatura
**Reutilização de resíduos de rochas ornamentais em argamassas
de revestimento**



Autor: Custódio Eduardo Safo Chicumule
Supervisor: Prof. Doutor Carvalho Madivate
Co-Supervisor: dr. Arão Manhique

Maputo, Dezembro de 2011

Dedicatória

Dedico a:

Meus queridos pais, Eduardo Chicumule e Marra Gange, pelo esforço e dedicação ilimitada durante a minha caminhada até término dos meus estudos;

Aos meus irmãos, Flávio, Otília, Joaquina e Assucena, pelo companheirismo, ajuda e amor incondicional.

Agradecimentos

Depois de ter terminado o presente trabalho tenho a honra e obrigação de agradecer todos aqueles que contribuíram directa ou indirectamente para a realização do mesmo:

Aos meus supervisores, Prof. Doutor Carvalho Madivate e dr. Arão Manhique pela sua pré-disposição permanente, orientação, críticas, sugestões e dedicação aquando da realização deste trabalho.

Aos drs. Alcides Siteo, Francisco Maleiane, Pedro H. Massinga Júnior e ao Prof. Doutor Teófilo Placeres, pelo acompanhamento prestado durante a organização deste trabalho e pela orientação, incentivo, paciência e amizade;

Ao Laboratório de Engenharia de Moçambique (LEM), na pessoa do seu Director, o dr. Henrique Filimone, por ter autorizado o uso das facilidades existentes naquele laboratório para a realização deste trabalho.

Ao pessoal do Laboratório de Engenharia de Moçambique (LEM), senhores Sebastião Dimas e Salésio Dimas, pela contribuição na execução dos ensaios tecnológicos no LEM.

À minha prima Apolónia Piedade e ao seu marido José Felimone, à Federação das Mulheres Para a Paz Mundial e ao meu primo Arlindo Bacela por terem apostado e acreditado em mim.

Ao colega Osório Mucanze pelo incentivo e encorajamento.

Sinceros agradecimentos a todos, que não são aqui citados, mas acreditaram verdadeiramente, na minha capacidade e contribuíram directa ou indirectamente para o sucesso da minha formação.

Declaração sob palavra de honra

O presente Trabalho de Licenciatura foi elaborado por mim, com base nos recursos a que se faz referência ao longo do texto.

Maputo, Dezembro 2011

O Autor

(Custódio Eduardo Safo Chicumule)

Resumo

A reutilização de resíduos de rochas ornamentais, nomeadamente mármore e granito, em argamassas de revestimento foi objecto de estudo do presente trabalho.

Para este fim foram recolhidas amostras de lama de mármore e granito na PROMAR, empresa situada na Avenida do Trabalho. As amostras foram em seguida a) secas e moídas e usadas na substituição parcial e total da areia usada nas argamassas, b) na moldagem dos provetes, secagem e determinação das propriedades tecnológicas.

Nestes ensaios trabalhou-se com amostras convencionais de argamassa e amostras onde a quantidade de resíduos usada perfazia 25%, 50%, 75% e 100% da quantidade de areia usada na amostra convencional.

As propriedades tecnológicas dos provetes preparados foram determinadas em provetes com diferentes idades, nomeadamente 3 dias, 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura.

As amostras com 25% de resíduos mostraram os melhores valores de resistência à flexão, resistência à compressão, absorção de água, porosidade aparente e peso específico, em comparação com as restantes composições estudadas.

Glossário de abreviaturas

ASTM - Sociedade Americana de Testes e Materiais

LEM - Laboratório de Engenharia de Moçambique

M. Branco - Mármore Branco

M. Estremoz - Mármore Estremoz

G.S.G - granito preto São Gabriel

G. Pret. - Granito preto

PROMAR - Produtora de Mármore

NM - Norma Moçambicana

NP - Norma Portuguesa

EN - European Normalization

UEM – Universidade Eduardo Mondlane

LNEC E – Laboratório Nacional de Engenharia Civil Europeia

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Objectivos do trabalho | 2 |
| 1.2 Justificativa do tema | 2 |
| 1.3 Metodologia do trabalho | 2 |
| CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1 Composição mineralógica de resíduos de rochas ornamentais (mármore e granitos), obtidas pelo método da difracção de raios X | 6 |
| 2.2 O uso de lamelas de mármore e granitos em argamassas | 8 |
| CAPÍTULO 3. PARTE EXPERIMENTAL | 9 |
| 3.1 Amostragem | 9 |
| 3.2 Preparação da amostra | 9 |
| 3.3 Preparação da pasta para amostragem | 11 |
| 3.4 Moldagem dos provetes | 11 |
| 3.5 A cura dos provetes | 13 |
| 3.6 Ensaios tecnológicos | 14 |
| 3.6.1 Resistência à flexão | 14 |
| 3.6.2 Resistência à compressão | 16 |
| 3.6.3 Absorção de água | 18 |
| 3.6.4 Porosidade aparente | 18 |
| 3.6.5 Peso específico ou densidade aparente | 19 |
| 3.7 Tratamento estatístico dos resultados | 21 |
| CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 22 |
| 4.1 Tratamento estatístico | 25 |
| CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 28 |
| 5.1 Conclusões | 28 |
| 5.2 Recomendações | 28 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 29 |

Índice de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Composição mineralógica de mármore..... | 7 |
| Tabela 2: Composição mineralógica de granitos | 7 |
| Tabela 3: Valores mínimos de resistência á flexão recomendados..... | 16 |
| Tabela 4: Valores limites de absorção de água de blocos..... | 18 |
| Tabela 5: Valores limites de peso específico de betões comuns | 21 |
| Tabela 6: Tratamento estatístico sistematizado dos resultados de ensaios de resistência à flexão com a idade de cura..... | 26 |
| Tabela 7: Tratamento estatístico sistematizado dos resultados de ensaios de resistência à compressão com a idade de cura | 27 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Secagem natural do resíduo..... | 10 |
| Figura 2: Colocação dos tabuleiros na estufa | 10 |
| Figura 3: Amostras do resíduo na estufa a 105°-110°C | 11 |
| Figura 4: Moldagem dos provetes cúbicos | 12 |
| Figura 5: Moldagem dos provetes prismáticos | 12 |
| Figura 6: Secagem dos provetes | 13 |
| Figura 7: A cura dos provetes | 14 |
| Figura 8: Ensaio de resistência à flexão | 15 |
| Figura 9: Rompimento de provete na resistência à flexão | 15 |
| Figura 10: Ensaio de resistência à compressão | 17 |
| Figura 11: Rompimento do provete na resistência à compressão..... | 17 |
| Figura 12: Pesagem do provete seco (m_2)..... | 20 |
| Figura 13: Pesagem do provete no ar (saturado e enxuto na superfície) (m_3) | 20 |
| Figura 14: Pesagem do provete imerso na água (m_4) | 21 |
| Figura 15: Variação da resistência à flexão com a idade de cura | 22 |
| Figura 16: Variação da resistência à compressão com a idade de cura | 23 |
| Figura 17: Variação da absorção de água com a idade de cura | 23 |

| | |
|---|----|
| Figura 18: Variação de porosidade aparente com a idade de cura..... | 24 |
| Figura 19: Variação de peso específico com a idade de cura | 24 |

Índice de anexos

| | |
|--|-----|
| ANEXO 1: Resultados de resistência à flexão | ii |
| ANEXO 2: Resultados de resistência à compressão..... | ii |
| ANEXO 3: Resultados de absorção de água em percentagem (%) | ii |
| ANEXO 4: Resultados de porosidade aparente em percentagem (%)..... | iii |
| ANEXO 5: Resultados de peso específico ou densidade aparente | iii |
| ANEXO 6: Múltipla comparação dos resultados de resistência à flexão aos 3, 7, 14 e 28 dias de cura para todos os aditivos..... | iii |
| ANEXO 7: Múltipla comparação dos resultados de resistência à compressão aos 3, 7, 14 e 28 dias de cura para todos os aditivos..... | v |
| ANEXO 8: Múltipla comparação dos resultados de absorção de água aos 3, 7, 14 e 28 dias de cura para todos os aditivos..... | vii |
| ANEXO 9: Múltipla comparação dos resultados de porosidade aparente aos 3, 7, 14 e 28 dias de cura para todos os aditivos..... | ix |
| ANEXO 10: Múltipla comparação dos resultados de peso específico aos 3, 7, 14 e 28 dias de cura para todos os aditivos..... | xi |

Capítulo 1. Introdução

Na cidade de Maputo existe um número considerável de indústrias de corte e polimento de rochas ornamentais localizadas em zonas com infra-estruturas não adequadas para a deposição de resíduos resultantes desta actividade (Muchanga, 2008).

Os resíduos resultantes da actividade industrial, que não são facilmente recicláveis, são depositados em determinadas áreas, onde são normalmente arrastados pelas águas das chuvas e causam a poluição dos solos (Dominguez e Ulmann, 1996; Menezes et al., 2007), com consequências negativas na qualidade da água, das condições de vida das plantas e das populações que residem nas áreas próximas dos locais de deposição.

Devido ao interesse crescente em assuntos ambientais, estudos estão sendo realizados para promover um processamento sustentável de tais materiais, normalmente através da reciclagem ou reutilização dos resíduos gerados. Este processo tem as seguintes vantagens (Muchanga, 2008):

- ü Economiza os recursos não renováveis por substituição de matérias-primas naturais através de resíduos gerados;
- ü Economiza energia no caso de resíduos com um uso potencial como combustíveis, ou resíduos que exibem reacções exotérmicas durante o processo;
- ü Elimina custos de tratamento e remoção destes resíduos.

