

TEMA 1 - ARQUITECTURA E AMBIENTE

- 16** TERRA E BAMBÚ ESTRUTURAIIS - UM DESAFIO DE PROJECTO
Eduardo Carvalho, Francisco Freire e Luís Gama
- 20** INNOVATIVE APPROACHES IN EDUCATIONAL PEDAGOGY FOR EARTHEN ARCHITECTURE
Hugo Houben, Patrice Doat, Laetitia Fontaine, Romain Anger, Wilfredo Carazas Aedo, Christian Olagnon, Henri Van Damme
- 24** ARQUITECTURA TRADICIONAL DE GOA
Victor Mestre
- 28** ARQUITECTURA DE TERRA NA SERRA DE MONCHIQUE
Pedro Emanuel Cabrita Neves Bexiga
- 32** PROTOTIPOS DE ADOBE EN LA POST-GUERRA ESPAÑOLA
Juana Font Arellano
- 36** ARQUITECTURA MILITAR EM TERRA NO NORTE DE PORTUGAL
Ana Tavares Martins e Mariana Correia
- 40** A TERRA COMO FONTE DE GERAÇÃO DE RENDA, DE ESPERANÇA E DE VIDA: RELATO DE UMA EXPERIÊNCIA EM SÃO JOSÉ DO RIO PARDO-SP (BRASIL)
Rosana Soares Bertocco Parisi, Ana Cristina Villaça, Obede Borges Faria, Glacir Teresinha Fricke, Francisco Artur da Silva Vecchia
- 45** A RESPONSABILIDADE DO SECTOR DA CONSTRUÇÃO PERANTE O AQUECIMENTO GLOBAL
E. Vera Schmidberger
- 48** LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA CRUDA COMO ALTERNATIVA DE DISEÑO SUSTENTABLE: PROYECTO PARA EL PLAN DE ESTUDIOS DE ESCUELAS Y FACULTADES DE ARQUITECTURA
Berenice Aguilar Prieto

TEMA 2 - MATERIAIS E COMPORTAMENTO

- 54** MATERIAIS PARA CONSERVAÇÃO ARQUITETÔNICA: AVANÇOS CIENTÍFICOS E PRÁTICOS
Maria Isabel Kanan
- 57** METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO LABORATORIAL E IN SITU DE REVESTIMENTOS TRADICIONAIS DE CONSTRUÇÕES EXISTENTES EM TAIPA
Luís Pedro Mateus, Maria do Rosário Veiga e Jorge de Brito
- 61** PROPRIEDADES RELEVANTES DA BENTONITE UTILIZADA NO REVESTIMENTO DA COBERTURA DA TÍPICA CASA DE SALÃO DO PORTO SANTO (ARQUIPÉLAGO DA MADEIRA)
João Silva, Celso Gomes
- 63** A IMPORTÂNCIA DA CARACTERIZAÇÃO LABORATORIAL DE SOLOS PARA A CONSTRUÇÃO EM TAIPA
Pedro Lança, Sofia Soares
- 66** ARGAMASSAS DE CAL AÉREA PARA CONSTRUÇÕES EM TERRA
Paulina Faria Rodrigues
- 71** CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DIFERIDO DE ALVENARIA DE ADOBE
Daniel Oliveira, Humberto Varum, Rui Silva, Henrique Pereira, Paulo Lourenço e Aníbal Costa
- 75** ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MUROS DE ADOBE COMPACTADO Y PARÁMETROS DE DISEÑO
Lidia Juárez
- 79** PAREDES NÃO ESTRUTURAIIS EM ADOBE AVALIAÇÃO FUNCIONAL
Paulo Mendonça
- 82** AVALIAÇÃO DO MELHORAMENTO DE TERRA ESTABILIZADA COM CIMENTO E ACTIVADORES
Maria L. S. Cruz e Said Jalali
- 86** SOLO-CIMENTO: DOSAGEM E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS
Célia Neves
- 89** BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDOS DE ELEVADO DESEMPENHO UTILIZANDO MISTURAS METACAULINO - CAL
Rute Eires e Said Jalali
- 91** ESTUDO COMPARATIVO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS COMPÓSITOS PARA ADOBE E CHAPAS DE PARTÍCULAS
Rosane Battistelle, Obede Faria, Tarsila Miyazato e Maria Fernanda Freitas
- 94** CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS E ADOBES USADOS NA CONSTRUÇÃO EM CAMABATELA, ANGOLA
Humberto Varum, Aníbal Costa, Dora Silveira, Giselle Carvalho e Luís Silva
- 97** SEISMIC VULNERABILITY OF THE TRADITIONAL CONSTRUCTIONS IN THE NORTH OF AFRICA
José Arango González
- 100** SURFACE PROTECTION OF EARTHEN BUILDINGS
Manuela Mattone

