

## **Síntese de Argamassa Expansiva Desenvolvida em Laboratório para Desmontagem de Rochas Ornamentais**

### **(Synthesis of Expansive Mortar Developed in Laboratory for Disassembly of Ornamental rocks)**

D. V. Lucena<sup>1</sup>; C. M. R. A. Souto<sup>2</sup>, M.E. S. Barbosa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da  
Paraíba-IFPB-Campus Campina Grande

R. Tranqüilino Coelho Lemos, 671 - Dinamérica, Campina Grande - PB, 58432-300

<sup>2</sup>Universidade Federal de Campinas Grande-UFCG

R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58429-900

#### **Resumo**

*A argamassa expansiva é constituída por uma mistura de fase aquosa com um agente expensor, e quando hidratada, apresenta aumento de volume e gera de fissuras na rocha devido à pressão gerada. O objetivo deste trabalho é sintetizar argamassas expansivas que apresentem pressão expansiva suficiente para a desmontagem de granito e mármore. Foram utilizados como matérias-primas: carbonato de cálcio, cimento Portland e aditivos para controle da expansão. As formulações foram sintetizadas com base na análise química de uma argamassa comercial e caracterizada por DRX, medidas de tamanho de partícula a laser e avaliação da pressão expansiva. Todas as formulações desenvolvidas apresentaram características semelhantes às da argamassa comercial.*

*Palavras chave:* argamassa expansiva, formulação, caracterização.

#### **Abstract**

The expansive mortar consists of a mixture of aqueous phase with an expanding agent, and when hydrated, it presents a volume increase and cracks generation in the rock due to the generated pressure. The objective of this work is to synthesize expansive mortar that presents sufficient expansive pressure for the disassembly of granite and marble. Calcium carbonate, Portland cement and additives to control expansion were used as raw materials. The formulations were synthesized based on the chemical analysis of a commercial mortar and characterized by XRD, laser particle size measurements and expansion pressure evaluation. All the developed formulations presented similar characteristics to those of commercial mortar.

Keywords: expansive mortar, formulation, characterization.

#### **INTRODUÇÃO**

Na cadeia produtiva das rochas ornamentais são consideradas como suas etapas essenciais, a lavra e o beneficiamento, representando este último um importante estágio do ponto de vista econômico, não apenas por agregar valor aos produtos pétreos, mas também por proporcionar a verticalização das empresas produtoras e estímulo à expansão do parque fabril

de apoio, notadamente em investimentos na diversificação e aperfeiçoamento tecnológico de seus produtos e qualificação da mão de obra. O beneficiamento compreende basicamente a serragem de blocos de rocha bruta e, eventualmente, placas rústicas, para a produção de chapas, o acabamento de suas superfícies e a formatação de peças, padronizadas ou não [1].

A produção mineral no Brasil é favorecida pelo potencial geológico elevado, especialmente em relação à abundância e diversidade nas rochas. O Brasil já é um importante produtor de mármore e granito, com a produção do primeiro semestre de 2006, atingindo mais de 1 bilhão de toneladas de vários produtos de rochas ornamentais. O granito é a rocha ornamental de maior expressão no mercado sendo responsável por 60% da produção nacional [2].

Por razões econômicas, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas em diversos segmentos dessa atividade, com o objetivo de ajustar os materiais encontrados em cada região, à procura de mineração viável e seu uso correto, proporcionando assim a busca por novos produtos e condições técnico que vêm de encontro com as necessidades regionais de várias indústrias [3].

Segundo Vale (1997) [4], o Nordeste é uma das regiões de maior expressividade na pesquisa e exploração de atividade industrial, além disso, apresenta elevado crescimento o que influencia diretamente no balanço comercial do país. Além disso, ao analisar a indústria de rochas ornamentais e de revestimento no contexto da realidade econômica e social desta região, uma série de fatores que justificam a viabilidade desta atividade, descrevendo-o como estratégico para a consolidação de um desenvolvimento auto-sustentável, social e econômico nordeste do Brasil

O uso de argamassas expansivas oferecem várias vantagens na mineração, pois exige a perfuração mínima linear na rocha, e não causa impacto ambiental e é um processo de simples aplicação não requer mão-de-obra especializada. Outra vantagem importante é a eficácia do método, que resulta em cortes lineares que contribuíram para um melhor aproveitamento dos blocos e acabamento de rochas ornamentais. Os explosivos estão frequentemente não obteve uma definição e as irregularidades são comuns nos blocos. A desvantagem da argamassa expansiva, é seu alto custo, porque é um produto importado [6].