Os resíduos gerados no processamento de pedras ornamentais são ricos em óxidos de alumínio (Al_2O_3), óxido de cálcio (CaO), óxido de silício (SiO_2), óxido de ferro (Fe_2O_3), óxido de titânio (TiO_2), óxido de potássio (K_2O), óxido de magnésio (MgO), e óxido de sódio (Na_2O) (Falcão e Stellin, 2001).

Mármore são materiais compostos basicamente por calcite (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3) enquanto granito contém feldspato (KAlSi_3O_8), quartzo (SiO_2) e mica basicamente e suas maiores ocorrências em Moçambique, é em Netia na província de Cabo Delgado (Cílek, 1989).

No presente trabalho, estuda-se a possibilidade de reutilização de resíduos de rochas ornamentais (mármore e granito) em argamassas de revestimento. A incorporação do resíduo aumenta a consistência (rigidez) de infra-estruturas e minimiza os impactos ambientais decorrentes da deposição inadequada desses materiais (Moura et al., 2002).

1.1 Objectivos do trabalho

O presente trabalho tem como principal objectivo testar a possibilidade de reutilização de resíduos resultantes do corte e polimento de rochas ornamentais (mármore e granito) através da sua incorporação em argamassas de revestimento em substituição da areia.

A reutilização destes resíduos vai:

- ü Contribuir para a minimização do impacto negativo decorrente do processamento inadequado de resíduos de rochas ornamentais;
- ü Substituir parte da areia usada nas argamassas de revestimento pelos resíduos de mármore e granito e promover a poupança de um recurso natural.

1.2 Justificativa do tema

O processo produtivo em qualquer âmbito industrial gera uma quantidade muito grande de resíduos, tanto na produção de bens duráveis como não duráveis. Todo resíduo descartado de forma descontrolada passou a ser um problema sério uma vez que ocupam grandes áreas. A questão do desperdício também é relevante, pois, à medida que se descarta um resíduo industrial, acaba se perdendo um material que poderia ser reciclado e, desta forma, gerar outros bens de produção. Outro factor importante é o problema da contaminação e degradação do meio ambiente em função da natureza dos resíduos, em especial os resíduos sólidos.

1.3 Metodologia do trabalho

- ü Pesquisa bibliográfica (que consistiu no levantamento viabilidade técnica da utilização do resíduo de mármore e granito como agregado miúdo para argamassas de revestimento);
- ü Execução da parte experimental;
- ü Análise dos resultados e considerações finais;
- ü Elaboração do relatório

Capítulo 2. Revisão bibliográfica

A actividade industrial representa, de uma forma geral, a base para a produção da riqueza de um país e contribui para o melhoramento das condições de vida e do bem estar dos cidadãos desse país. Se por um lado esta actividade é benéfica, ela tem, por outro lado, um efeito negativo no seu ambiente, incluindo a qualidade de vida dos seus cidadãos. Estes dois aspectos colocam um grande desafio às sociedades modernas, que têm de gerir este balanço delicado dos efeitos positivos, por um lado, e dos efeitos negativos, por outro lado, do processo de industrialização (Segadães et al., 2005).

Este efeito negativo da actividade industrial, resulta fundamentalmente da geração de produtos secundários durante a produção de artigos de interesse, que não são facilmente recicláveis. Estes resíduos são depositados em determinadas áreas, onde são normalmente dissolvidos pela água das chuvas e causam a poluição dos solos (Domínguez e Ulmann, 1996), com consequências negativas na qualidade da água, das condições de vida das plantas e das populações que residem nas áreas próximas dos locais de deposição, etc.

Como consequência da atenção crescente que os problemas ambientais vêm merecendo, vêm sendo realizados estudos variados visando o processamento sustentável destes materiais, normalmente por reciclagem, especialmente nos países mais desenvolvidos que a) têm problemas sérios de existência de espaços adequados para a deposição destes materiais e b) com o seu nível de industrialização, produzem quantidades muito elevadas de resíduos (Ferreira et al., sem ano).

Para além dos benefícios descritos, a reciclagem ou reutilização destes resíduos pode contribuir ainda para (Muchanga, 2008):

- a) o uso eficiente e a poupança de recursos não renováveis por substituição destas matérias primas por resíduos gerados em processos industriais. Esta substituição das matérias-primas tradicionais por estes resíduos (matérias primas obtidas a custo zero) permite ainda reduzir os custos de produção, quando o volume anual de resíduos incorporados nestas massas é suficientemente elevado;
- b) a poupança de energia no caso de resíduos com um uso potencial como combustíveis, que durante o seu processamento exibem reacções de combustão;
- c) a eliminação dos custos, por vezes elevados, para o tratamento e remoção destes resíduos;

d) a inertização de resíduos tóxicos sem as consequentes emissões de teores consideráveis de vapores destes resíduos, como ocorre nos processos de incineração;

O problema da falta de aproveitamento de resíduos resultantes de processos industriais surge também na cidade de Maputo, onde existe um número considerável de indústrias de corte e polimento de rochas ornamentais (rochas que, após serragem e polimento ressaltam as suas características intrínsecas, conferindo-lhes grande beleza e permitindo, seu uso em revestimentos, pisos e ornamentação (Babisk, 2009)), localizadas em zonas com infra-estruturas não adequadas para a deposição dos resíduos resultantes desta actividade.

Enquanto os países desenvolvidos têm legislação e práticas que promovem e incentivam a reutilização destes resíduos, a situação nos países menos desenvolvidos está ainda aquém do desejável.

Um olhar sobre a literatura mostra exemplos que ilustram a possibilidade de reutilização destes resíduos para diferentes fins. Um exemplo é a incorporação destes resíduos em massas cerâmicas, em particular em massas de cerâmica vermelha, que usa uma variedade de resíduos com origens e composições diversificadas, sem prejuízo na qualidade do produto obtido, como resultado da grande variedade de matérias-primas usadas na cerâmica vermelha (Dhanapandian e Gnanavel, 2010; Ferreira et al., sem ano; Moreira et al., 2005; Segadães et al., 2005).

As matérias-primas utilizadas neste sector são de natureza heterogénea, geralmente constituídos por materiais plásticos e não plásticos, com uma grande variação de composições. Os resíduos de rochas ornamentais são materiais ricos em óxidos de silício e de alumínio, carbonatos, óxidos de metais e impurezas orgânicas, possuindo assim uma certa semelhança com alguns componentes existentes nas matérias-primas usadas na indústria cerâmica tradicional (Segadães et al, 2005).

Foi este exemplo que inspirou um estudo conduzido no Departamento de Química da UEM (Muchanga, 2008), onde o resíduo resultante do corte e polimento de rochas ornamentais da PROMAR, na cidade de Maputo era usado como aditivo para uma argila excessivamente plástica, processada presentemente sob adição de uma argila menos plástica para assegurar a sua processabilidade. Os resultados deste estudo mostram um efeito benéfico, independentemente da composição dos resíduos, aspecto particularmente importante pelo facto de as composições destes resíduos variarem permanentemente com os materiais processados em cada dia ou semana de trabalho.

Rodrigues (2009) obteve resultados animadores no estudo da incorporação de resíduos do corte de mármore e granitos na produção de lâ mineral, enquanto que Oliveira e Avelar (2009) apresentam os resultados da utilização de resíduos sólidos do corte de mármore na indústria siderúrgica.

Babisk (2009) descreve a aplicação com sucesso destes resíduos na produção de vidros à base de soda e óxido de cálcio (similares aos vidros comerciais usados na habitação e aos vidros de embalagem), naturalmente com aditivos para ajustar a composição e propriedades do vidro às especificações técnicas deste tipo de vidros. Souza et al. (sem ano) estudou a reutilização destes resíduos como aditivo para misturas asfálticas usadas na pavimentação, tendo obtido resultados satisfatórios para teores de resíduo da ordem de 5-6%.

Estudos feitos por De Mello (2006) sobre utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha, conclui que é viável a utilização de lama residual de granito, podendo ser incorporadas em até 40% em massa, os valores de absorção de água não ultrapassam os valores estabelecidos por norma (menor que 20% para telhas e entre 8% e 22% para blocos).

Estudos feitos por Falcão e Júnior (2001) sobre utilização de serrarias na construção civil, os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão, utilizando os blocos estruturais foram promissores e favoráveis à utilização do resíduo (até 10%) na mistura como substituto da areia, os valores obtidos foram superiores aos estabelecidos pelas normas (5,5 MPa aos 28 dias).

De acordo com a sua origem e composição, os resíduos de rochas ornamentais podem servir como redutores da plasticidade, corantes ou fundentes, sendo introduzidos nas massas cerâmicas de acordo com as características pretendidas para o produto final. Os fundentes promovem a formação de um líquido a temperaturas elevadas, que ajuda na agregação de diversos componentes e que, formando um vidro que rodeia os grãos de outros materiais, contribui decisivamente para o aumento da resistência mecânica das peças (Leonardo, 2006; Menezes et al., 2007).

Estudos feitos por Silva et al. (2005) sobre incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas, conclui que o rejeito industrial apresenta um bom potencial para ser incorporado em massas argilosas destinadas à produção de materiais cerâmicos tradicionais.