TEMA 3

- 104**
Leonardo Egas
- 108**
Carla Pereira e
- 112**
M. Jara-Díaz, J
- 116**
Maria Fernand
- 120**
Teresa Beirão,
- 124**
A
A
Quentin Wilson
- 128**
T
Eugenia Maria A
- 132**
C
S
N
Chiara Cei, Mau
- 136**
P
M
-E
Fabio Taucer, Ai

BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDOS DE ELEVADO DESEMPENHO UTILIZANDO MISTURAS METACAULINO – CAL

Rute Eires e Said Jalali

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho
Campus de Azurém, 4800-058, Guimarães, PORTUGAL
E-mail: rute@civil.uminho.pt

Palavras-chave: Construção em Terra, Metacaulino e Cal.

Resumo

A construção em terra com blocos de terra comprimidos (BTC) tem sido realizada maioritariamente com recurso a adição de cimento para melhoria das suas propriedades mecânicas através da estabilização do solo utilizado. Contudo esta adição pode ser substituída por materiais mais eco-eficientes, o metacaulino (material pozolânico) e a cal. O metacaulino possui uma menor energia incorporada e consequentemente de menores emissões de CO₂. A cal utilizada reage com metacaulino para produzir um material cimentício e hidráulico com boas características mecânicas e da durabilidade.

As argamassas pozolânicas (compósitos de cal com pozolana) são conhecidas há mais de 2000 anos, embora tenham sido abandonadas devido ao longo período de cura necessário para uma resistência mecânica suficiente, incompatível com a actual rapidez de construção (Malhotra e Mehta 2000). No entanto as pozolanas mostram ser adequadas como adição no fabrico BTC. Este estudo avalia o efeito das percentagens da mistura de metacaulino e cal no ganho da resistência mecânica e da durabilidade do BTC com tempo de cura. Para melhorar o comportamento mecânico, a durabilidade, a resistência a bactérias e fungos, reduzir o tempo de cura e melhorar as resistências a longo prazo, foi estudada o efeito de uma pequena percentagem de activadores.

Os principais benefícios da utilização deste tipo de mistura são funcionais, económicos e ambientais. Em termos funcionais, proporciona um aumento das resistências mecânicas, da impermeabilidade e da durabilidade a ataques químicos. Economicamente, as pozolanas ao consumirem menos energia durante o seu fabrico que o cimento ou ao serem utilizados subprodutos industriais adquirem um menor custo. Ambientalmente, contribui-se para uma redução do consumo de energia e para a diminuição da libertação de CO₂, prejudicial ao ambiente. Assim como é um meio de reutilizar resíduos industriais que poderiam ser prejudiciais.

1. Introdução

Este estudo apresenta os resultados de uma investigação levada a cabo em duas fases. A primeira fase abordou a obtenção das percentagens adequadas de metacaulino e cal na mistura pozolânica, bem com o estudo de activadores minerais para reduzir o tempo de cura, melhorar as resistências a longo prazo e prevenir o aparecimento de fungos ou bactérias. Na segunda fase

foi feita uma avaliação comparativa entre BTC utilizando um solo arenoso com o mesmo solo contendo duas adições (a mistura pozolânica e um polímero orgânico).

2. Materiais utilizados

O metacaulino utilizado foi adquirido por tratamento de resíduos de uma mina de extracção de agregados. Os resíduos obtidos são tratados a quente, resultando num material amorfo, um aluminossilicato que reage rapidamente com hidróxido de cálcio originando um material cimentício (Fernandes, Jalali, Torres e Oliveira 2005). A cal utilizada neste estudo foi uma cal hidratada comercial portuguesa com um elevado índice de pureza, cuja composição química, expressa óxidos, possui cerca de 90% de óxido de cálcio. O solo arenoso foi preparado em laboratório mediante a junção, em massa, de 85% de areia com 15% de caulino.