A argamassa expansiva se trata de um agente demolidor não explosivo, em pó, cujo componente majoritário é a cal virgem. Em contacto 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), cuja magnitude e direção vai depender do balanço de esforços atuantes no referido meio [7].

Os furos devem estar limpos, isento de água e impurezas, e seu preenchimento deve ser integral e mantidos abertos, salvo em dias de chuva, exigindo no caso sua proteção com capas impermeáveis. No caso de rochas muito porosas ou com temperatura elevada é recomendável o umedecimento dos furos 42 para que a reação de expansão ocorra normalmente [8]. O espaçamento entre os furos é determinado principalmente pelo seu diâmetro e as características do material a ser cortado [9].

As principais empresas que produzem as argamassas expansivas estão localizadas na Itália, Espanha e China. Portanto, nestes países a sua utilização é mais pronunciado. O Brasil importa principalmente daqueles países, cerca de 160 toneladas por mês de argamassa expansiva, produzindo um déficit mensal de aproximadamente \$ 180.000. Além disso, os estados do nordeste brasileiro de matéria-prima adequada para a preparação de argamassa expansiva, pois existem várias minas e processamento de calcário, argila, fábricas de gesso, cimento, usinas de açúcar, etc [10]. Portanto, o objetivo do presente trabalho consiste no desenvolvimento tecnológico de argamassa expansiva para desmonte de rochas ornamentais,

utilizando matérias-primas nacionais, especialmente minerais não metálicos no nordeste do Brasil [11].

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais

Foram utilizados como material de pesquisa, argamassa expansiva de origem italiana, calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) proveniente da empresa Armil – Mineração do Nordeste Ltda, cimento Portland – CPII, proveniente da CIMPOR do Brasil e retardador industrial líquido carboximetilcelulose (CMC) proveniente da LabSynth Ltda. Tomando como base na fundamentação teórica e prática, desenvolveram-se seis formulações básicas modificando apenas os percentuais de cada componente desenvolvimento das amostras de argamassa apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Formulações das argamassas desenvolvidas

COMPOSIÇÃO	CaO(%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	CIMENTO(%)	CMC(%)*
AE1	80	10	10	4
AE2	75	15	10	4
AE3	70	20	10	4
AE4	65	25	10	4
AE5	50	25	25	4

\* % em peso do total.

### Métodos

Para o desenvolvimento desta etapa de pesquisa foram utilizadas as seguintes etapas de acordo com o fluxograma apresentado nas Figuras 1 e 2.

