

Estudo da Expansão por Umidade Através de Indução pelo Método de Autoclavagem em Blocos Cerâmicos Obtidos a partir de Massas Incorporadas com Resíduos de Caulim e Granito

**Mendonça, A. M. G. D.^{a*}, Santana, L. N. L.^a, Neves, G. A.^a,
Chaves, A. C.^a, Oliveira, D. N. S.^a**

^a*Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG,
Av. Aprígio Veloso, 882, CEP 58109-970, Campina Grande - PB, Brasil*

**e-mail: ana.duartemendonca@gmail.com*

Resumo: Expansão por Umidade é o fenômeno sofrido por materiais cerâmicos quando em contato com a água na forma líquida ou de vapor. Essa expansão deve-se à adsorção de água superficial em fases vítreas e amorfas ocasionando o aumento das dimensões e o gretamento das peças, comprometendo a estrutura e podendo chegar ao colapso. A EPU começou a ser estudada no início da década de 20 e desde então muitos estudos foram realizados analisando suas causas, porém estes estudos não contemplam a utilização de resíduos de granito e caulim como matéria-prima alternativa para produção de blocos. Esses resíduos apresentam características similares às matérias-primas naturais utilizadas para produção de blocos, portanto, a utilização destes materiais para a obtenção de produtos cerâmicos apresenta, entre outras, a vantagem de diminuir a quantidade de rejeito a ser descartada na natureza, além de agregar valor a um resíduo indesejável, e possibilita também gerar novos empregos. Assim, este trabalho tem por objetivo verificar a influência da composição cerâmica a partir de massas contendo resíduos do beneficiamento de caulim e da serragem do granito na expansão por umidade de peças da cerâmica tradicional. As matérias-primas foram beneficiadas e submetidas a caracterizações física e mineralógica através de ensaios de análises: granulométrica, termodiferencial, gravimétrica, química e mineralógica. Os resultados mostraram que os resíduos de caulim e de granito apresentam características similares às matérias-primas cerâmicas convencionais não plásticas (feldspato e quartzo), e que produtos cerâmicos submetidos a temperaturas de queima mais elevadas apresentam melhores resultados de EPU.

Palavras-chave: *expansão por umidade, resíduos, blocos cerâmicos.*

1. Introdução

Expansão por umidade é o termo utilizado para designar a expansão sofrida por materiais cerâmicos quando em contato com a água na sua forma líquida ou de vapor¹.

Essa expansão deve-se à adsorção de água superficial em fases vítreas e amorfas, cujo efeito mais evidente é o aumento das dimensões dos materiais cerâmicos, podendo levar ao gretamento de peças esmaltadas, ao comprometimento estrutural dos corpos cerâmicos e até mesmo o seu colapso, caso as tensões internas geradas pelo aumento descontrolado do seu volume exceda o limite da sua resistência mecânica². No caso dos revestimentos esse efeito pode comprometer a aderência das placas cerâmicas ao contrapiso e dessa forma levar ao seu destacamento, caso as forças de ligação entre os constituintes do revestimento sejam “fracas”, ou a possíveis danos físicos nos constituintes do sistema, caso as ligações sejam “fortes”³. Já nas alvenarias pode levar ao aparecimento de trincas nos tijolos⁴.

A constituição mineralógica do corpo cerâmico é determinada essencialmente, pela composição, pelos parâmetros tempo e temperatura adotados na sinterização⁵. Diversos fatores determinantes da microestrutura da peça cerâmica influenciam na EPU, quando as moléculas de água são adsorvidas na superfície do sólido, pelas suas fases amorfas constituintes, ocorrendo um aumento nas dimensões da peça, configurando o fenômeno⁶.