Gonçalves (2000) e Demirel (2010) relatam o uso com sucesso de resíduos de mármore e granitos na produção de concretos. O trabalho de Gonçalves (2000) mostra que a adição de resíduos de granitos é viável e que os melhores resultados são obtidos com teores de resíduos da ordem dos 10%. Os resultados obtidos por Demirel (2010) apontam para o melhoramento da resistência a compressão de amostras de argamassas onde se incorporou resíduos de mármore em pó. Tayeb et al. (2011) reportam o efeito benéfico da adição de pó de mármore na viscosidade e consistência do concreto.

Baboo et al. (2011) estudaram o efeito da substituição do cimento e da areia por resíduos de mármore em pó, tendo observado resultados satisfatórios na substituição da areia, mas resultados pouco desejáveis na substituição do cimento.

Reis e Tristão (sem ano) apresentam os resultados de uma pesquisa bibliográfica sobre a adição de resíduos de corte em argamassas cimentícias. Para além do efeito benéfico no ambiente, estes autores defendem que a adição de resíduos contribui para a redução da quantidade de cimento e areia usados e recomendam a realização de mais estudos para se determinar a viabilidade de utilização destes resíduos nas argamassas.

No presente trabalho estudar-se-á o efeito da incorporação de resíduos resultantes do corte e polimento de mármore e granitos na preparação de argamassas de revestimento, em substituição da areia.

A composição mineralógica das amostras de mármore e granitos processadas na maior parte das unidades produtivas da cidade de Maputo pode ser encontrada em Muchanga (2008).

Este estudo foi efectuado com lamas resultantes do processo de corte e polimento de mármore e granitos da PROMAR, cuja composição varia de dia para dia com os materiais processados.

2.1 Composição mineralógica de resíduos de rochas ornamentais (mármore e granitos), obtidas pelo método da difracção de raios X

Rochas ornamentais são agregados de um ou mais tipos de minerais. Elas possuem origens e composições diversificadas (Malhotra e Tehri, 1996).

De uma forma geral, os mármore e granitos possuem origens e composições diversificadas (Tabelas 1 e 2) (Muchanga, 2008):

Tabela 1: Composição mineralógica de mármore

| Mineral | M. Branco | M. Branco | M. Estremoz |
|----------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| Calcite | 3.29 | 0.04 | 96.33 |
| Dolomite | 92.27 | 94.41 | 3.67 |
| Hornblendo | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Moscovite | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Plagioclase | 4.45 | 5.55 | 0.0 |

Tabela 2: Composição mineralógica de granitos

| Mineral | “G.S.G” | G.Prata | “G.Pret” |
|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Actinolite | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Biotite | 60.23 | 21.53 | 0.0 |
| Calcite | 1.38 | 1.29 | 0.0 |
| Clorite | 0.0 | 2.03 | 0.0 |
| Diopsido | 3.21 | 3.07 | 8.26 |
| Entstatite | 0.0 | 0.0 | 14.31 |
| Hornblendo | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Magnetite | 0.0 | 0.0 | 1.85 |
| Microlina | 11.21 | 31.33 | 4.08 |
| Moscovite | 0.0 | 0.0 | 2.24 |
| Plogopite | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Plagioclase | 18.73 | 17.42 | 67.69 |
| Quartzo | 5.24 | 23.33 | 1.58 |

2.2 O uso de lamas de mármore e granitos em argamassas

A argamassa é uma mistura de cimento, areia, água e em alguns casos, de outro material (cal, barro, etc.) (Leonardo, 2006).

Podem considerar-se dois tipos de argamassas, argamassas de um só ligante e argamassas bastardas. As argamassas bastardas são aquelas que se obtêm quando na sua composição são utilizadas mais do que um ligante inorgânico (Mendonça, 2007).

As argamassas apresentam-se moles nas primeiras horas de confecção, e endurecem com o tempo, ganhando elevada resistência e durabilidade. São empregadas com as seguintes finalidades: assentar tijolos, blocos, azulejos, cerâmicas e tacos de madeira; impermeabilizar superfícies; regularizar (tapar buracos, eliminar ondulações, nivelar e aprumar) paredes, pisos e tectos; dar acabamento às superfícies (liso, rugoso, texturizado, etc) (Leonardo, 2006).

A areia natural, por ser um material de grande utilização em obras de engenharia, tem sofrido um esgotamento progressivo das suas jazidas, com o consequente aumento de seu custo, levando à busca de soluções alternativas. A viabilidade técnica do emprego de areia artificial na produção de concretos pode ser verificada através do estudo das suas propriedades físicas e mecânicas, tais como resistência à compressão, módulo de elasticidade e absorção de água por imersão (Barbosa et al., 2008).

Os resíduos de rochas ornamentais em forma de lama após serem submetidos a processo de secagem são transformados em um material não biodegradável na forma de um resíduo sólido (pó fino), demonstra um potencial no desenvolvimento de produtos cerâmicos para construção civil. Ressalta-se também que a reutilização destes resíduos contribui para a diminuição do consumo de matérias-primas naturais, servindo como uma importante fonte de matéria-prima não convencional de baixo custo para a indústria cerâmica, resultando em ganhos ambientais e económicos (Leonardo, 2006; Soares e Mendes, 1999; Souza et al., 2011).

O resíduo de mármore e granito adicionado à argamassa em quantidades apropriadas se mostra viável e age como um "fíler" que é um resíduo finamente moído com uma granulometria menor que a do cimento normal (cimento Portland), diminuindo a porosidade da matriz e influenciando outras propriedades das argamassas no estado fresco e no estado endurecido é adicionado ao betão, na amassadura com a finalidade de melhorar certas propriedades físicas ou para adquirir

certas propriedades especiais, tais como: trabalhabilidade, permeabilidade, densidade, etc (Reis e Tristão (sem ano) e Conjo, 2011).

A introdução de componentes finos dificulta a secagem, enquanto que a adição de componentes grossos facilita-a. A granulometria influencia também na resistência à flexão. A distribuição dimensional das partículas é muito importante (Menezes et al., 2007).

Capítulo 3. Parte experimental

3.1 Amostragem

A amostragem foi realizada no tanque de rejeito da lama resultante de corte e polimento de peças de mármore e granito. A amostra (lama) foi acondicionada em 4 baldes de 25 litros, totalizando 90kg de resíduo, os baldes foram devidamente fechados para evitar perda de material e contaminação durante o transporte.

A amostra foi encaminhada ao LEM visando o seu beneficiamento.

3.2 Preparação da amostra

A amostra foi espalhada sobre 2 sacos plásticos e submetida a uma secagem ao ar (secagem natural) durante cerca de 5 dias (figura 1). Em seguida, a amostra foi acondicionada em 5 tabuleiros de fundo plano de alumínio com ajuda de uma colher de pedreiro de alumínio, introduzida numa estufa ventilada e submetida a uma secagem artificial a uma de temperatura de 105°C-110°C durante cerca de 5 dias (figuras 2 e 3).

Após a secagem a amostra é moída e passada em peneiro de crivo-7 ASTM 9 malhas/cm², para separar da mesma, restos de troncos e outras impurezas normalmente provenientes do local onde foi feita a amostragem.

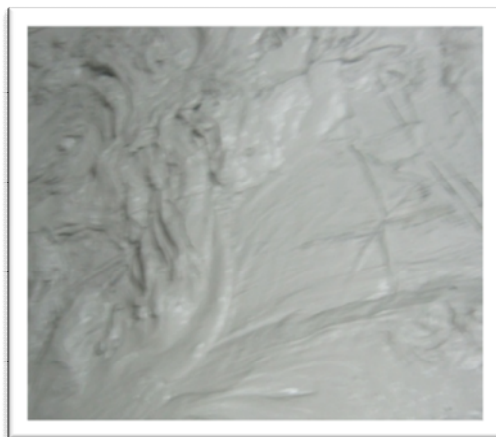


Figura 1: Secagem natural do resíduo



Figura 2: Colocação dos tabuleiros na estufa



Figura 3: Amostras do resíduo na estufa a 105°-110°C

3.3 Preparação da pasta para amostragem

Para a preparação dos provetes preparou-se uma mistura segundo a norma NM NP EN 196-1:200 numa proporção de 1:3:0,5 correspondente ao cimento (portland 32,5): areia: água, respectivamente, 2300g de cimento (portland 32,5): 7000g de areia: 1150ml de água para 20 moldes prismáticos e 20 moldes cúbicos para argamassa convencional (cimento, areia e água), assim sucessivamente para misturas com 25%, 50%, 75% e 100% (em peso) de resíduo em substituição da areia, mantendo constante a quantidade de cimento e água.

Para a preparação da pasta introduziu-se o cimento, areia e água na misturadora, ligou-se a misturadora num movimento de 140 ± 5 rpm, desligando-a ao fim de 12 horas. Com o auxílio de uma raspadeira, raspou-se o interior do balde, deixando repousar e foi se a moldagem dos provetes. A granulometria da areia e resíduo de mármore e granito usada foi de 9malhas/cm².

3.4 Moldagem dos provetes

A moldagem dos provetes é feita num molde de forma cúbica e molde prismático (figuras 4 e 5). Os provetes prismáticos foram usados para os ensaios de resistência à flexão, absorção de água, porosidade aparente e peso específico ou densidade aparente e provetes cúbicos para o ensaio de resistência à compressão, ensaios efectuados de acordo com a norma LNEC E 255.

A moldagem dos provetes compreende etapas como: enchimento, pressão e ejeção, de acordo com o procedimento seguinte (Muchanga, 2008):

- a) Untou-se o molde com óleo;
- b) Preencheu-se totalmente com a pasta;
- c) Compactou-se a pasta com cuidado, de modo a garantir a uniformidade de pressão;
- d) Desmoldou-se e identificou-se alternativamente e conduziu-se cada provete à secagem (figura 6).



