

Máquina de Ensaio para Argamassa Expansiva

R. A. V. Silva*, H. L. Lira**

Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande – PB

Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58109-970, Campina Grande – Paraíba

(Recebido em 19/05/2011; revisado em 20/08/2011; aceito em 01/09/2011)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo:

A avaliação correta das propriedades de um determinado material é fundamental para que, na sua aplicação final, o seu desempenho atenda a todas as expectativas para as quais ele foi projetado. No decorrer do desenvolvimento de argamassa expansiva para lavra de rochas ornamentais, verificou-se a deficiência de metodologias de ensaio e equipamentos que pudessem avaliar a pressão e a temperatura produzida por esta argamassa durante o processo de expansão, sendo estes dados coletados em uma plataforma na qual o corpo de prova contendo o material esteja submetido a um estado estático. Neste trabalho, descreve-se um equipamento adequado para ensaios de temperatura e pressão expansiva de argamassas para o desmonte de rochas..

Palavras-chave: Argamassa expansiva; ensaio; equipamento de ensaio.

Abstract:

The correct evaluation of a material property is fundamental to, on their application; they met all expectations that were designed for. In development of an expansive cement for ornamental rocks purpose, was denoted the absence of methodologies and equipments to evaluate the expansive pressure and temperature of expansive cement during their expansive process, having that data collected in a static state of the specimen. In that paper, is described equipment designed for evaluation of pressure and temperature of expansive cements applied to ornamental rocks.

Keywords: Expansive cements; tests; test equipment.

1. Introdução

Uma argamassa é um material resultante de uma mistura de agregados (finos), um ou mais ligantes, água e, eventualmente, aditivos com a finalidade de melhorar as suas propriedades. As argamassas têm como objetivo cumprir as funções as mais comuns como o assentamento de alvenarias e o revestimento de elementos (paredes, colunas, fachadas, etc.). Além destas argamassas de uso comum, ainda temos algumas com finalidades especiais, dentre elas, destaca-se neste trabalho a argamassa expansiva.

A argamassa expansiva é um agente demolidor não explosivo, em pó, cujo componente majoritário é a cal virgem. Em contato com água, iniciam-se reações de hidratação, com aumento de volume durante o progresso dessas reações, promovendo, quando em confinamento, grandes pressões sobre as paredes confinantes, as quais chegam aproximadamente a 78 MPa. Essas tensões geram fissuras no meio confinante (rocha, concreto ou outro meio que se deseja

demolir), cuja magnitude e direção dependem do balanço de esforços atuantes no referido meio.

Os parâmetros dos fabricantes atuais que se toma como referência é de que o início da reação deve ocorrer de 15 a 30 minutos após a adição de água e possua pressão expansiva superior a 7.000 ton/m², num período de tempo de, no máximo, 30 horas após a aplicação no furo [1]. Estes fabricantes normalmente têm formulações diferentes para cada faixa de temperatura, as principais variáveis que são modificadas nestas formulações são o tempo de pega e de evolução dos esforços no meio. Outro fator relevante é que a expansão deva acontecer sem transbordamento no furo, ou seja, seguindo um sentido de expansão preferencialmente unilateral, o que é obtido pelo endurecimento da argamassa expansiva em contato com o ar na área do orifício rapidamente após a aplicação.

Huynh & Laefer [2] citam a composição da argamassa expansiva exposta na Tabela 1.

*Email: romuloaugusto@ufcg.edu.br. (R. A. V. Silva)

**Email: helio@dema.ufcg.edu.br. (H. L. Lira)

Tabela 1: Composição química das argamassas expansivas

Substância	Fração (%)
SiO ₂	1,5-8
Al ₂ O ₃	0,3-0,5
Fe ₂ O ₃	0,2-3
CaO	81-96
MgO	0,0-1,6
SO ₃	0,6-4

Na literatura, encontram-se as aplicações de ensaios de uso comum na caracterização destes materiais primas, como microscopia eletrônica, raios x, ATD, ATG entre outros. Já os testes para a validação do produto no desmonte encontrados são de aplicação direta em meios confinantes para, após determinado tempo, verificar a ação durante o processo de expansão. Estes ensaios foram executados, na sua maioria, de maneira apenas visual, e, mesmo quando houve avaliações quantitativas, estas foram executadas de maneira não reprodutível, como em Hanif & Al-Maghrabi [3].