3. Metodologia

As misturas pozolânicas com consistência terra húmida para o fabrico de BTC foram preparados misturando os materiais sólidos, durante um minuto, em misturadora de laboratório de forma a obter uma mistura homogénea, e seguidamente a água foi adicionada, para se obter a mistura final. Os activadores minerais, quando usados, foram dissolvidos na água antes da sua introdução na mistura.

Foram moldados provetes por compactação, num equipamento de compactação estática, de 30 mm de diâmetro e 37 mm de altura. O equipamento permite o fabrico de provetes cilíndricos de baridade constante.

Os provetes foram armazenados em caixas plásticas convencionais, hermeticamente fechadas, tendo sido colocados previamente pequenos recipientes com água e papel absorvente, mantendo uma humidade relativa de 100% sem contacto com o ar livre. Assim, com este método é possível manter as condições necessárias para que o processo de cura ocorra com a mínima interferência do dióxido de carbono, mantendo uma humidade relativa elevada e constante (Rojas e Cabrera 2002).

Para avaliar as resistências das misturas foram realizados ensaios de compressão simples em prensa hidráulica, para todos os provetes moldados e curados segundo as exigências específicas do material. Sendo os resultados obtidos pelas médias de três provetes para cada idade ou composição.

4. Misturas pozolânicas de metacaulino e cal

Para avaliar as percentagens adequadas de cal e metacaulino foram realizadas duas composições distintas, uma com uma massa 25% de cal e outra com 50% de cal, em massa, mantendo constante a percentagem de água utilizada. Prepararam-se duas misturas, com consistência terra húmida, com razão água/ligante de 0,6, devido à elevada absorção dos componentes.

O ensaio de resistência à compressão resulta numa rotura frágil e de forma cónica, mostrando uma elevada coesão do material. Observa-se que a mistura 50%MK/50%C tem um ganho de resistência ligeiramente superior nas primeiras duas semanas. As duas misturas aos 14 dias têm sensivelmente a mesma resistência. A partir desta idade a mistura 75%MK/25%C apresenta uma resistência superior. Os resultados indicam que maior quantidade de cal nas idades jovens produz maior quantidade de produtos de reacção pozolânica e a partir de duas semanas aparentemente o excesso de cal inibe a formação de produtos de reacção. A combinação mais adequada é de 25% de cal e 75% de metacaulino, tendo em conta que as resistências a partir dos 14 dias mantêm-se superiores em relação à mistura com 50% de cal.

Para a avaliação dos potenciais efeitos de diversos activadores minerais no processo de cura e ganho de resistência da mistura de metacaulino com cal foram preparadas misturas com uma massa de 75% de metacaulino e 25% de cal com 2% de activador. Os activadores utilizados são cloreto de Cálcio (CaCl_2), Cloreto de Sódio (NaCl), Hidróxido de Sódio (NaOH), Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) (Materials World 2004) e Gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Verifica-se na Figura 2 que o endurecimento da composição de bórax inicia-se de forma mais lenta, mas a partir dos 28 dias ultrapassa os valores das composições padrão e de todas as outras. A adição do cloreto de sódio apenas acelerou a cura até aos sete dias, passando depois a uma resistência inferior à mistura padrão. As adições de hidróxido de sódio e de gesso mantêm-se constantemente a um nível baixo da composição padrão. Verifica-se uma queda da resistência da composição padrão aos 180 dias que não é possível explicar neste momento. Para efeitos práticos parece indicada a utilização de cloreto de cálcio (CaCl_2) que permite uma aceleração do tempo de cura e aumenta a resistência em relação à mistura padrão.

5. BTC de solo arenoso e adições

Para o estudo comparativo entre o solo arenoso e solos com adições foram realizadas diversas composições (Tabela 1) seguindo o mesmo processo de preparação e compactação das misturas pozolânicas. As adições utilizadas em percentagens

diferentes, relativamente ao peso dos materiais, são polímero orgânico (PO), metacaulino (MK) e cal.

Em relação às características físicas das amostras, estas apresentam de facto uma coloração e textura de um solo arenoso e alguma fragilidade nas extremidades até aos sete dias. Relativamente ao comportamento mecânico dos provetes destes solos, todos apresentam um comportamento dúctil (Figura 3).

No gráfico seguinte observa-se que a adição da mistura pozolânica metacaulino/cal (S 5%MK/Cal) aumenta as resistências do solo S. A adição de 0,4% de polímero orgânico no solo S 5%MK/Cal/0,4%PO aumenta as resistências deste solo com metacaulino e cal.