Figura 4: Moldagem dos provetes cúbicos



Figura 5: Moldagem dos provetes prismáticos

A adição de diferentes concentrações de resíduo resulta numa resposta de compactação diferente para as várias massas e, portanto, diferentes níveis de porosidade inicial dos provetes. Para atenuar essas diferenças, de modo que as propriedades finais dos provetes sintetizados sejam pouco afectadas, é preciso assegurar que a pressão de compactação seja relativamente elevada (Muchanga, 2008).

3.5 A cura dos provetes

A cura dos provetes foi feita na água até a idade em que serão realizados os ensaios tecnológicos (resistência à flexão, resistência à compressão, absorção de água, porosidade aparente e peso específico); os provetes são devidamente imersos (figura 7).



Figura 6: Secagem dos provetes

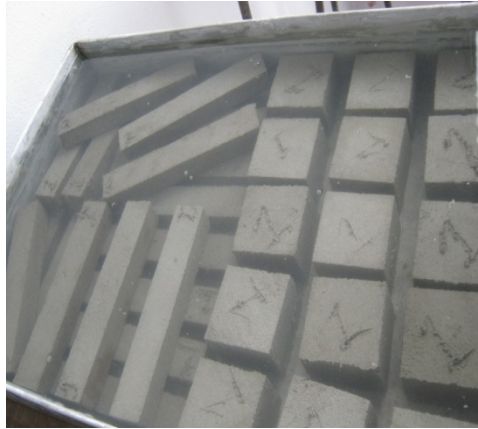


Figura 7: A cura dos provetes

3.6 Ensaios tecnológicos

3.6.1 Resistência à flexão

Para verificar se a resistência do material se insere nas condições de emprego especificadas para o produto que lhe confere, faz-se o ensaio de resistência à flexão, no aparelho de Amsler, usando provetes prismáticos. Para o efeito mede-se a altura e a espessura sensivelmente no meio da zona onde presume-se o rompimento do provete. Em seguida, ajusta-se o provete entre dois apoios e aplica-se por cima a carga em forma crescente e uniforme até ao seu rompimento (figuras 8 e 9). A tensão de rotura à flexão é calculada pela fórmula (Mendonça, 2007; Muchanga, 2008):

$$\delta_F = \frac{3Fx_d}{2x_e a^2} \quad (1)$$

onde:

d é a distância entre os apoios

F é a força aplicada

a é a altura do provete

e é a espessura do provete

a e **e** devem ser medidos a meio do provete

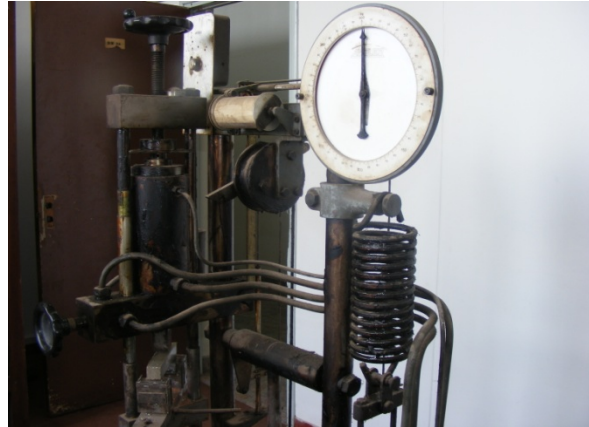


Figura 8: Ensaio de resistência à flexão



Figura 9: Rompimento de provete na resistência à flexão

Os ensaios na resistência à flexão foram efectuados de acordo com a norma LNEC E 227. Para cada composição usou-se 20 provetes, 5 provetes para cada idade.

A tabela 3 mostra os valores mínimos recomendados para diferentes tipos de materiais.

Tabela 3: Valores mínimos de resistência á flexão recomendados (da Costa, 1987 citado por Muchanga, 2008)

| | Crú | Cozido | Material |
|------------------------------|------|--------|---------------------|
| Tipo de produto | Mpa | MPa | Kgf/cm ² |
| Tijolos maciços e perfurados | 1,47 | 1,96 | 15 |
| Tijolos furados | 2,45 | 5,40 | 25 |
| Telhas | 2,94 | 6,38 | 30 |

3.6.2 Resistência à compressão

Este ensaio tem como objectivo a determinação da resistência à compressão de provetes de argamassa endurecida. Os provetes são ensaiados até à rotura numa máquina de ensaio de compressão, registando-se a carga máxima suportada pelo provete.

Coloca-se o provete no prato inferior da máquina (figura 10), pondo em contacto, uma das faces laterais de moldagem e tendo o cuidado de centrar o provete. Desce-se o prato superior da máquina até estabelecer contacto com a face superior do provete. Aplica-se uma força gradualmente crescente, de modo contínuo e sem choques, até à rotura do provete (figura 11). Regista-se a força de rotura. A resistência à compressão do provete é dada pela equação (Mendonça, 2007):

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (2)$$

Onde:

f_c - Resistência à compressão [MPa]

F - Carga máxima na rotura [N]

A_c - Área da secção transversal do provete na qual a força de compressão foi aplicada [cm²]

Os ensaios de resistência à compressão foram efectuados de acordo com a norma LNEC E 226.

A resistência cresce com a idade rapidamente nos primeiros dias e depois lentamente. Por isso, a resistência é sempre referida com a idade. Aos sete dias, a resistência à compressão é em torno

de 60% da resistência aos vinte e oito dias. No caso do bloco estrutural, o valor de referência é 5,5 MPa aos 28 dias (Falcão e Stellin, 2011).



Figura 10: Ensaio de resistência à compressão



Figura 11: Rompimento do provete na resistência à compressão

Para cada composição usou-se 20 provetes, 5 provetes para cada idade.

3.6.3 Absorção de água

O ensaio de absorção de água serve para medir a água absorvida até saturar o produto poroso em condições específicas. Ela indica-nos o poder absorvente que um corpo apresenta em relação à água e é directamente proporcional à porosidade e inversamente proporcional ao peso específico. Para sua determinação pesa-se o provete, depois de secar na estufa durante 48 horas e esfriar à temperatura ambiente (figura 12). Mergulha-se na água durante 24 horas ou ferve-se em água destilada durante 3 horas a contar do início da ebulição e resfria-se dentro da própria água; retira-se da água, enxuga-se na superfície rapidamente (antes que decorram 3 minutos) e pesa-se (figura 13). A absorção de água expressa em percentagem é calculada pela seguinte fórmula (Mendonça, 2007; Muchanga, 2008):

$$\% = \frac{m_3 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (3)$$

onde:

m_2 é o peso do provete seco

m_3 é o peso do provete no ar (saturado e enxuto na superfície)

Os ensaios de absorção de água foram efectuados de acordo com a norma EN 1015-18.

A absorção de água é um dos parâmetros usados para determinar a adequabilidade do material, como ilustra a tabela 4.

Tabela 4: Valores limites de absorção de água de blocos (De Mello, 2006)

| Tipo de produto | Absorção de água (%) |
|-----------------|----------------------|
| Blocos | 8% a 22% |

Para cada composição usou-se 20 pedaços de provetes usados na resistência à flexão, 5 provetes para cada idade.

3.6.4 Porosidade aparente

É o volume dos “poros abertos” que absorvem água, os quais influenciam na resistência mecânica e no peso específico do material. Tem como objectivo determinar o “volume do espaço poroso” do material.

O ensaio baseia-se no ensaio de absorção de água.

A Porosidade é exprimida na forma de percentagem e é dada pela seguinte equação (da Costa, 1987):

$$\% = \frac{m_3 - m_2}{m_3 - m_4} \times 100 \quad (4)$$

onde:

m₂ é o peso do provete seco

m₃ é o peso do provete no ar (saturado e enxuto na superfície)

m₄ é o peso do provete imerso na água

Os ensaios de porosidade aparente foram efectuados de acordo com a norma EN 1015-18.

Os valores de referência de porosidade aparente encontram-se na tabela 3, por ser directamente proporcional à absorção de água.

Para cada composição usou-se 20 pedaços de provetes usados na resistência à flexão, 5 provetes para cada idade.

3.6.5 Peso específico ou densidade aparente

É a relação entre a massa e o volume de um corpo. Tem como objectivo favorecer nos cálculos de estabilidade e transporte do material bem como de levantamentos de paredes.

O ensaio baseia-se no ensaio de absorção de água. No peso específico pesa-se a massa do provete imerso na água (figura 14).

O peso específico ou densidade aparente é expresso em Kg/m³ (da Costa, 1987)

$$\text{Kg/m}^3 = \frac{m_2}{m_3 - m_4} \times 1000 \quad (5)$$

onde:

m₂ é o peso do provete seco

m₃ é o peso do provete no ar (saturado e enxuto na superfície)

m₄ é o peso do provete imerso na água



Figura 12: Pesagem do provete seco (m_2)



Figura 13: Pesagem do provete no ar (saturado e enxuto na superfície) (m_3)



Figura 14: Pesagem do provete imerso na água (m_4)

Os ensaios de peso específico foram efectuados de acordo com a norma LNEC E 256. O peso específico é um dos parâmetros usados para determinar a adequabilidade do material, como ilustra a tabela 5.

Tabela 5: Valores limites de peso específico de betões comuns (Martins, 2010)

| Tipo de produto | Peso específico kg/m^3 |
|-----------------|---------------------------------|
| Betões comuns | >1800 e ≤ 2000 |

Para cada composição usou-se 20 pedaços de provetes usados na resistência à flexão, 5 provetes para cada idade.