Shiro Ishi [4] indica que uma argamassa expansiva comercial é composta de cal, argila e gesso misturados em proporções determinadas. Essa mistura é calcinada em forno rotatório a 1500°C. A massa resultante é então triturada até atingir 2000 a 3000 cm²/g de área específica dos grãos.

Segundo Kawano et al. [5] essas argamassas são preparadas pela pulverização de um clínquer obtido principalmente pela mistura de óxidos de cálcio, óxidos de silício (SiO₂) e sulfato de cálcio (CaSO₄). De acordo com Moyer et al. [6] também é formado o clínquer de uma mistura, onde ele destaca o uso de óxido de cálcio (80 – 95%), cimento portland, hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) e carbonato de cálcio (CaCO₃).

Neste trabalho, propõe-se uma metodologia e um equipamento onde se coletam os dados relevantes do comportamento da argamassa expansiva, sendo estes dados coletados em uma plataforma na qual o corpo de prova contendo o material esteja submetido a um estado estático, em condições similares à sua aplicação em campo, mas, reprodutível. Os parâmetros obtidos através de uma metodologia padronizada são necessários para o controle de qualidade da argamassa desenvolvida, principalmente tendo em vista dados comparativos obtidos em ensaios similares com argamassas comerciais.

2. Materiais e Métodos

Nesse trabalho foram utilizadas argamassas expansivas importadas, de origem italiana e chinesa, cedida gentilmente pela FUJI S/A – Mármore e Granitos. As argamassas foram designadas como Italiana e Chinesa.

3. Resultados e Discussão

3.1. Equipamento de Ensaio

Para o desenvolvimento desta máquina, seguiram-se duas linhas de pesquisa. A primeira envolvendo a parte mecânica mostrada na Figura 1, englobando a estrutura que impõe a um corpo de prova um estado estático incluindo corpo de prova e suportes auxiliares, e a segunda compreendendo o sistema que avalia a carga que é exercida para a manutenção deste estado físico estático e a avaliação das variações de temperatura do corpo de prova, incluindo nesta parte célula de carga, termopares e estrutura eletrônica com conversor A/D, micro controlador e demais componentes.

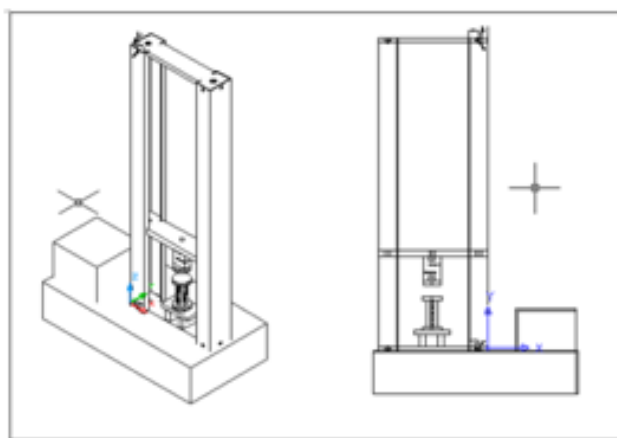


Figura 1: Estrutura mecânica do equipamento em CAD

A estrutura modulada do equipamento é também inovadora no sentido de permitir uma "personalização" dos ensaios, com a inclusão de novos equipamentos, sendo estes passíveis de uma operação pré-programada. Por exemplo, no caso do interesse de uma avaliação do efeito de uma descarga elétrica ou de uma elevação controlada de temperatura. Isto pode ser feito de maneira automatizada e controlada pela central do equipamento.

Nesta pesquisa, se adotaram a aplicação de uma célula de carga modelo SB-2000 da marca HB para duas toneladas, três termopares tipo K modelo MTK-01 da marca Minipa e um termistor NTC genérico de 2K2 como sensores individuais. As estruturas de processamento de sinal de cada sensor são adequadas a resposta elétrica diferenciada de cada um deles.

3.2. Corpo-de-Prova

O corpo de prova foi projetado com o objetivo de suportar as altas cargas a que será submetido durante o ensaio e facilitar a limpeza e o desmonte, facilitando assim o manuseio e evitando resíduos para novas análises.