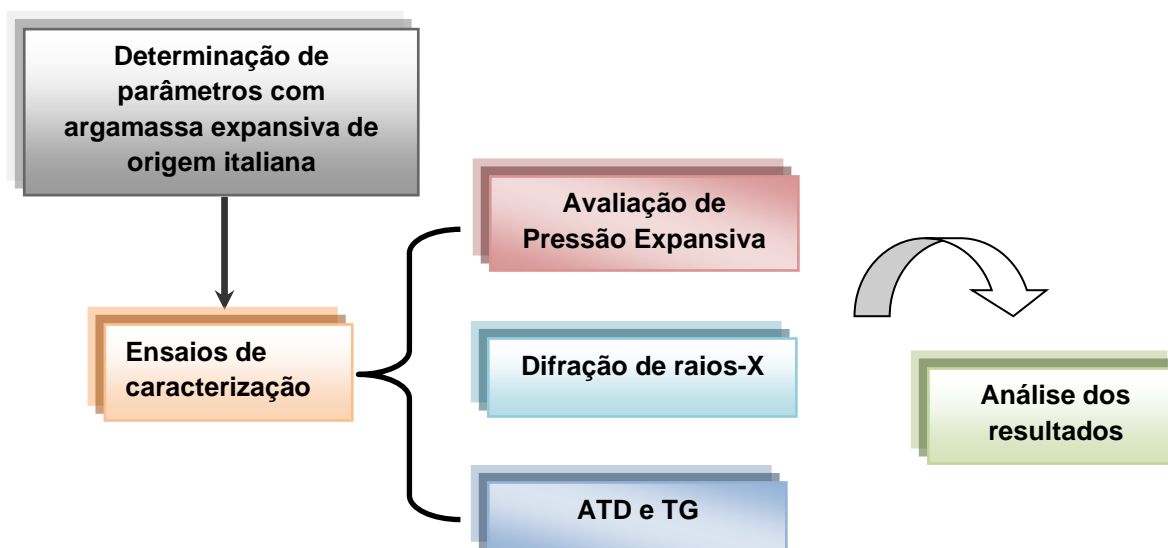


Figura 1: Fluxograma com as etapas realizadas na determinação de parâmetros para preparo das composições de argamassa expansiva.

