



## UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE GRANITO EM MASSAS CERÂMICAS EMPREGADAS NA OBTENÇÃO DE REVESTIMENTO

K. F. da S. Ribeiro, W. P. Gonçalves, C. C. G. Morais, L. N. L. Santana<sup>1</sup>,  
H. L. Lira, G. de A. Neves, R. R. Menezes

Av. Aprígio Veloso 882, Bodocongó, Campina Grande, PB, 58 109 – 970

<sup>1</sup>lisiane@dema.ufcg.edu.br

Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina  
Grande.

### RESUMO

A reciclagem do resíduo da serragem do granito como matéria-prima alternativa em formulações cerâmicas vem sendo muito estudada nos últimos anos, entretanto, sem a utilização de planejamentos experimentais. Assim, este trabalho tem por objetivo analisar o comportamento da absorção de água e retração de queima de massas cerâmicas contendo resíduo de granito através da metodologia de planejamento experimental. O resíduo foi caracterizado quanto à análise química, distribuição granulométrica, ATD, ATG, DRX. Após as caracterizações foram definidas as composições utilizado um planejamento em rede simplex. Os corpos de prova foram queimados na temperatura de 1100, 1125 e 1150°C em seguida determinou-se a absorção de água e a retração linear de queima. Com base nos resultados pode-se concluir que a metodologia de planejamento experimental associada a superfície de resposta é uma ferramenta que possibilita o desenvolvimento composições com a maximização do teor de resíduo da serragem de granito e otimização das propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Reciclagem, resíduo de granito, massas cerâmicas, planejamento experimental

### INTRODUÇÃO



A produção total brasileira de rochas ornamentais e de revestimento supera 5,2 milhões de toneladas, sendo três milhões de toneladas de granito, um milhão de toneladas de mármore e o restante referente à produção de ardósias, quartzitos foliados e pedra Miracema, dentre outros <sup>(1)</sup>.

O granito é uma rocha ígnea, constituída principalmente por feldspato, quartzo e mica. A formação do resíduo se dá através das etapas de produção do granito (serragem e polimento dos blocos), sendo a etapa de serragem a maior responsável pelo surgimento do resíduo.

Em geral esses resíduos são descartados em lagos, rios, faixas de domínio de rodovias e ao redor das empresas de beneficiamento causando uma série de agressões à fauna e flora, bem como à saúde da população, principalmente quando se encontra em forma seca e pulverulenta <sup>(2)</sup>.

Por outro lado, atualmente, a indústria cerâmica, particularmente o setor voltado para produtos da construção civil, tem sido alvo da incorporação de resíduos vários segmentos industriais, com destaque para aqueles oriundos da extração e beneficiamento mineral <sup>(3)</sup>. Esses resíduos apresentam composição química e características físicas muito similares às matérias-primas naturais utilizadas na indústria cerâmica, o que favorece e estimula sua utilização como matérias-primas alternativas. 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 <sup>(4)</sup>.

A reciclagem de resíduo como matérias-primas cerâmicas vem se intensificando a cada dia, tornando-se uma realidade em vários segmentos cerâmicos e afirmando-se como uma alternativa economicamente viável para a redução e, por vezes, a eliminação dos impactos ambientais e custos econômicos da geração, tratamento e disposição de resíduos sólidos.

A utilização dos resíduos da serragem do granito em massas cerâmicas vem se mostrando uma alternativa que proporciona economia de recursos naturais, prolongando a vida útil de jazidas de boa qualidade e a diversificação de matérias-primas. Esse trabalho tem por objetivo analisar o comportamento da absorção de água e retração de queima de massas cerâmicas contendo resíduo de granito através da metodologia de planejamento experimental e superfície de resposta.



## MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa pesquisa foi utilizado resíduo de granito proveniente da indústria beneficiadora de granito POLIGRAN, localizada no Distrito Industrial de Campina Grande - PB, e caulim e argila plástica doada pela empresa ARMIL MINÉRIOS LTDA, localizada no Distrito Industrial de Campina Grande – PB.

As matérias-primas foram secas e moídas/desaglomeradas em moinho tipo galga e posteriormente passado em peneira ABNT N° 80 para os ensaios tecnológicos e N° 200 para os ensaios de caracterização.