Outro ponto adicional levado em consideração foi a necessidade de sensores que estivessem em contato com a argamassa expansiva durante o período de ensaio, principalmente sensores de temperatura. Para isto, o corpo de prova foi dotado de seis orifícios laterais, três de cada lado espaçados em 2,5 cm com um diâmetro de 0,22cm, possibilitando a inserção de termopares comuns ou de outros sensores de diâmetros semelhantes. Tanto a disposição quanto as dimensões dos furos foram planejados para que proporcionassem uma avaliação ao longo da altura do corpo de prova, sendo o diâmetro o menor possível para evitar que os sensores sejam submetidos a cargas excessivas.

O corpo de prova completo é composto de três peças, como mostrado na Figura 2, uma parte central na forma de cilindro com um orifício central de um centímetro de diâmetro e paredes com quatro centímetros de espessura em aço, e duas partes iguais, circulares, responsáveis pelo fechamento deste cilindro nas duas extremidades.

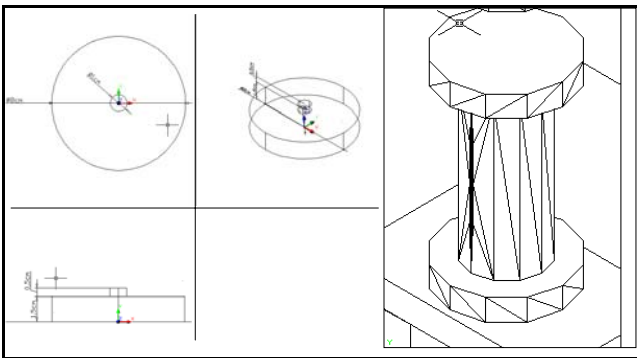


Figura 2. Projeto da parte inferior e superior do corpo-de-prova em CAD a direita, corpo-de-prova montado

As peças do corpo de prova foram executadas na oficina mecânica da FUGI – Mármore e Granitos S/A. Foram executados testes dimensionais, para aferição das medidas do corpo de prova, principalmente dos orifícios laterais destinados a sensores de temperatura.

3.3. Sistema de Aquisição de Dados

O sistema de aquisição dos dados desenvolvido em blocos individuais. Os principais foram a alimentação, a parte de visualização das mensagens do equipamento, por meio de display LCD, o microcontrolador, o teclado, os filtros e o amplificador.

A conexão do sistema de aquisição com os respectivos circuitos de condicionamento dos sensores ocorre a partir do conector J1. Logo após esse conector, temos os filtros analógicos responsáveis pelo corte de frequência de Nyquist deste circuito. Após esta filtragem, o sinal entra no sistema de conversão A/D do microcontrolador nas portas RA0 até a RA3. No microcontrolador, o sinal é processado, mostrado no display do equipamento e enviado pela porta RD4 para o circuito integrado MAX232, responsável pela adequação das voltagens TTL do microcontrolador a CMOS da porta serial.

Este sistema de aquisição de dados tem uma resolução de 0,006 volts com uma faixa de calibração de 0 a 6 volts, correspondendo assim a uma variação de 0 a 999 no valor resultante da conversão. A taxa de amostragem é de 200Hz. Estes dados devem nortear os circuitos condicionadores responsáveis pelas operações de processamento dos sinais provenientes dos sensores de maneira que, a alteração unitária da medida física avaliada corresponda a um incremento ou decremento do valor obtido. Por exemplo, o acréscimo de um quilo na célula de carga ou de um grau no termopar deve corresponder a uma alteração de 0,006 volts no sinal condicionado.

O microcontrolador selecionado para o projeto inicial do equipamento foi o PIC16F877A. Esta escolha foi norteadada pela disponibilidade de recursos deste componente, dentre eles pode-se destacar o conversor A/D do tipo SAR de 10 bits de resolução e as várias possibilidades de comunicação que ele apresenta (SPI, I²C, USART e 5 portas paralelas).

3.4. Operação do Equipamento

A principal característica do funcionamento do equipamento é a sua fácil operação, assim, simplificou-se ao máximo a interface homem-máquina, reduzindo a um mínimo a quantidade de etapas para o início de um ensaio.

A Figura 3 mostra o fluxograma de uso do equipamento, onde as principais informações disponíveis na tela são o tempo de ensaio e a última carga lida.



Figura 3. Diagrama de uso do equipamento

Os limites para utilização em um ensaio contínuo são de 999 horas ou 99.999 leituras, dando assim uma margem suficiente para largos tempos de análise da carga gerada pela argamassa.