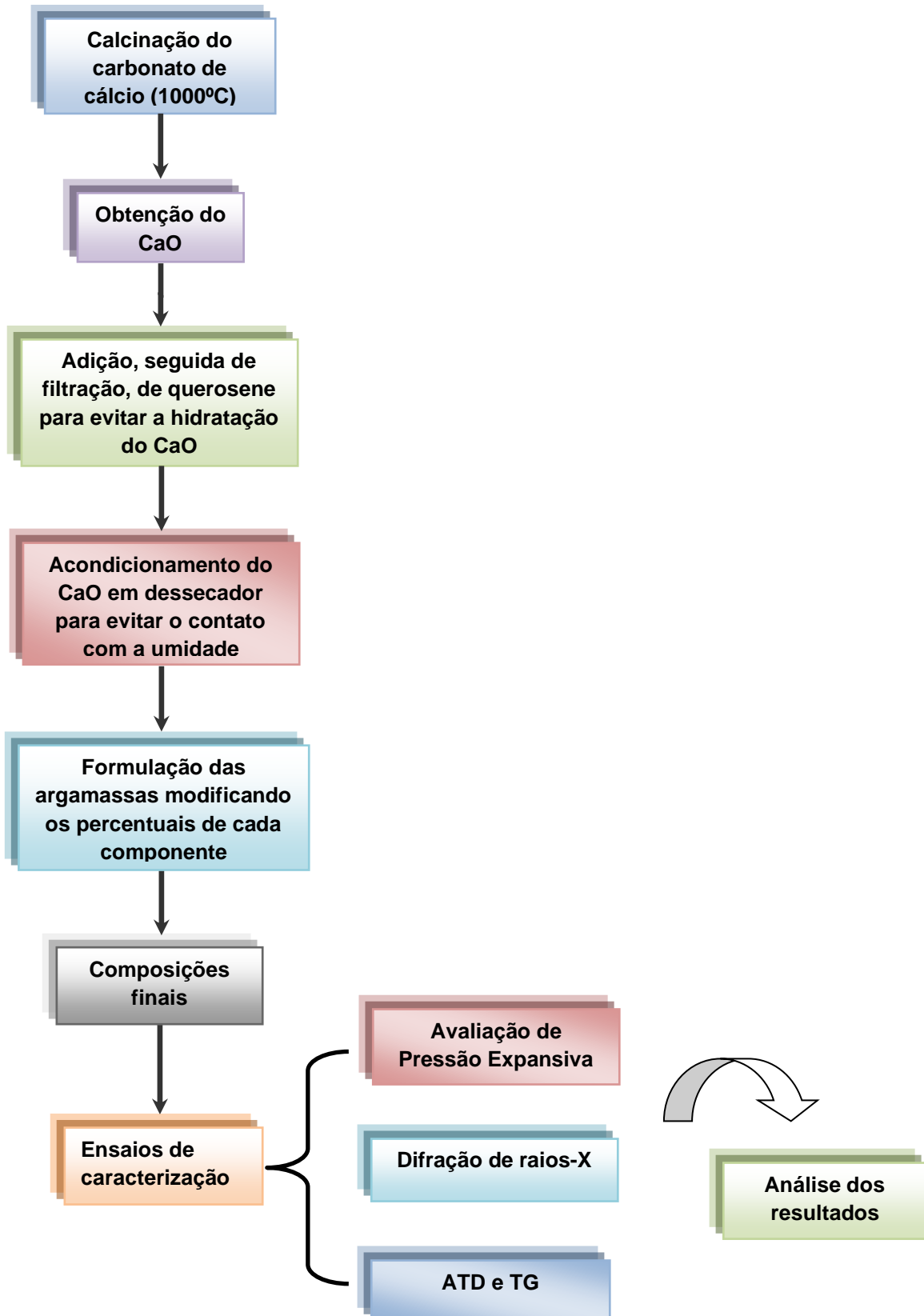


Figura 2: Fluxograma com as etapas realizadas no preparo das argamassas expansivas.

### Obtenção de CaO

Para o desenvolvimento da argamassa expansiva foi feito um estudo com a amostra de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), na forma de pó. Em seguida, essa amostra de  $\text{CaCO}_3$  foi calcinada à temperatura de  $1100^\circ\text{C}$ , com a finalidade de se obter óxido de cálcio (CaO) que foi determinada pela seguinte reação:  $\text{CaCO}_3 + \text{calor} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$  (reação endotérmica).

O CaO obtido a partir da queima de  $\text{CaCO}_3$  foi pulverizado e acondicionado em dessecador para evitar o contato direto com a umidade, pois o mesmo tende a hidratar podendo prejudicar o desenvolvimento da argamassa.

### Análise Química

A análise química permitirá quantificar o teor de um determinado componente em alguma amostra, como na argamassa expansiva, como óxidos e outros compostos inorgânicos. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Análises Mineraias na UFCG.

### Granulometria a Laser

As medidas das análises granulométricas foram determinadas em um equipamento granulômetro a laser da marca CILAS modelo 1064. Este equipamento está localizado no laboratório de Engenharia de Materiais – UFCG. As medidas da distribuição granulométrica do material foram realizadas na faixa de tamanho entre 0,5 e 500  $\mu\text{m}$ . Essas medidas foram realizadas em dispersões líquidas contendo material particulado em suspensão, sendo a contagem efetuada via microcomputador acoplado com interface serial. O tempo de medida total foi inferior a três minutos. Essa análise dimensional mostra-se, portanto, de extrema importância, não só na caracterização, como na análise de alguns fatores a serem abordados, como a consistência, a qual depende significativamente da granulometria.

### Análise térmica diferencial

A ATD determina a diferença da temperatura de uma amostra em relação a uma referência inerte, nesse caso, hidróxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ); a medida foi feita em função da temperatura; quando ocorrem transformações endotérmicas e exotérmicas, sendo que estas aparecem como deflexões em sentidos opostos na curva termodiferencial. A ATD serviu de auxílio na interpretação da reação de hidratação exotérmica de CaO para  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Portanto, com a ATD, temos dados para explicações da cinética química e termodinâmica das reações que ocorrem na argamassa expansiva. As análises das amostras foram realizadas no Sistema de Análise Térmica modelo RB-3000-20 do Laboratório de Engenharia de Materiais – UFCG.

### Difratometria de raios X (DRX)

A DRX é amplamente utilizada na caracterização das estruturas de reticulados; logo, será útil na identificação dos componentes majoritários de algumas argamassas a desenvolvidas nesse trabalho, inclusive a italiana. As medidas de difração de raios X foram realizadas em equipamento DRX 6000 da Shimadzu no Laboratório de Cerâmica da UAEMA/UFCG. A radiação utilizada foi  $K\alpha$  do Cu ( $40\text{kV}/30\text{mA}$ ) com  $2\theta$  variando de  $10^\circ$  a  $30^\circ$ .