3.7 Tratamento estatístico dos resultados

Para comparar os resultados de resistência à flexão, resistência à compressão, absorção de água, porosidade aparente e peso específico de cada aditivo com as idades, aplicou-se o Statgraphics Plus – Untiled StatFolio usando comparação múltipla de amostra.

Capítulo 4. Resultados e discussão

De uma forma geral os resultados neste capítulo, mostram que a adição destes resíduos tem um efeito benéfico nas propriedades tecnológicas da argamassa, particularmente para teores de lama de ordem dos 25%.

Tal pode ser visto nos resultados apresentados nas figuras 15-19, onde se apresentam os valores de resistência à flexão, resistência à compressão, absorção de água, porosidade aparente e peso específico, para as cinco composições (0%, 25%, 50%, 75% e 100% de resíduo de lama) e para os 3, 7, 14 e 28 dias de cura.

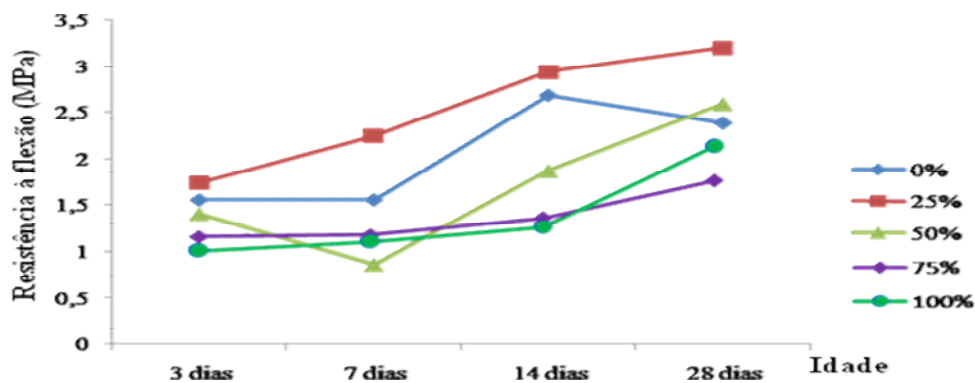


Figura 15: Variação da resistência à flexão com a idade de cura

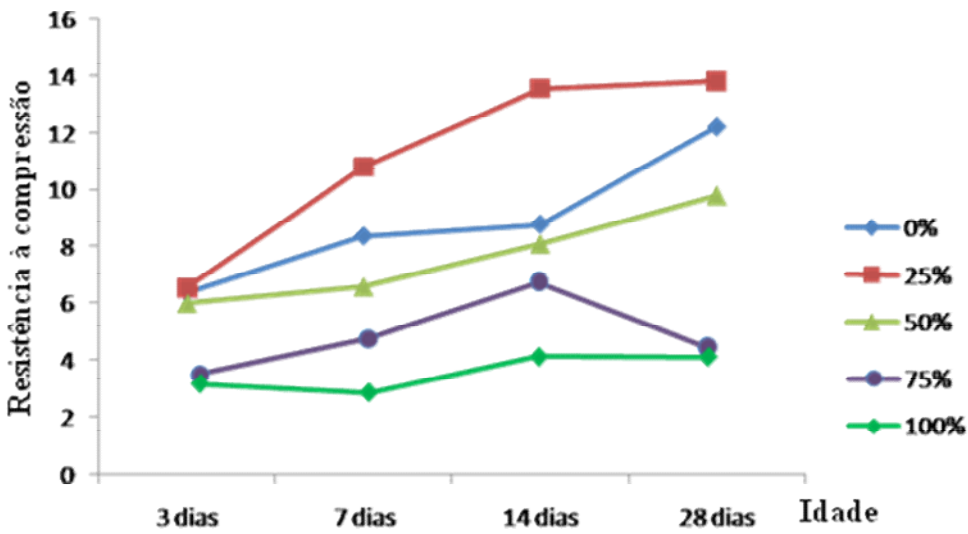


Figura 16: Variação da resistência à compressão com a idade de cura

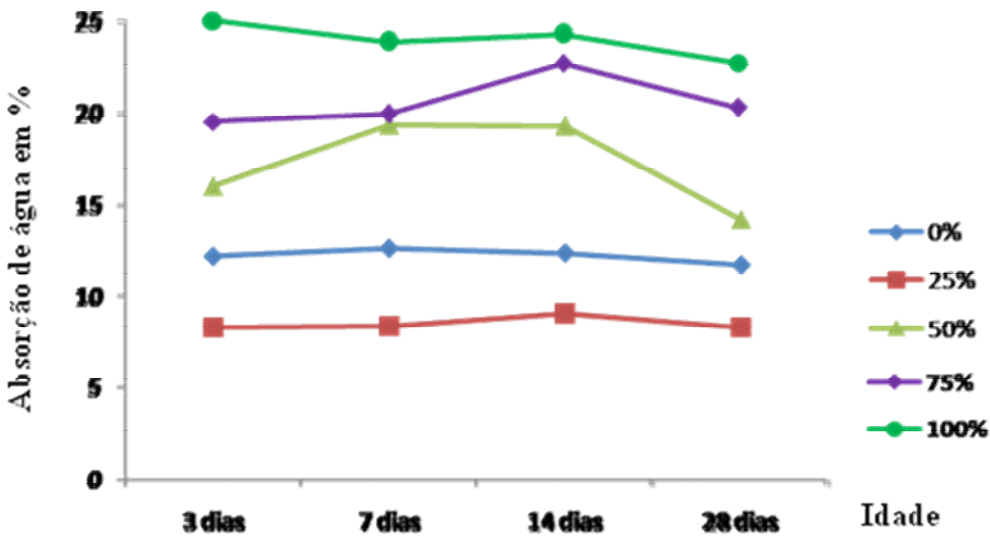


Figura 17: Variação da absorção de água com a idade de cura

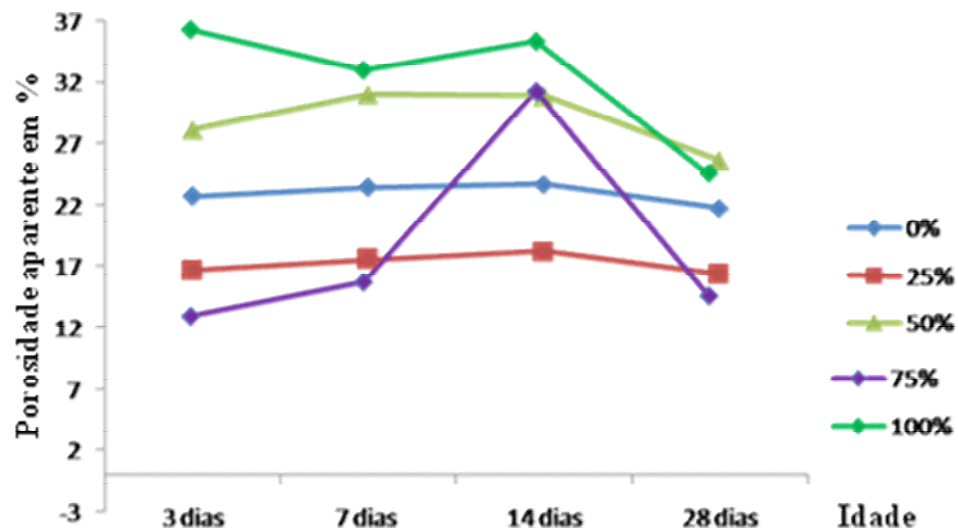


Figura 18: Variação de porosidade aparente com a idade de cura

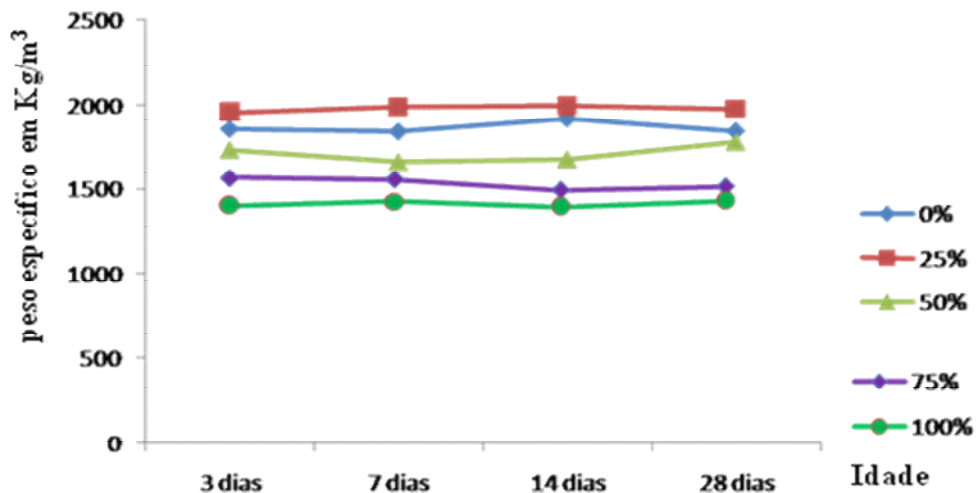


Figura 19: Variação de peso específico com a idade de cura

A amostra com 25% de resíduo apresenta os valores mais altos de resistência à flexão e de resistência à compressão, assim como os valores mais baixos de absorção de água, podendo, deste modo, ser classificada como a amostra com os melhores resultados.