A superfície interna (acessibilidade à água), a energia específica e o módulo elástico do produto são os fatores que determinam sua EPU. As fases presentes no produto cerâmico têm estreita relação com esses fatores. As fases amorfas possuem elevada área específica e energia superficial, o que faz com que sua presença nas peças

cerâmicas contribua para o desenvolvimento de elevadas EPU⁷. Os materiais cristalinos têm áreas específicas menores e bem menos valências insaturadas na superfície (menor energia superficial) que os amorfos, contribuindo muito pouco para o desenvolvimento da EPU. Já os materiais vítreos não possuem uma elevada área específica e possuem uma energia superficial relativamente baixa, no entanto, permitem a difusão dos íons modificadores de estrutura para a superfície. E quanto lixiviados pela água, esses íons são removidos, sendo substituídos por íons H⁺, gerando-se superfícies semelhantes à dos materiais amorfos. Com a lixiviação pode ocorrer, também, a abertura de poros que estavam anteriormente selados, aumentando a superfície acessível à água⁸.

Deve-se ressaltar que a EPU de peças cerâmicas não é um fenômeno que necessariamente conduz a falhas ou danos, e sim, que existe uma grande margem de segurança que varia muito de projeto para projeto. Além disso, a EPU de tijolos e placas de revestimento é apenas um dos vários fatores que contribuem para o movimento diferencial total da estrutura⁹.

A incorporação de resíduos da extração e beneficiamento mineral do caulim e de granito em produtos para construção civil vem se mostrando uma ótima alternativa para diversificar a oferta de matérias-primas e para a economia de recursos naturais.

A utilização destes materiais para a obtenção de um produto apresenta, dentre outras, a vantagem de diminuir a quantidade de rejeito a ser descartada na natureza, além de agregar valor a um resíduo indesejável, e possibilita também gerar novos empregos. Portanto, a utilização do resíduo como matéria-prima tem reflexos

econômicos e sociais positivos para a indústria geradora de resíduos e para a indústria de revestimentos, podendo promover uma parceria promissora entre a situação privilegiada dos produtos cerâmicos, tanto no mercado interno quanto externo, e a utilização dos resíduos como uma matéria-prima valorizada¹⁰.

O objetivo do presente trabalho é estudar a expansão por umidade de blocos cerâmicos obtidos a partir de massas incorporadas com resíduos de caulim e granito através de indução pelo método de autoclavagem, e determinação através da técnica de dilatométrica.

2. Materiais e Métodos

Para realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- *Resíduo de Granito*: Resíduo da serragem de granito, resultantes do beneficiamento de blocos de granito da Empresa POLIGRAN S/A – Polimento de Granitos do Brasil. O material foi beneficiado em peneira ABNT n° 80 (0,018 mm) por via seca.

Tabela 1. Composições obtidas através do planejamento em rede simplex {3,2} com ponto central para as formulações visando produção de blocos cerâmicos.

Composições	Proporção (%) componentes originais			Proporção (%) pseudo- componentes		
	Argila B	Granito ^a	Caulim ^a	A	G	C
1	80	10	10	1	0	0
2	60	30	10	0	1	0
3	60	10	30	0	0	1
4	70	20	10	1/2	1/2	0
5	70	10	20	1/2	0	1/2
6	60	20	20	0	1/2	1/2
7	66,6	16,7	16,7	2/3	1/6	1/6

Tabela 2. Composições selecionadas e empregadas nas formulações para produção de blocos cerâmicos.

Composições	Proporção (%) componentes originais			Proporção (%) pseudo- componentes		
	Argila B	Granito ^a	Caulim ^a	A	G	C
4	70	20	10	1/2	1/2	0
5	70	10	20	1/2	0	1/2
6	60	20	20	0	1/2	1/2
7	66,6	16,7	16,7	2/3	1/6	1/6

Tabela 3. Composição química das amostras de resíduo de granito, e do resíduo de caulim.