### Teste de Avaliação de Pressão de Expansão

Os testes que avaliaram a expansão das argamassas pelo aumento do gradiente de pressão (Teste de Avaliação de Pressão de Expansão) foram realizados no Laboratório de

Caracterização de Materiais - LMC- UFCG, no qual foi desenvolvido equipamento para avaliação de testes de pressão expansiva.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram realizados ensaios preliminares na argamassa expansiva comercial a fim de obtermos parâmetros para em seguida desenvolvermos uma argamassa de qualidade elevada e ótima eficiência.

O resultado das caracterizações na argamassa expansiva comercial como também as das formulações apresentadas na tabela-2 estão descritas logo abaixo.

Inicialmente foram realizados ensaios preliminares na argamassa expansiva comercial a fim de obtermos parâmetros para em seguida desenvolvermos uma argamassa de qualidade elevada e ótima eficiência.

Segue-se, na Tabela-1 a análise química convencional feita na argamassa expansiva comercial.

Tabela 1: Análise química da argamassa expansiva comercial.

Composição	Porcentagem por peso
Pr (perda ao rubro)	25,90%
SiO <sub>2</sub> (óxido de silício)	3,76%
Ri (resíduo insolúvel)	0,44%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (óxido de ferro)	0,40%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (óxido de alumínio)	Traços
CaO (óxido de cálcio)	63,00%
MgO (óxido de magnésio)	3,63%
Na <sub>2</sub> O (óxido de sódio)	0,90%
K <sub>2</sub> O (óxido de potássio)	1,69%

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 1, pode-se comprovar o alto teor de óxido de cálcio, CaO, presente na argamassa expansiva; subtraindo-se a perda ao rubro (25,9%) do CaO (63%) obtemos a porcentagem de 85%, teor que indica quanto há na amostra de CaO, CaCO<sub>3</sub> e Ca(OH)<sub>2</sub>. Óxidos de silício e de magnésio também fazem parte de sua composição e alguns traços de outros óxidos (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O), portanto, pode-se afirmar que o desenvolvimento de uma argamassa expansiva se deve de matérias-primas de elevado teor de CaO.

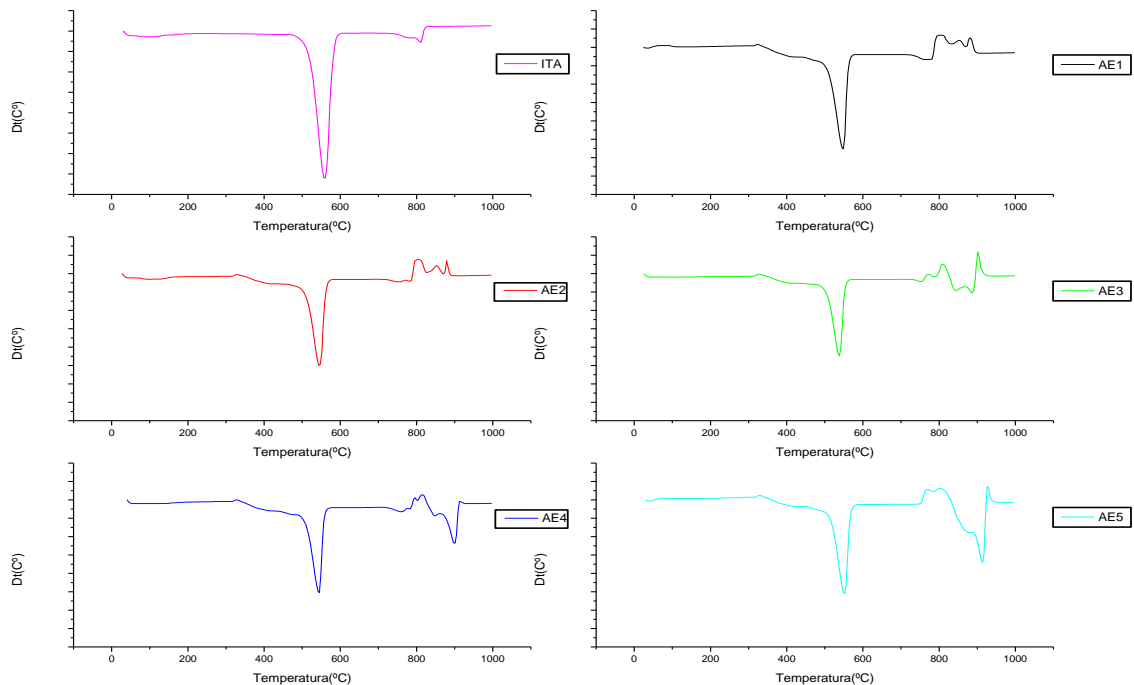
Na Tabela 2 estão apresentados os resultados da análise granulométrica e das composições formuladas, assim como da argamassa italiana para indicar valores reais para a variável de saída diâmetro de partícula. A classificação das composições foi feita em #200 ABNT. Observa-se que as composições obtiveram partículas com diâmetro médio bem inferior ao da argamassa italiana que nos serviu de parâmetro. Esta granulometria mais fina, das argamassas preparadas, pode influenciar no tempo de reação para o aumento da pressão de expansão.