Para além destes três ensaios, considerados como os mais decisivos na classificação de argamassas, a amostra com 25% de aditivo mostra ainda bons resultados de porosidade aparente e do peso específico.

Os melhores resultados apresentados pela amostra com 25% de resíduo (lama) de mármore e granito pode estar associado, a presença significativa nessa mistura (cimento, areia e resíduo de mármore e granito) de uma substância que de alguma forma diminui a porosidade, diminuindo deste modo a absorção de água, como é o caso do quartzo (SiO_2) e os maus resultados apresentados pelas restantes composições (50%, 75% e 100%) de substituição da areia por resíduo de mármore e granito pode ser devido ausência significativa ou total da areia ou problemas na zona de contacto entre a pasta e os agregados. A areia influencia na absorção de água dos aglomerantes, a sua ausência aumenta porosidade do material, diminuindo deste modo a resistência mecânica.

Os resultados duvidosos de porosidade aparente de todas as amostras de substituição de areia por resíduo de mármore e granito, poderiam ser explicados provavelmente se aumentássemos os dias de idade de cura.

4.1 Tratamento estatístico

Para determinar a existência de possíveis diferenças estatísticas entre os resultados, conforme o descrito no capítulo 3, foi feito o tratamento estatístico dos valores de resistência à flexão e à compressão.

Estes resultados são apresentados nas tabelas 6 e 7, para os ensaios após 3, 7, 14 e 28 dias de cura.

Os resultados apresentados mostram que a composição com 25% de aditivo apresenta resultados significativamente diferentes das restantes composições, no ensaio após 28 dias, ensaio considerado como o mais conclusivo.

As tabelas 6 e 7 apresentam apenas os resultados sistematizados dos ensaios de resistência à flexão e compressão, mas o tratamento estatístico foi feito também para os restantes ensaios (ver anexos 6-10)

Tabela 6: Tratamento estatístico sistematizado dos resultados de ensaios de resistência à flexão com a idade de cura

| Teor (%) | Difere de: | Não difere de: |
|-----------------------------|--------------------|----------------|
| Ensaio após 3 dias de cura | | |
| 0% | 50%, 75% e 100% | 25% |
| 25% | 50%, 75% e 100% | 0% |
| 50% | 0% e 25% | 75% e 100% |
| 75% | 0% e 25% | 50% e 100% |
| 100% | 0% e 25% | 50% e 75% |
| Ensaio após 7 dias de cura | | |
| 0% | 25%,50%,75% e 100% | ----- |
| 25% | 0%,50%,75% e 100% | ----- |
| 50% | 0% e 25% | 75% e 100% |
| 75% | 0% e 25% | 50% e 100% |
| 100% | 0% e 25% | 50% e 75% |
| Ensaio após 14 dias de cura | | |
| 0% | 50%, 75% e 100% | 25% |
| 25% | 50%, 75% e 100% | 0% |
| 50% | 0%,25%,75% e 100% | ----- |
| 75% | 0%, 25% e 50% | 100% |
| 100% | 0%, 25% e 50% | 75% |
| Ensaio após 28 dias de cura | | |
| 0% | 25% e 75% | 50% e 100% |
| 25% | 0%,50%,75% e 100% | ----- |
| 50% | 25% e 75% | 0% |
| 75% | 0%, 25% e 50% | 100% |
| 100% | 25% e 50% | 0% e 75% |

Tabela 7: Tratamento estatístico sistematizado dos resultados de ensaios de resistência à compressão com a idade de cura

| Teor (%) | Difere de: | Não difere de: |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|
| Ensaio após 3 dias de cura | | |
| 0% | 75% e 100% | 25% e 50% |
| 25% | 75% e 100% | 0% e 50% |
| 50% | 75% e 100% | 0% e 25% |
| 75% | 0%, 25% e 50% | 75% |
| 100% | 0% e 25% | 50% e 75% |
| Ensaio após 7 dias de cura | | |
| 0% | 25%, 50%, 75% e 100% | ----- |
| 25% | 0%, 50%, 75% e 100% | ----- |
| 50% | 0%, 25%, 75% e 100% | ----- |
| 75% | 0%, 50%, 75% e 100% | ----- |
| 100% | 0%, 25%, 50% e 75% | ----- |
| Ensaio após 14 dias de cura | | |
| 0% | 25% | 50%, 75% e 100% |
| 25% | 0%, 50%, 75% e 100% | ----- |
| 50% | 25% | 0%, 75% e 100% |
| 75% | 25% | 0%, 50% e 100% |
| 100% | 0% e 25% | 50% e 75% |
| Ensaio após 28 dias de cura | | |
| 0% | 25%, 75% e 100% | 50% |
| 25% | 0%, 50%, 75% e 100% | ----- |
| 50% | 25%, 75% e 100% | 0% |
| 75% | 0%, 25% e 50% | 100% |
| 100% | 0%, 25% e 50% | 75% |

Capítulo 5. Conclusões e Recomendações

5.1 Conclusões

Os resultados do presente estudo mostram que a substituição parcial da areia nas argamassas por resíduos de lamas tem um efeito benéfico.

Os resultados obtidos mostram melhores valores de resistência mecânica e absorção de água em amostras com 25% de resíduo de lama.

Dado que o tratamento estatístico dos resultados de resistência à flexão e à compressão das amostras com 25% de resíduo mostra que estes resultados diferem significativamente dos resultados obtidos com as restantes composições, e tendo em conta que esta composição deu os melhores resultados, recomenda-se a selecção desta composição.

5.2 Recomendações

Apesar de o estudo produzir resultados promissores, é importante que se faça um trabalho junto das autoridades que lidam com as questões ambientais, como o MICOA, com o objectivo de mostrar a relevância da introdução de incentivos que motivem os produtores a embarcarem nestes projectos.

Recomenda se também que se faça um estudo da influencia da idade de cura no ensaio tecnológico de porosidade aparente.

Porque neste estudo se trabalhou com intervalos alargados de composições (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) e tendo em conta que os melhores resultados se situam à volta dos 25%, seria ainda de recomendar que se realizem estudos adicionais na região próxima dos 25%. Estes estudos poderiam ser feitos com resíduos de mármore e granitos puros, assim como de lamas colhidas em momentos diferentes, cuja composição difere dos materiais processados em cada momento.

Referências bibliográficas

Babisk, M. P. (2009): **Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais.** Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro Brasil

Baboo, R.; Naushad K.H.; Abhishek, Kr.; Rushad T.S. e Duggal S.K. (2011): **Influence of Marble powder/granules in Concrete mix.** International Journal of Civil and Structural Engineering **1** (4): 827-834

Barbosa, M. T. G., Coura, C. V. G. e Mendes, L. O. (2008): **Estudo sobre a areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto.** Departamento de Construção Civil. Universidade Federal de Juiz de Fora. 51 e 52p

Cílek, V. (1989): **Industrial Minerals of Mozambique,** Ministry of Mineral Resources. Special Publication of the Geological Survey, Prague

Conjo, E. N. (2011): **Avaliação da possível utilização dos calcários dos distritos de Homóine e Inharrime como ligantes na construção.** Trabalho de Licenciatura. Departamento de Química. Faculdade de Ciências. UEM-Maputo.

Da Costa, T. M. O. (1987): **Argilas para Material de Construção: síntese de ensaios e normas.** Laboratório de cerâmica. LEM.

Demirel, B. (2010): **The effect of the using waste marble dust as fine sand on the mechanical properties of the concrete.** International Journal of the Physical Sciences **5** (9): 1372-1380 (Avail. online at <http://www.academicjournals.org/IJPS>)

De Mello, R. M. (2006): **Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha.** 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Escola Senai Mario Amato. Sao Paulo

Dhanapandian, S. e Gnanavel, B. (2010): **Using Granite and Marble Sawing Power Wastes in the Production of Bricks: Spectroscopic and Mechanical Analysis**. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology **2** (1): 73-86

Dominguez, E. A. e Ulmann, R. (1996): **Ecological bricks “made with clays and steel dust pollutants**. Applied Clay Science **11**, 237-249p

Falcão, P. I. e Stellin Júnior, A. (2001): **Utilização de finos de serrarias do espírito santo nas indústrias de construção civil**. Jornadas IBERMAC. Materiais de Construção – 2001 Madrid/Espanha.