Amostras de resíduo	Determinações (%)									
	PR	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Na ₂ O	Outros
Granito	1,09	61,80	16,50	4,99	2,08	5,08	4,63	0,43	2,92	0,48
Caulim	2,80	52,25	39,89	0,53	1,22	0,00	2,99	0,00	0,00	0,32

Tabela 4. Análises granulométricas das amostras do resíduo de granito e do resíduo de caulim.

Amostras	Argila (%) (x < 2 µm)	Silte (%) (2 µm < x < 20 µm)	Areia (%) (x > 20 µm)	Diâmetro médio (µm)
Resíduo de granito	9,94	50,11	35,51	20,53
Resíduo de caulim	5,18	18,55	46,92	43,96

- *Resíduo de Caulim*: Resíduo do processamento de Caulim: derivado da segunda etapa do beneficiamento de caulins primários, extraídos da planície pegmatítica da Borborema, cedido pela CAULISA indústria S/A.
- *Argila*: proveniente do Município de Alhandra, PB, fornecida pela Indústria ARMIL MINÉRIOS LTDA, localizada no Município de Parelha - RN.

Inicialmente foram coletadas amostras representativas de resíduos de caulim e da serragem de granitos. Em seguida foi realizado o beneficiamento em peneira ABNT n° 200 (0,074 mm) e caracterizada física e mineralogicamente através de ensaios de análises: química, análise granulométrica por difração a laser, análise termodiferencial e gravimétrica e difração de raios X, com a finalidade de determinar o seu estado de cominuição, componentes químicos e fases mineralógicas presentes. Após caracterização, foram formuladas as massas para confecção de peças cerâmicas através da técnica de planejamento experimental com objetivo primordial de minimizar a EPU.

A Tabela 1 apresenta as composições obtidas, tanto em termos dos componentes originais, como dos pseudocomponentes, das formulações para a produção de blocos cerâmicos.

A partir de trabalhos realizados por Mendonça (2007)¹¹, foram selecionadas as composições apresentadas na Tabela 2, pois estas atenderam a maioria das propriedades cerâmicas, recomendadas pela norma ABNT NBR 13818 /1997¹².

A Tabela 2 apresenta as composições selecionadas e empregadas nas formulações para produção de blocos cerâmicos visando estudar a influência da composição a partir de massas cerâmicas contendo resíduos do beneficiamento de caulim e da serragem do granito na expansão por umidade de peças da cerâmica tradicional.

3. Resultados e Discussão

A Tabela 3 apresenta a composição química dos resíduos de caulim e de granito. Observa-se que o resíduo de granito é constituído basicamente de sílica (61%), Al₂O₃ (16%), CaO e Fe₂O₃ (5%), elevados teores de K₂O, Na₂O e MgO. A presença de óxido de cálcio e óxido de ferro (CaO e Fe₂O₃) encontrados na amostra de granito é oriunda principalmente da granalha e da cal utilizados como abrasivo e lubrificante no processo de beneficiamento. Os óxidos de ferro (Fe₂O₃), cálcio (CaO), sódio e potássio (Na₂O e K₂O) presentes no resíduo são agentes fundentes. O resíduo de caulim é constituído basicamente de sílica (52%), Al₂O₃ (39%), sendo considerado um material refratário, teor de ferro inferior a 1% e óxido fundente (K₂O = 3,0%).

A Tabela 4 e a Figura 1 apresentam a distribuição do tamanho de partículas dos resíduos de caulim e de granito. Observando a distribuição de tamanho de partículas do resíduo de granito, verifica-se que a curva apresenta um comportamento mono modal, com larga distribuição de tamanho de partículas, com D_{50%} de 14,28 µm e D_{90%}