Tabela 2: Resultados da análise granulométrica e das composições formuladas.

DESIGNAÇÃO	IDENTIFICAÇÃO	DIÂMETRO MÉDIO( $\mu\text{m}$ )
AE_1	Retardante industrial e CaO inserido em querosene	13,37
AE_2	Retardante industrial e CaO inserido em querosene	13,33
AE_3	Retardante industrial e CaO inserido em querosene	13,30
AE_4	Retardante industrial e CaO inserido em querosene	13,19
AE_5	Retardante industrial e CaO inserido em querosene	13,11
S_1	Retardante industrial	13,31
ITA	Italiana	23,56

Observa-se na Figura 1 a análise térmica diferencial (ATD) das argamassas expansivas preparadas em laboratório, e da argamassa comercial tomada como padrão.

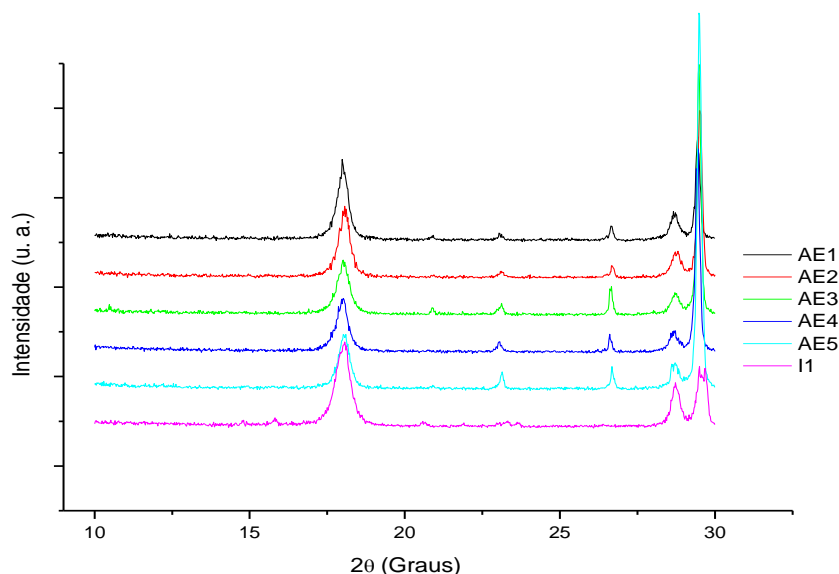
Figura 1: Análise de difração de ATD das formulações de argamassas desenvolvidas a partir do planejamento experimental e da argamassa padrão.



Observa-se perda de massa referente às hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ), entre  $500\text{--}700^\circ\text{C}$  e de  $\text{CO}_2$  desprendido durante o aquecimento, entre  $700\text{--}1000^\circ\text{C}$  para todas as argamassas, inclusive a italiana. Comparando-se as curvas da argamassa comercial italiana, com as curvas das composições preparadas, pode-se verificar uma menor quantidade de  $\text{CaCO}_3$  e maior quantidade de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  nas argamassas comerciais.