Ferreira, J. M. F.; Torres, P. M. C.; Silva, M. S. e Labrincha, J. A. (sem ano): **Recycling of granite sludges in brick type and floor tile type ceramic formulations**. Euroceram News – Edition No. 14: 1-10

Gonçalves, J. P. (2000): **Utilização de resíduos de corte de Granito (RCG) como adição para a produção de concretos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Leonardo, A. (2006): **Reciclagem de escória cristalizada para a produção de argamassas**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Materiais para Engenharia. Departamento de Física e Química. Instituto de Ciências. Universidade Federal de Itajuba-Brasil

Malhotra, S. K. e Tehri, S. P. (1996): **Development of bricks from granulated blast furnace slag**. Construction and Building Materials **10**, No. 3, 191-193p

Martins, J. G. (2010): **Materiais de Construção I. Betões: Elementos Gerais, Naturais e Qualidade**. 3ª edição. Série Materiais. Universidade Fernando Pessoa. 38p

Mendonça, B. D. (2007): **Estudo do Desempenho das Argamassas Hidráulicas: Influência de Ligantes**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico-Universidade Técnica de Lisboa

Menezes, R. R., Ferreira, H. S., Neves, G. A., Lira, H. De L., Ferreira, H. C. (2007): **Use of Granite Sawing Wastes in the Production of Ceramic Bricks and Tiles**. Journal of the European Ceramic Society. Volume 25. 1149-1158p

Moura, W. A., Gonçalves, J. P. e Leite, R. S. (2002): **Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para Piso**. Feira de Santana – Bahia- Brasil. 49-61p

Moreira, J.M.S; Manhães, J. P. V. T e Holanda, J. N. F. (2005): **reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha**, Universidade Estadual do Norte Fluminense.Brasil

Muchanga, A. J. M. M. (2008): **Efeitos da adição de rochas ornamentais nas propriedades tecnológicas das argilas**. Trabalho de Licenciatura. Departamento de Química. Faculdade de Ciências. UEM

Oliveira, J.R. e Avellar, L. M. (2009): **Utilização de resíduos sólidos do corte de mármore na produção de pelotas de interesse siderúrgico**. II Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do Ifes. Disponível em http://www.cefetes.br/pse/prppg/pesquisa/jornadas/jornada_2008_2009/PIBIC/Engenharias/054%20-%20055%20-%20PIBIC%20-%20ENG%20-%20Jose%20Roberto%20de%20Oliveira%20-%20Leandro%20Munhoz%20de%20Avellar.pdf (acessado em 06 de Dezembro de 2011)

Reis, A. S. e Tristão, F. A. (sem ano): **Análise de argamassas com resíduo de corte de rochas ornamentais** Disponível em http://www.apfac.pt/congresso2007/comunicacoes/Paper%2038_07.pdf (acessado em 27 de Junho de 2011)

Rodrigues, G. F. (2009): **Reciclagem de resíduos visando a produção de lâ mineral**, Dissertação de Mestrado, Rede Temática em Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Ouro Preto. Brasil

Segadães, A. M.; Carvalho, M. A. e Acchar, W. (2005): **Using marble and granite rejects to enhance the processing of clay products.** Applied Clay Science **30**: 42-52

Silva, J. B, Hotza, D., Segadães A. M. e Acchar, W. (2005): **Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas.** Cerâmica **51**. 325-330p

Soares, L. e Mendes, K. da S. (1999): **Aproveitamento de finos de pedreiras;** Rev.Brasil Mineral, n. 179, p 38-45.

Souza, A. J., Pinheiro, B. C. A. e Holanda, J. N. F. (2011): **Efeito da adição de resíduo de rocha ornamental nas propriedades tecnológicas e microestrutura de piso cerâmico vitrificado.** Grupo de materiais Cerâmicos. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-Brasil. 213p

Souza, J. N.; Rodrigues, J. K. G. e Neto, P. N. S. (sem ano): **Utilização do Resíduo Proveniente da Serragem de Rochas Graníticas como Material de Enchimento em Concretos Asfálticos Usinados a Quente.** Disponível em www.fiec.org.br/iel/bolsaderesiduos/Artigos/Artigo_Residuos_de_Serragem_de_rochas.pdf+utilizacao+do+residuo+proveniente+da+serragem+de+rochas+graticias+com+material+de+enchimento&hl=pt-.(acessado em 13 de Dezembro de 2011)

Tayeb, B.; Abdelbaki, B.; Madani, B. e Mohamed, L. (2011): **Effect of Marble Powder on the Properties of Self-Compacting Sand Concrete.** The Open Construction and Building Technology Journal, **5**: 25-29

ANEXOS

(Valores médios dos ensaios tecnológicos, desvio padrão e múltipla comparação)

ANEXO 1: Resultados de resistência à flexão (MPa)

| Traços (%) | Idades | | | |
|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 3 dias | 7 dias | 14 dias | 28 dias |
| 0 | 1.560 ± 0.139(5) | 1.560 ± 0.146(4) | 2.682 ± 0.611(4) | 2.382 ± 0.543(3) |
| 25 | 1.738 ± 0.39(4) | 2.245 ± 0,445(4) | 2.937 ± 0.251(4) | 3.200 ± 0.092(5) |
| 50 | 1.405 ± 0.141(4) | 0.860 ± 0.291(4) | 1.873 ± 0.075(4) | 2.590 ± 0.485(4) |
| 75 | 1.030 ± 0.28(4) | 1.050 ± 0.046(5) | 1.230 ± 0.222(4) | 1.640 ± 0.173(4) |
| 100 | 0.88 ± 0.077(4) | 0.975 ± 0.040(4) | 1.130 ± 0.139(4) | 2.010 ± 0.301(4) |

ANEXO 2: Resultados de resistência à compressão (MPa)

| Traços (%) | Idades | | | |
|------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 3 dias | 7 dias | 14 dias | 28 dias |
| 0 | 6.376 ± 2.102(5) | 8.363 ± 1.229(4) | 8.780 ± 1.202(4) | 12.190 ± 2.401(4) |
| 25 | 6.548 ± 2.521(3) | 10.793 ± 0.355(4) | 13.563 ± 3.728(4) | 13.808 ± 0.931(4) |
| 50 | 5.985 ± 0.656(4) | 6.573 ± 0.551(4) | 8.095 ± 0.232(5) | 9.808 ± 0.307(4) |
| 75 | 3.630 ± 0.511(4) | 4.880 ± 0.701(4) | 6.867 ± 0.395(4) | 4.543 ± 0.153(4) |
| 100 | 3.310 ± 0.144(4) | 2.990 ± 0.100(4) | 4.250 ± 0.246(4) | 4.245 ± 0.096(4) |

ANEXO 3: Resultados de absorção de água em percentagem (%)

| Traços (%) | Idades | | | |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 3 dias | 7 dias | 14 dias | 28 dias |
| 0 | 12.245 ± 0.450(4) | 12.673 ± 0.255(5) | 12.420 ± 0.698(5) | 11.778 ± 0.639(4) |
| 25 | 8.370 ± 0.969(4) | 8.440 ± 1.119(5) | 9.170 ± 1.043(5) | 8.383 ± 0.906(4) |
| 50 | 16.090 ± 1.206(5) | 19.470 ± 2.766(4) | 19.412 ± 4.111(5) | 14.273 ± 1.193(5) |
| 75 | 19.430 ± 0.447(4) | 19.870 ± 0.684(4) | 22.625 ± 0.580(4) | 20.230 ± 0.959(5) |
| 100 | 24.933 ± 1.009(4) | 23.777 ± 1.095(4) | 24.205 ± 0.645(4) | 22.663 ± 1.283(4) |

ANEXO 4: Resultados de porosidade aparente em percentagem (%)

| Traços (%) | Idades | | | |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 3 dias | 7 dias | 14 dias | 28 dias |
| 0 | 22.730 ± 0.890(4) | 23.423 ± 0.480(5) | 23.680 ± 0.754(4) | 21.720 ± 0.797(3) |
| 25 | 16.678 ± 1.515(5) | 17.546 ± 2.117(5) | 18.248 ± 1.555(5) | 16.370 ± 1.478(4) |
| 50 | 28.106 ± 1.423(4) | 30.978 ± 2.190(4) | 30.855 ± 3.136(4) | 25.640 ± 1.436(4) |
| 75 | 32.233 ± 0.540(4) | 32.758 ± 0.526(4) | 35.688 ± 0.729(4) | 32.548 ± 1.091(5) |
| 100 | 36.646 ± 1.037(5) | 36.017 ± 0.698(5) | 36.463 ± 0.731(4) | 34.430 ± 1.283(4) |

ANEXO 5: Resultados de peso específico ou densidade aparente (Kg/m³)

| Traços (%) | Idades | | | |
|------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | 3 dias | 7 dias | 14 dias | 28 dias |
| 0 | 1857.7 ± 33.868(5) | 1842.34 ± 6.320(4) | 1919.93 ± 34.501(4) | 1845.58 ± 34.945(5) |
| 25 | 1956.87 ± 45.809(4) | 1988.22 ± 34.548(4) | 1995.02 ± 57.221(5) | 1974.41 ± 12.536(4) |
| 50 | 1734.02 ± 32.444(4) | 1660.45 ± 100.394(5) | 1677.56 ± 145.144(4) | 1782.88 ± 33.477(4) |
| 75 | 1659.24 ± 18.518(4) | 1649.45 ± 31.159(4) | 1586.59 ± 29.219(4) | 1606.87 ± 25.166(4) |
| 100 | 1496.94 ± 18.730(4) | 1520.67 ± 43.548(4) | 1490.15 ± 12.344(4) | 1524.60 ± 52.331(4) |

ANEXO 6: Múltipla comparação dos resultados de resistência à flexão aos 3, 7, 14 e 28 dias de cura para todos os aditivos

Tabela 1: Múltipla comparação dos resultados de resistência à flexão aos 3 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de aditivo | -0.39 | 0.482789 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % aditivo | -0.108 | 0.482789 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de aditivo | *-1.046 | 0.482789 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *-0.654 | 0.482789 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | 0.282 | 0.482789 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de aditivo | *-0.656 | 0.482789 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | -0.264 | 0.482789 |

| | | |
|--|---------|----------|
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de aditivo | *-0.938 | 0.482789 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *-0.546 | 0.482789 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | 0.392 | 0.482789 |

* denotes a statistically significant difference.

Tabela 2: Múltipla comparação dos resultados de resistência à flexão aos 7 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | -0.032 | 0.426787 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | -0.154 | 0.426787 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *-1.468 | 0.426787 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *-0.702 | 0.426787 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | -0.122 | 0.426787 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *-1.436 | 0.426787 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *-0.67 | 0.426787 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *-1.314 | 0.426787 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *- 0.548 | 0.426787 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *0.766 | 0.426787 |

* denotes a statistically significant difference.