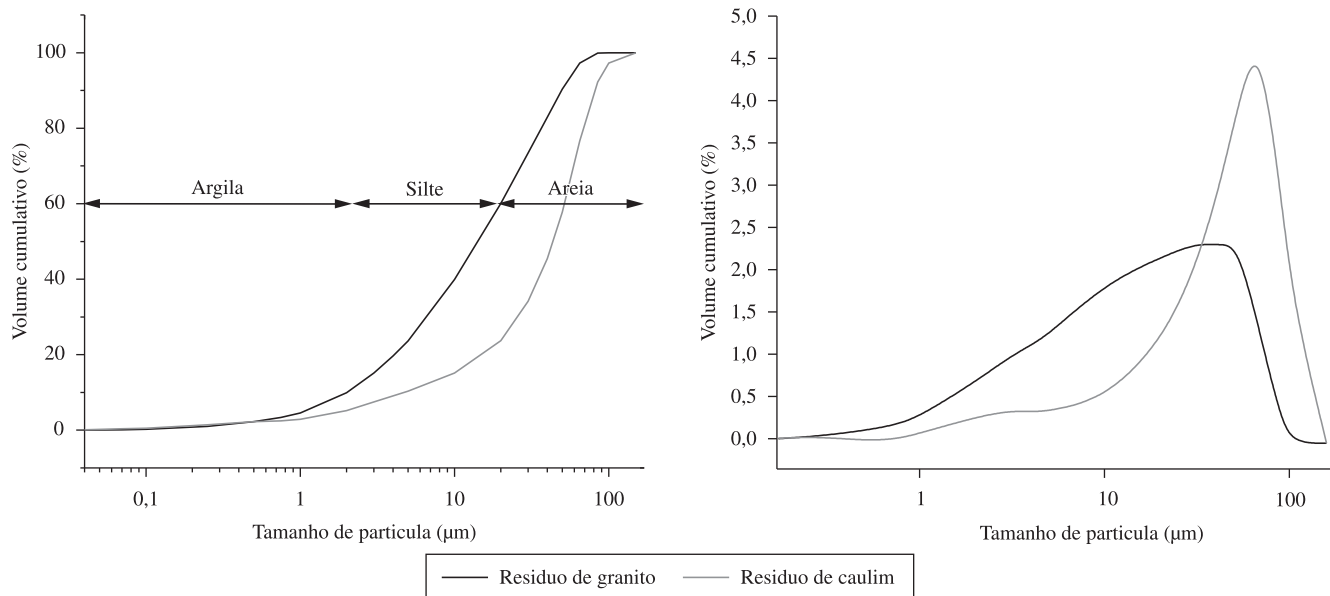


Figura 1. Distribuição granulométrica das partículas do resíduo de granito e do resíduo de caulim.

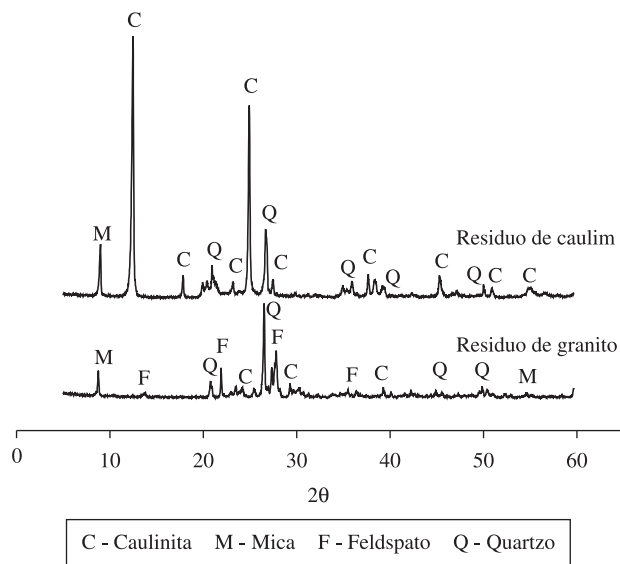


Figura 2. Difratoograma de raios X do resíduo de granito e do resíduo de caulim.

de 49,51 µm. Para o resíduo de caulim verifica-se que as partículas apresentam comportamento mono modal, com $D_{50\%}$ de 43,77 µm e $D_{90\%}$ de 80,86 µm.