O resíduo de granito foi submetido a processos de caracterização. A composição química foi determinada por via úmida no Laboratório de Análise Química Minerais do CCT/PRAI/UFCG, seguindo as técnicas tradicionais de ensaio. As distribuições granulométricas foram determinadas via úmida, por meio de um sistema de análise de tamanho de partículas por difração a laser (Cilas 1064 LD). As análises termodiferenciais e termogravimétricas foram realizadas com uma taxa de aquecimento de 10°C/min (BP Engenharia RB-300). A identificação das fases foi realizada por difração de raios X (Siemens/Brucker – AXS D5005) com radiação de CuK $\alpha$ . Todos os ensaios, a exceção da análise química, foram realizados no Laboratório de Engenharia de Materiais do DEMa/UFCG.

Foi empregando a metodologia de delineamento de misturas para a formulação das composições <sup>(5)</sup>. Para definir as composições foi utilizado um planejamento em rede simplex {3,2} com ponto central mais três pontos interiores (simplex-centróide aumentado). A Tabela I apresenta as composições obtidas, tanto em termos dos componentes originais, como dos pseudocomponentes.

Após a formulação das composições, foram confeccionados corpos de prova de 60 mm x 20 mm x 5 mm por prensagem uniaxial a 30 MPa. Posteriormente os corpos de prova foram queimados em forno elétrico, nas temperaturas de 1100, 1125 e 1150°C, em ciclos de queima rápida com taxas de aquecimento variando de 36 a 38°C/min e patamares de queima de 5min.

Os corpos de prova queimados foram submetidos à caracterização física, com determinação da absorção de água (AA) e retração linear de queima (RQ).

Tabela I – Composições obtidas através do planejamento simplex-centróide aumentado.



Composições	Proporção (%)			Proporção (%)		
	Componentes Originais			Pseudo-componentes		
	Argila	Granito <sup>a</sup>	Caulim	A	G	C
1	100	0	0	1	0	0
2	0	100	0	0	1	0
3	0	0	100	0	0	1
4	50	50	0	1/2	1/2	0
5	50	0	50	1/2	0	1/2
6	0	50	50	0	1/2	1/2
7	33,3	33,3	33,4	1/3	1/3	1/3
8	66,6	16,7	16,7	2/3	1/6	1/6
9	16,7	66,6	16,7	1/6	2/3	1/6
10	16,7	16,7	66,6	1/6	1/6	2/3

<sup>a</sup> Resíduos de granito

Em seguida, os dados foram utilizados para o ajuste dos valores de resposta quanto às propriedades analisadas, AA e RQ. Para tanto, aplicou-se os modelos linear (Equação A), quadrático (Equação B) e cúbico especial (Equação C) em termos dos pseudo-componentes A, G e C:

$$Y(A,G,C) = b_1A + b_2G + b_3C \quad (A)$$

$$Y(A,G,C) = b_1A + b_2G + b_3C + b_4AG + b_5AC + b_6GC \quad (B)$$

$$Y(A,G,C) = b_1A + b_2G + b_3C + b_4AG + b_5AC + b_6GC + b_7AGC \quad (C)$$

sendo Y a estimativa da resposta AA ou RQ e  $b_x$  os coeficientes das equações, onde A, G e C representam as proporções das matérias-primas presentes nas formulações.

Os resultados obtidos nas caracterizações foram usados para o calculado dos coeficientes das equações de regressão, utilizando o programa Statistica 6.0 da StatSoft. Os modelos e coeficientes foram determinados estatisticamente em um nível de significância de 5%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO



A Tabela II apresenta a composição química do resíduo, onde se verificou que o teor de Si<sub>2</sub>O é superior a 59% e o de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 11%, indicando que o granito é proveniente de rochas graníticas. A presença dos óxidos de cálcio e ferro são oriundos da lama usada no corte, principalmente, da granalha e do cal, que são usados como abrasivos e lubrificantes. Com relação ao uso em massa cerâmica o teor de ferro acima de 5% indica que sua utilização nas massas cerâmicas levará a coloração escura após a queima.

Tabela II – Análise química (% em massa) do resíduo.

	Si <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Resíduo de granito	59,61	5,98	11,77	4,48	2,7	3,63

A Tabela III apresenta um resumo dos resultados da análise granulométrica do resíduo de granito. Verifica-se que o resíduo apresenta um diâmetro de 5,59 µm para 50% de massa acumulada e de 0,89 µm e 25,96 µm para 10% e 90 % de massa acumulada, respectivamente. Essa distribuição granulométrica é similar a das matérias-primas não plástica beneficiadas.

Tabela III – Diâmetro das partículas(µm) do resíduo de granito .