Ainda neste gráfico é possível verificar que existe uma considerável perda de resistência deste tipo de solo arenoso para fabrico de BTC quando saturado em água durante quatro horas, enquanto que o solo simples (S) desfaz-se no momento da saturação. As restantes misturas com metacaulino e cal apresentam uma perda de resistência chegando ao valor inferior à resistência nos 3 dias de cura.

6. Conclusões

O estudo preliminar revela que a proporção mais adequada de metacaulino e cal é de 75% de metacaulino e 25% de cal, existindo a longo prazo uma desvantagem na incorporação de maior percentagem de cal. Tal verifica-se devido à diminuição da quantidade de metacaulino.

A utilização de activadores na mistura pozolânica estudada indica que no ganho de resistências é relativamente mais vantajosa a adição de cloreto de cálcio, sobretudo no início do processo de cura, assim como a incorporação de bórax para as resistências a partir dos 28 dias. Pelo que, quando for necessária uma aceleração do processo de cura, o cloreto de cálcio será a melhor opção. Todavia, a longo prazo a mistura pozolânica com bórax adquire uma maior resistência.

Em relação ao BTC conclui-se, com base na interpretação dos resultados obtidos, que os valores verificados podem ser considerados satisfatórios, verificando-se os efeitos esperados com a incorporação da mistura pozolânica e nos activadores em BTC de solo arenoso. A adição da mistura pozolânica aumenta as resistências do BTC.

A adição de 0,4% de polímero orgânico ao solo com mistura pozolânica aumenta as resistências, especialmente após saturação. Sendo previsível que estas resistências aumentem progressivamente até aos 90 dias à semelhança da mistura pozolânica padrão de 75% de metacaulino e 25% de cal.

Bibliografia

FERNANDES, José Miguel; JALALI, Saïd; TORRES Elvira ; OLIVEIRA, Luís (2005): "L'emploi de métakaolin dans la production de béton écologiquement efficace", em *Mater. Struct.* (277), RILEM publications.
<http://www.metakaolin.com> (2004).
 MALHOTRA, V. M.; MEHTA D. K. (2000): "Pozzolanic and Cementitious Materials", em *Advances in Concrete Technology* *II*. Gordon and Breach Publishers.

MATERIALS WORLD (2004): "Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) – Sodium Borate – Occurrence", em *Discovery and Applications*. Vol. 12, no. 8, pg. 26, August.

ROJAS, Frias Moisés; CABRERA, Joseph. (2002): "The effect of temperature on the hydration rate and stability of the hydration phases of metakaolin–lime–water systems", em *Cement and Concrete Research* 32, 133–138.

Autores

Rute Eires, Licenciada em Arquitectura pela Universidade do Minho (UM). Mestre em Materiais e Reabilitação da Construção na área dos Materiais Sustentáveis. Doutoranda e investiga em Materiais de Construção no Departamento de Engenharia Civil na UM.

Said Jalali, Doutorado em Engenharia Civil, Professor Associado com agregação da Universidade do Minho, é docente do Departamento de Engenharia Civil na área de Materiais de Construção. Investiga na área de Construção Sustentável, Materiais Eco-eficientes e desenvolvimento de Novos Materiais de Construção.

ESTUDO DOS CO E CHAPA

Rosane Batti:

1 Faculdade de En
Av. Eng. Luiz E. C.
Tel.: +55 14 3103
2 Faculdade de Ar
Av. Eng. Luiz E. C.

Palavras-chave:

Resumo

O presente trabalho
têrmicas de com
empregando dife
embalagens cartor
caulinares da esp
foram obtidos com
fabricação de celu
com solo arenoso
30% e 40% de R
disponha de met
avaliação da condi
produzidos tijolos
produção das chap
50% e 60% de R
além dos traços cl
resíduo. Os adobes
de Processamento
Bauru/ UNESP, e
foram realizados
UFSCar, em São C
citar que a curva d
Tetra apresentar
aumentou, com o
acréscimo de bamb
os traços testemu
(Tetra), 0,303 W/m

1. Introdução

A questão da cond
de incentivo no
setores da ciência
relacionada ao en
determinados exp
função do tipo do c
Assim, para que ur
civil, é necessário
aos locais (países
efetivamente no c
Vários materiais
grande porosidade