A Figura 2 apresenta o difratograma de raios X do resíduo de caulim e do resíduo de granito.

As fases mineralógicas presentes no resíduo de granito foram mica, feldspatos, quartzo, caulinita, fases típicas de rochas graníticas. Para o resíduo de caulim, observou-se as seguintes fases mineralógicas: quartzo, caulinita e mica.

A Figura 3 (a e b) ilustra as curvas de análises termodiferenciais e termogravimétricas das amostras do resíduo de granito e do resíduo de caulim.

Observando a curva termodiferencial do resíduo de granito verifica-se a presença das seguintes transformações térmicas: pico exotérmico em torno de 175,51 °C correspondente à presença de água livre e adsorvida no material; pico endotérmico por volta de 578,04 °C referente à transformação do quartzo α em quartzo β e

pico exotérmico em 709,76 °C relacionado à presença de hidroxilas. Através da curva termogravimétrica, observa-se que a perda de massa total é de 3,78%, correspondente a perda de água livre e adsorvida, transformações do quartzo e hidroxilas.

Observando a curva termodiferencial do resíduo de caulim, verifica-se a presença de pico exotérmico a aproximadamente 156,28 °C referente da presença de água livre; pico endotérmico em torno de 645,38 °C característico da presença de hidroxila; e pico exotérmico por volta de 999,75 °C relativo à nucleação da mulita. Para o resíduo de caulim, verifica-se que no intervalo de temperatura de 0 a 645 °C ocorreu uma perda de massa de 1,53% referente à água livre. Entre 645 e 900 °C a perda de massa foi de 1,23% correspondente à perda de hidroxilas do material. Acima de 900 °C totaliza a perda da massa em 2,80%.

A Tabela 5 apresenta os valores de EPU para os corpos-de-prova queimados nas temperaturas de 800, 900 e 1000 °C.

Verifica-se que, nas temperaturas de 800 e 900 °C as composições estudadas apresentaram expansão por umidade nula. Para a temperatura de 1000 °C observou-se os seguintes valores de EPU 0,020% (comp. 4); 0,023% (comp. 5); 0,014% (comp. 6) e 0,009% (comp. 7). Comparando os resultados de EPU obtidos para os corpos-de-prova não autoclavados com o valor limite de EPU de 0,3 mm.m⁻¹ (0,03%) proposto pela especificação ASTM C-370/88(2006)¹³ para blocos, observa-se que os valores de EPU determinados por dilatomia foram inferiores ao limite especificado, e que os resíduos de caulim e de granito podem ser utilizados como matérias-primas alternativas para produção de blocos cerâmicos, já que satisfazem as especificações.

A Tabela 6 apresenta os valores de EPU para os corpos-de-prova queimados nas temperaturas de 800, 900 e 1000 °C submetidos à autoclavagem

Verifica-se que os corpos-de-prova apresentaram uma EPU mínima a temperatura de 800 °C, e em seguida um aumento gradual até atingir um máximo a temperatura de 900 °C, seguida de uma diminuição com a elevação de temperatura de queima. Este comportamento pode ser atribuído ao fato de que materiais cerâmicos quando queimados em baixas temperaturas, apresentam estrutura altamente porosa, propensa à penetração de água.

Tomando como base os valores propostos pela especificação ASTM C-370/88(2006)¹³ para EPU de blocos cerâmicos e confrontando com os valores obtidos para as composições contendo