Os difratogramas podem ser observados na Figura 2. Constata-se a partir da análise dos difratogramas que há a presença de picos a  $2\theta$  característicos do óxido de cálcio a cerca de  $30^\circ$ , sendo esta, a fase principal, além de picos a  $18^\circ$  que são típicos do hidróxido de cálcio e a  $23^\circ$  característico da sílica, constata-se assim, que há uma correlação entre a argamassa utilizada como padrão e as argamassas desenvolvidas.

Figura 2: Análise de difração de Raios- X das formulações de argamassas desenvolvidas a partir do planejamento experimental e da argamassa padrão.



## CONCLUSÕES

Como objetivo de desenvolver em laboratório formulações de argamassas semelhantes às utilizadas comercialmente, conclui-se que:

-argamassa expansiva é formada basicamente de óxido de cálcio (CaO), este é o responsável pela expansão via hidratação. Outros componentes também estão presentes na argamassa: SiO<sub>2</sub>, MgO e pequenos teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O.

-a análise granulométrica de todas as formulações apresentadas tiveram valores relativamente próximos de granulometria a da argamassa comercial italiana, isso ocorreu devido a termos evitado a moagem das composições (exceto no teste de DRX) assim evitando desaglomeração excessiva e perda de parte do CMC, portanto, obtivemos características das partículas com relação ao da argamassa comercial bem próximas.

-as formulações se aproximaram das características segundo os testes analisados (ATD), apresentando os picos característicos tanto do Ca(OH)<sub>2</sub> quanto do CO<sub>2</sub> (característico do CaCO<sub>3</sub>);

-pela análise de DRX as composições preparadas em laboratório se assemelharam das características da argamassa italiana;

-as análises granulométricas de todas as formulações apresentadas tiveram valores relativamente próximos de ao da argamassa comercial italiana, isso ocorreu devido a termos evitado a moagem das composições assim evitando desaglomeração excessiva e perda de parte do CMC, e assim, obtivemos características das partículas muito próximas ao da argamassa comercial.



## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Apoio Institucional à Pesquisa – Programa Interconecta do IFPB pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

- [1] MENEZES R. G., **Tecnologias de lavra em maciços rochosos**. Especialização em tecnologia e valorização em rochas ornamentais, Universidade Federal do Rio De Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2005
- [2] DNPM. **Departamento Nacional de Pesquisas Minerais**. <<http://www.dnpm.gov.br>> Acessado em Novembro, 2016.
- [3] VALE, Eduardo. Aspectos Legais e Institucionais do Setor de Rochas Ornamentais. Vol 1. Fortaleza, 1997. Instituto Euvaldo Lodi.
- [4] GOVERNO DA PARAÍBA. **Paraíba: segundo produtor de rochas ornamentais do Nordeste**. <[www.paraiba.pb.gov.br](http://www.paraiba.pb.gov.br)> Acessado em Novembro, 2016.
- [5] MINEGISHI, *et al.* **Patente nº 4,409,030**. [www.patft.uspto.gov](http://www.patft.uspto.gov). 1983 . Acessado em Novembro, 2016.
- [6] ROGERTEC. **Cimento expansivo**. [www.rogertec.com.br](http://www.rogertec.com.br). Acessado em Novembro, 2016.
- [7] DA LUZ, J. A. M; BALAREZO, F. J. M.; PEREIRA, C. A., **Emprego de argamassa expansiva e termoconsolidação de peças em cantaria**, Revista Escola de Minas, vol. 56, nº3, 2003.
- [8] PINHEIRO, J.R. (1999). **O emprego da argamassa expansiva na extração de rochas ornamentais**. Rochas de Qualidade, nº 145, p. 96-108.
- [9] ALANIS, A (2002). Utilização da argamassa expansiva para o corte de rochas ornamentais. SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3, 2002. Anais...Recife, CETEM/UFPE, 2002, 1 cd-rom.
- [10] ROGERTEC. **Cimento expansivo**. [www.rogertec.com.br](http://www.rogertec.com.br). Accessed in November, 2007.
- [11] SEBRAE MINAS. Setores Estratégicos: Rochas Ornamentais 2005/2007, Accessed in November, 2007.