Tabela 3: Múltipla comparação dos resultados de resistência à flexão aos 14 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *-0.782 | 0.527165 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | -0.064 | 0.527165 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *-1.856 | 0.527165 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *-1.606 | 0.527165 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | *0.718 | 0.527165 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *-1.074 | 0.527165 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *-0.824 | 0.527165 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *-1.792 | 0.527165 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *-1.542 | 0.527165 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | 0.25 | 0.527165 |

* denotes a statistically significant difference.

Tabela 4: Múltipla comparação dos resultados de resistência à flexão aos 28 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *-0.78 | 0.583779 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | 0.248 | 0.583779 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *-1.546 | 0.583779 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | -0.572 | 0.583779 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | *1.028 | 0.583779 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *-0.766 | 0.583779 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | 0.208 | 0.583779 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *-1.794 | 0.583779 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *-0.82 | 0.583779 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *0.974 | 0.583779 |

* denotes a statistically significant difference.

ANEXO 7: Múltipla comparação dos resultados de resistência à compressão aos 3, 7, 14 e 28 dias de cura para todos os aditivos

Tabela 1: Múltipla comparação dos resultados de resistência à compressão aos 3 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *-3.14 | 2.55229 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | -0.178 | 2.55229 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *-4.552 | 2.55229 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *-3.12 | 2.55229 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | *2.962 | 2.55229 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | -1.412 | 2.55229 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | 0.02 | 2.55229 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *-4.374 | 2.55229 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *-2.942 | 2.55229 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | 1.432 | 2.55229 |

* denotes a statistically significant difference.

Tabela 2: Múltipla comparação dos resultados de resistência à compressão aos 7 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *-3.278 | 1.57022 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | *-1.67 | 1.57022 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *-7.83 | 1.57022 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *-6.064 | 1.57022 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | *1.608 | 1.57022 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *-4.552 | 1.57022 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *-2.786 | 1.57022 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *-6.16 | 1.57022 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *-4.394 | 1.57022 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *1.766 | 1.57022 |

* denotes a statistically significant difference

Tabela 3: Múltipla comparação dos resultados de resistência à compressão aos 14 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | -3.614 | 4.95865 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | -2.552 | 4.95865 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *-12.342 | 4.95865 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *-5.77 | 4.95865 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | 1.062 | 4.95865 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *-8.728 | 4.95865 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | -2.156 | 4.95865 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *-9.79 | 4.95865 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | -3.218 | 4.95865 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *6.572 | 4.95865 |

* denotes a statistically significant difference.

Tabela 4: Múltipla comparação dos resultados de resistência à compressão aos 28 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *-4.96 | 3.85439 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | -0.41 | 3.85439 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *-12.064 | 3.85439 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *-6.924 | 3.85439 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | *4.55 | 3.85439 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *-7.104 | 3.85439 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | -1.964 | 3.85439 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *-11.654 | 3.85439 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *-6.514 | 3.85439 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *5.14 | 3.85439 |

* denotes a statistically significant difference.

ANEXO 8: Múltipla comparação dos resultados de absorção de água aos 3, 7, 14 e 28 dias de cura para todos os aditivos

Tabela 1: Múltipla comparação dos resultados de absorção de água aos 3 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *8.448 | 1.65394 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | *4.496 | 1.65394 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *15.792 | 1.65394 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *12.76 | 1.65394 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | *-3.952 | 1.65394 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *7.344 | 1.65394 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *4.312 | 1.65394 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *11.296 | 1.65394 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *8.264 | 1.65394 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *-3.032 | 1.65394 |

* denotes a statistically significant difference.

Tabela 2: Múltipla comparação dos resultados de absorção de água aos 7 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *4.312 | 2.23325 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | *3.504 | 2.23325 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *14.914 | 2.23325 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | 0.102 | 2.23325 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | -0.808 | 2.23325 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *10.602 | 2.23325 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *-4.21 | 2.23325 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *11.41 | 2.23325 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *-3.402 | 2.23325 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *-14.812 | 2.23325 |

* denotes a statistically significant difference.

Tabela 3: Múltipla comparação dos resultados de absorção de água aos 14 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *5.068 | 2.67641 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | 2.338 | 2.67641 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *15.31 | 2.67641 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *12.054 | 2.67641 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | *-2.73 | 2.67641 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *10.242 | 2.67641 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *6.986 | 2.67641 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *12.972 | 2.67641 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *9.716 | 2.67641 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *-3.256 | 2.67641 |

* denotes a statistically significant difference.

Tabela 4: Múltipla comparação dos resultados de absorção de água aos 28 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *9.226 | 2.41012 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | *3.896 | 2.41012 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *16.092 | 2.41012 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *12.516 | 2.41012 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | *-5.33 | 2.41012 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *6.866 | 2.41012 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *3.29 | 2.41012 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *12.196 | 2.41012 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *8.62 | 2.41012 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *-3.576 | 2.41012 |

* denotes a statistically significant difference.

ANEXO 9: Múltipla comparação dos resultados de porosidade aparente aos 3, 7, 14 e 28 dias de cura para todos os aditivos

Tabela 1: Múltipla comparação dos resultados de porosidade aparente aos 3 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *8.54 | 1.95163 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | *3.91 | 1.95163 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *19.402 | 1.95163 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *14.614 | 1.95163 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | *-4.63 | 1.95163 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *10.862 | 1.95163 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *6.074 | 1.95163 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *15.492 | 1.95163 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *10.704 | 1.95163 |
| vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *-4.788 | 1.95163 |

* denotes a statistically significant difference.

Tabela 2: Múltipla comparação dos resultados de porosidade aparente aos 7 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *3.998 | 2.46794 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | *2.992 | 2.46794 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *18.4 | 2.46794 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *12.424 | 2.46794 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | -1.006 | 2.46794 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *14.402 | 2.46794 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *8.426 | 2.46794 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *15.408 | 2.46794 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *9.432 | 2.46794 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *-5.976 | 2.46794 |

* denotes a statistically significant difference.

Tabela 3: Múltipla comparação dos resultados de porosidade aparente aos 14 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *4.562 | 2.70102 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | 1.518 | 2.70102 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *18.398 | 2.70102 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *12.968 | 2.70102 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | *-3.044 | 2.70102 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *13.836 | 2.70102 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *8.406 | 2.70102 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *16.88 | 2.70102 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *11.45 | 2.70102 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *-5.43 | 2.70102 |

* denotes a statistically significant difference.

Tabela 4: Múltipla comparação dos resultados de porosidade aparente aos 28 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *8.732 | 1.87258 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | *2.512 | 1.87258 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *18.564 | 1.87258 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *13.554 | 1.87258 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | *-6.22 | 1.87258 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *9.832 | 1.87258 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *4.822 | 1.87258 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *16.052 | 1.87258 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *11.042 | 1.87258 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *-5.01 | 1.87258 |

* denotes a statistically significant difference.

ANEXO 10: Múltipla comparação dos resultados de peso específico aos 3, 7, 14 e 28 dias de cura para todos os aditivos

Tabela 1: Múltipla comparação dos resultados de peso específico aos 3 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *-254.56 | 65.8036 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | *-141.352 | 65.8036 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *-483.042 | 65.8036 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *-379.346 | 65.8036 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | *113.208 | 65.8036 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *-228.482 | 65.8036 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *-124.786 | 65.8036 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *-341.69 | 65.8036 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *-237.994 | 65.8036 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *103.696 | 65.8036 |

* denotes a statistically significant difference.

Tabela 2: Múltipla comparação dos resultados de peso específico aos 7 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *-139.78 | 80.9318 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | *-114.144 | 80.9318 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *-465.914 | 80.9318 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *-320.398 | 80.9318 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | 25.636 | 80.9318 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *-326.134 | 80.9318 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *-180.618 | 80.9318 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *-351.77 | 80.9318 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *-206.254 | 80.9318 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *145.516 | 80.9318 |

* denotes a statistically significant difference.

Tabela 3: Múltipla comparação dos resultados de peso específico aos 14 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *-186.694 | 98.4159 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | -95.728 | 98.4159 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *-504.154 | 98.4159 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *-414.068 | 98.4159 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | 90.966 | 98.4159 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *-317.46 | 98.4159 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *-227.374 | 98.4159 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *-408.426 | 98.4159 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *-318.34 | 98.4159 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | 90.086 | 98.4159 |

* denotes a statistically significant difference.

Tabela 4: Múltipla comparação dos resultados de peso específico aos 28 dias de cura para todos os aditivos

| Contrast | Difference | +/- Limits |
|---|------------|------------|
| Cem % de aditivo - cinquenta % de adi | *-274.406 | 61.3375 |
| Cem % de aditivo - setenta e cinco % | *-110.948 | 61.3375 |
| Cem % de aditivo - vinte e cinco % de | *-462.574 | 61.3375 |
| Cem % de aditivo - zero % de aditivo | *-358.014 | 61.3375 |
| Cinquenta % de adi - setenta e cinco % | *163.458 | 61.3375 |
| Cinquenta % de adi - vinte e cinco % de | *-188.168 | 61.3375 |
| Cinquenta % de adi - zero % de aditivo | *-83.608 | 61.3375 |
| Setenta e cinco % - vinte e cinco % de | *-351.626 | 61.3375 |
| Setenta e cinco % - zero % de aditivo | *-247.066 | 61.3375 |
| Vinte e cinco % de - zero % de aditivo | *104.56 | 61.3375 |

* denotes a statistically significant difference.