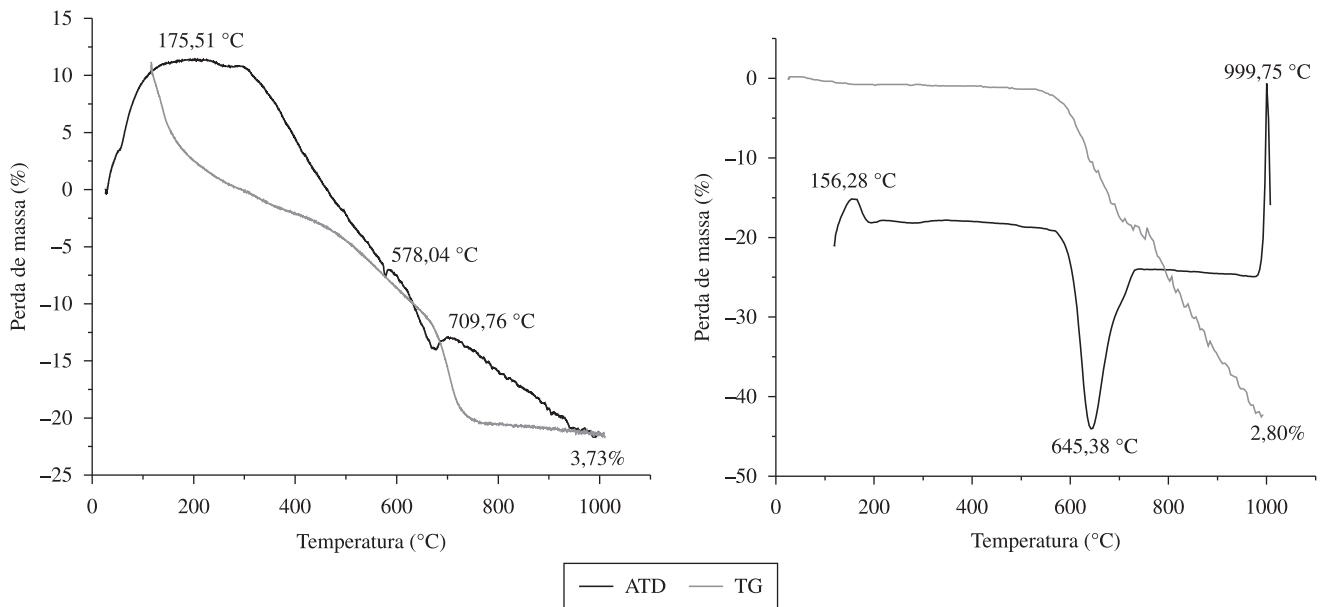


Figura 3. Curvas de análises termogravimétricas e termodiferenciais do resíduo de granito (a) e do resíduo de caulim (b).

Tabela 5. valor da EPU de corpos-de-prova não autoclavados.

Condições de ensaio	Temperatura de queima (°C)	Comp.	EPU (%) – Dilatometria (%)
Não autoclavados	800	4	0,000
Não autoclavados	800	5	0,000
Não autoclavados	800	6	0,000
Não autoclavados	800	7	0,000
Não autoclavados	900	4	0,000
Não autoclavados	900	5	0,000
Não autoclavados	900	6	0,000
Não autoclavados	900	7	0,000
Não autoclavados	1000	4	0,020
Não autoclavados	1000	5	0,023
Não autoclavados	1000	6	0,014
Não autoclavados	1000	7	0,009

Tabela 6. EPU para corpos-de-prova queimados nas temperaturas de 800, 900 e 1000 °C, submetidos a ensaio de autoclavagem.

Condições de ensaio	Temperatura de queima (°C)	Comp.	EPU (%) – Dilatometria (%)
Autoclavagem	800	4	0,021
Autoclavagem	800	5	0,021
Autoclavagem	800	6	0,02
Autoclavagem	800	7	0,029
Autoclavagem	900	4	0,200
Autoclavagem	900	5	0,014
Autoclavagem	900	6	0,020
Autoclavagem	900	7	0,208
Autoclavagem	1000	4	0,024
Autoclavagem	1000	5	0,000
Autoclavagem	1000	6	0,000
Autoclavagem	1000	7	0,032

20% de resíduo de granito e 16,7% de resíduos de granito e 16,7% de resíduo de caulim a temperatura de 900 °C, verifica-se que os valores de EPU obtidos após autoclavagem foram superiores ao valor limite de 0,3 mm.m⁻¹ (0,03%), não sendo, portanto, recomendada para confecção de blocos, pois, apresentarão falhas como, trincas, aumento das dimensões e até colapso das estruturas.