3.5. Metodologia de Ensaio

O primeiro passo do ensaio é a preparação da massa a ser avaliada, que é executada de acordo com as instruções do fabricante.

Depois da preparação da pasta, deve-se seguir com a transferência para o molde metálico, posteriormente fechamos o molde, se limpa a argamassa que eventualmente esteja em excesso e coloca-se o molde metálico, previamente limpo e lubrificado, na máquina de ensaio propriamente programada

para leituras periódicas em um tempo total de ensaio de 24 horas.

Na transferência para o molde, o processo deve ser conduzido de forma a atingir a maior uniformidade possível da argamassa no seu interior, evitando a formação de bolhas de ar, vazios ou outras substâncias.

Em termos ambientais, o ensaio deve ser executado em uma temperatura de $(25 \pm 4)^\circ\text{C}$ com uma umidade relativa do ar em $(60 \pm 5)\%$. Estas condições procuram refletir as condições climáticas normais para a maior parte do Brasil.

A umidade é um fator crítico, devido a alta reatividade do óxido de cálcio com a água, deve-se manter a argamassa expansiva fechada até o momento do ensaio. Depois da pesagem, deve-se imediatamente selar o recipiente ou embalagem da qual ela foi amostrada para evitar reações de hidratação que poderiam interferir em ensaios posteriores.

A temperatura tem um papel importante na cinética da reação de hidratação. Considerando que a maioria dos fornecedores tem uma composição específica para cada faixa de temperatura, indica-se que a faixa escolhida contenha o valor da temperatura padrão do ensaio.

3.6. Análise do Desempenho

Para o ensaio de argamassas comerciais, utilizou-se uma argamassa expansiva de origem chinesa e uma de origem italiana, ambas cedidas pela FUJI – Mármore e Granitos S/A, de marca não informada.

Os ensaios foram executados em um período de 24 horas, no Laboratório de Caracterização de Materiais do Departamento de Engenharia de Materiais da UFCG, sendo os dados capturados em uma estação de trabalho local e analisados posteriormente. O resultado obtido está mostrado na Figura 4.

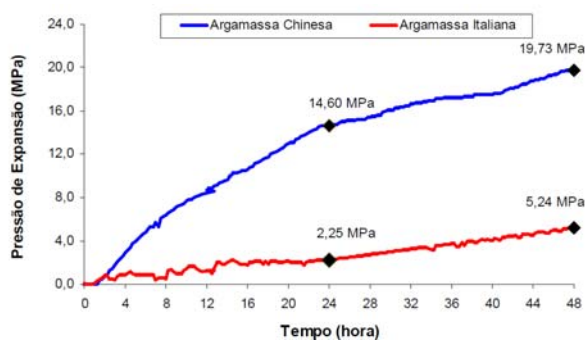


Figura 4. Resultado do ensaio de pressão para a argamassas comerciais

As argamassas comerciais é de uma expansão relativamente lenta, com uma tendência de diminuição da taxa de crescimento. A pressão expansiva máxima atingida foi de 19,73MPa para a argamassa chinesa e 5,24MPa para a italiana.

A argamassa chinesa mostra um desempenho da propriedade tecnológica analisada da pressão de expansão de aproximadamente 6,5 vezes superior à italiana num período

de 24 horas e diminuindo esta diferença para 3,8 vezes em 48 horas. Embora ambas sejam amplamente utilizadas no desmonte de rochas ornamentais quando aplicado in loco (no campo), atendendo a demanda técnica do mercado consumidor (mineradores), o que indica que a pressão de expansão destas argamassas é superior a resistência das rochas ornamentais sob condições práticas na lavra de rochas ornamentais.

Nas curvas de pressão de expansão pelo tempo verifica-se que a argamassa chinesa e italiana efetivamente inicia a expansão após aproximadamente 1 hora e 2 horas do início do ensaio, respectivamente, o que sugere uma reação mais lenta da argamassa italiana. Com estes resultados, observa-se que a pressão de expansão da argamassa chinesa e italiana atingiu apenas 21% e 3% das citadas pelos fabricantes (69 MPa). Entretanto, o valor da pressão de expansão das argamassas comerciais determinadas por essa metodologia e utilizando o equipamento desenvolvido ao longo deste trabalho, servirá como parâmetro de controle e comparação para as pressões de expansão obtidas nas argamassas formuladas experimentalmente e ensaiadas com a mesma metodologia e no mesmo equipamento realizado para estas argamassas comerciais.