Ainda comparando-se os resultados da EPU para amostras autoclavadas, com os resultados de EPU obtidos para as amostras não autoclavadas, verifica-se que há um acréscimo considerável nos valores. Isto é uma tendência praticamente universal, uma vez que a autoclavagem provoca corrosão da fase vítrea, aumentando a energia superficial e abrindo poros antes fechados aumentando o teor de água adsorvida proveniente de vapores, através da elevação da temperatura e pressão e conseqüentemente, ocorrendo uma elevação da EPU.

4. Conclusões

Os resíduos de granito e de caulim apresentam características similares às matérias-primas cerâmicas convencionais não plásticas (feldspato e quartzo). A temperatura de 800 °C ofereceu valores mínimos de EPU para todas as composições em estudo;

A Expansão por umidade de blocos cerâmicos obtidos a partir da incorporação de 20% de resíduo de granito e 16,7% de resíduos de granito e de caulim a temperatura de 900 °C, apresentou valores de EPU após autoclavagem superiores ao valor limite de 0,3 mm.m⁻¹ (0,03%);

A autoclavagem promoveu o aumento dos valores de EPU para todas as composições e temperaturas em estudo. O processo de autoclavagem provoca corrosão da fase vítrea, aumentando a energia superficial e promovendo a elevação da EPU.

Referências

- MENEZES, R. R. et al. Aspectos fundamentais da expansão por umidade: Uma revisão- parte I: Aspectos históricos, causas e correlações. *Cerâmica*, v. 52, p. 1-14, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132006000100002>
- ANDRADE, R. A. *Efeito da Ação de Carbonatos sobre a Expansão por Umidade associada às propriedades cerâmicas de blocos destinados a construção civil*. 2009. 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

3. CAMPOS, L. F.; MACEDO, R. S.; FERREIRA, H. C. Estudo da expansão por umidade (EPU) em cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CBC, 1999.
4. MEDEIROS, R. R. et al. Influência do quartzo na EPU e no comportamento mecânico de massas cerâmicas para uso em blocos cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS - CBECIMAT, 18., 2008, Porto de Galinhas. **Anais...** Recife, 2008.
5. LIRA, C. et al. Efeitos da composição e da temperatura de queima na Expansão por umidade de corpos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 2, n. 01-02, p. 27-30, 1997.
6. MARINO, L. F. B. A expansão térmica dos revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 5, n.1, p. 43-47, 2000.
7. MENEZES, R. R. et al. Expansão por Umidade: Metodologia para sua Avaliação e Estudo de Casos. **Cerâmica Industrial**, v. 10, n. 2, p. 27-33, 2005.
8. MENEZES, R. R. et al. Análise da Expansão por Umidade e absorção de água de pisos cerâmicos comerciais em relação à composição química e à quantidade estimada de fase vítrea. **Cerâmica**, v. 49, p. 72-81, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132003000200003>
9. MENEZES, R. R. et al. Aspectos fundamentais da expansão por umidade: revisão parte II: cinética de expansão e sua determinação. **Cerâmica**, v. 52, n. 322, p. 114-124, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132006000200002>
10. ANDRADE, F. L. et al. Avaliação da Potencialidade de Uso do Resíduo Proveniente da Indústria de Beneficiamento do Caulim na Produção de Piso Cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v. 14, n. 1, p. 41-45, 2009.
11. MENDONÇA, A. M. G. D. **Uso da técnica de planejamento experimental para otimização de massa cerâmica alternativa para revestimentos**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais)–Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13818** - Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.
13. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM C370** - 88(2006) Standard Test Method for Moisture Expansion of Fired Whiteware Products.