A Figura 5 apresenta os valores médios de dois ensaios de pressão de expansão nas seis argamassas formuladas preliminarmente utilizando os três tipos de retardadores (açúcar, gesso e retardador industrial a base de CMC) e variando as concentrações de CaO, CaCO₃ e cimento. O ensaio foi executado em um período de 24 horas, pois na aplicação prática destas argamassas em lavra de rochas ornamentais este é o período máximo aceitável para que ocorra o desmonte da rocha.

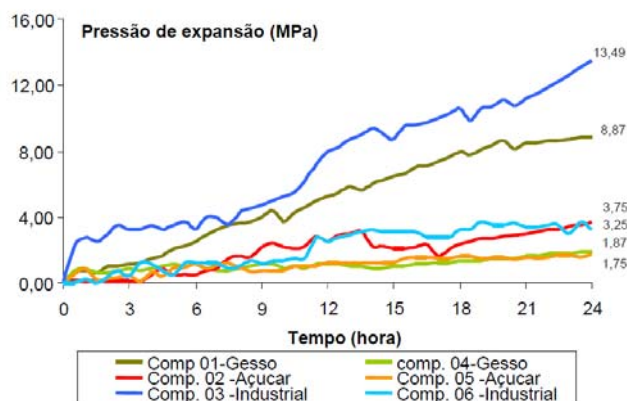


Figura 5. Resultados dos ensaios de pressão para as argamassas laboratoriais

A partir destas formulações preliminares foi possível ter uma visão geral da relação da pressão de expansão com diferentes retardadores da reação de hidratação do CaO, sendo este o princípio físico-químico que promove a expansão das misturas que são utilizadas como argamassa expansiva aplicada no desmonte de rochas ornamentais. O retardador industrial a base de CMC apresentou o melhor desempenho

quando comparado ao uso de açúcar e gesso, para esta mesma finalidade. Além disso, por se tratar de um produto industrializado as composições e controle de qualidade possibilitam uma confiabilidade e reprodutibilidade das suas propriedades físicas e químicas, permitindo dessa forma, maior precisão nas diversas misturas das argamassas experimentais ensaiadas neste trabalho.

4. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento e validação de um ensaio de ensaio para avaliação de pressão de expansão de argamassa expansiva através de um equipamento desenvolvido utilizando para isso ferramentas de desenvolvimento baseadas em metodologias CAD, microcontroladores, e tecnologia de software livre. Com o uso destas ferramentas e a adoção da metodologia proposta, foi possível o desenvolvimento de um equipamento para análise de argamassas expansivas. A avaliação do desempenho do equipamento permitiu concluir que ele possui capacidade de acompanhar o comportamento de expansão das argamassas e mensurar e distinguir seus comportamentos.

Referências

- [1] CAIMEX. Produtos Kayati SL-CRAS. www.caimex.com.br. Acesso em outubro de 2010.
- [2] HUYNH, M.; LAEFER, D. F. Expansive cements and soundless chemical demolition agents : state of technology review. In: 11th Conference on Science and Technology, 2009, Ho Chi Minh. Anais... Ho Chi Minh: Vietnam Academy Of Science And Technology, Vietnam, 2009. Disponível em <<http://irserver.ucd.ie/dspace/bitstream/10197/2285/1/79.pdf>>. Acesso em 02 de novembro de 2010.
- [3] HANIF, M., AL-MAGHRABI, M. N. H. Effective Use of Expansive Cement for the Deformation.... G.U. Journal of Science, Jeddah – Arabia Saudita, p. 1-5, 22 de novembro de 2006. Disponível em <[http://www.fbe.gazi.edu.tr/dergi/tr/dergi/tam/20\(1\)/1.pdf](http://www.fbe.gazi.edu.tr/dergi/tr/dergi/tam/20(1)/1.pdf)>. Acesso em 7 de maio de 2007.
- [4] SHIRO ISHI. Study of a Demolition Method Using Non Explosive Demolition Agent, R & D Laboratório de Novos Produtos, Onada Cement Co., Japão, 2006.
- [5] KAWANO, et al. Patente nº 4,316,583. Disponível em <<http://www.patft.uspto.gov>>. Acesso em fevereiro de 2005.
- [6] MOYER, Jr, et al. Patente nº 4,205,994. Disponível em <<http://www.patft.uspto.gov>>. Acesso em fevereiro de 2005.