Massa acumulada (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Diâmetro das partículas (µm)	0,89	1,55	2,55	3,9	5,59	8,20	11,50	16,50	25,96

A Fig. 1 apresenta o difratograma de raios X do resíduo de granito. Através do difratograma verificou-se a presença das seguintes fases cristalinas: quartzo (3,35 e 4,24 Å), calcita (2,89 Å), mica (9,93Å) e feldspato na forma de microclina (4,29 e 3,26 Å) e albita (3,20 Å).

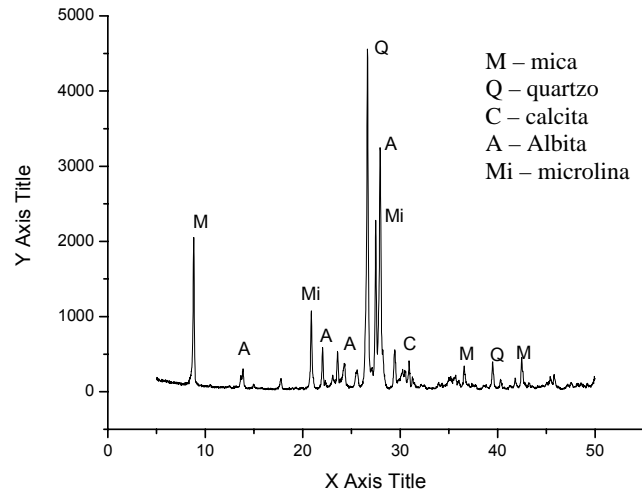


Figura 1 – Difratoograma de raios X do resíduo

A Figura 2 mostra a análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de granito.

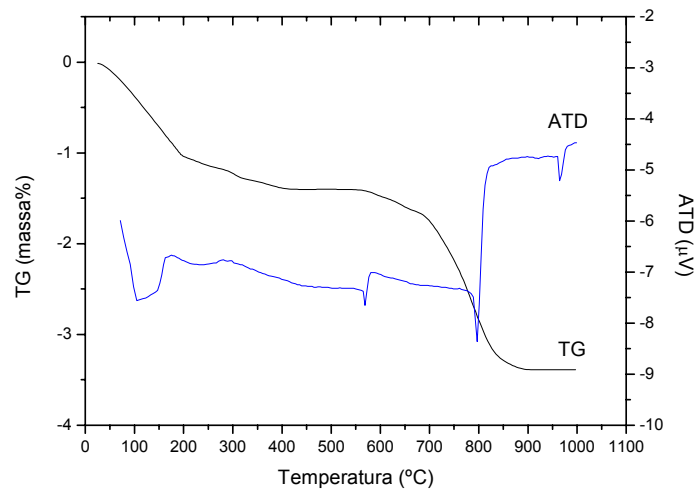


Figura 2 – Análise térmica diferencial e termogravimétrica do resíduo de granito.

A curva termogravimétrica mostra que inicialmente ocorreu uma perda de massa em torno de 1%, entre a temperatura ambiente e 210°C, referente a perda de água livre; ainda temos uma pequena perda de água adsorvida, em torno de 0,40%, entre a temperatura de 210° a 480°C; em seguida temos a maior perda em torno de 2%, entre a temperatura de 480° a 940°, referente a decomposição do carbonato de cálcio. Analisando a curva da ATD pode-se observar um pico endotérmico em torno



de 110°C, que é referente à perda de água livre, o segundo pico endotérmico, de pequena intensidade, em torno de 565°C, provavelmente corresponde a transformação de quartzo alfa em beta, o pico em torno de 800°C se refere a decomposição do carbonato de cálcio e o pico a 960°C a destruição da estrutura da mica.

A Tabela III apresenta os resultados de absorção de água e retração linear obtidos após a queima. A partir dos resultados foi possível obter equações de regressão correlacionando as proporções dos componentes na mistura com esses parâmetros, sendo escolhidas as equações estatisticamente significantes em um nível de significância de 5%.

Tabela III – Absorção de água e retração linear de queima

Formulações	Absorção de Água (%)			Retração Linear de Queima (%)		
	1100°C	1125°C	1150°C	1100°C	1125°C	1150°C
1	1,58	1,55	1,39	6,41	3,16	2,11
2	0,75	0,31	0,27	12,86	13,12	12,67
3	22,39	22,13	20,60	3,98	4,22	4,81
4	8,95	6,09	3,22	9,13	10,46	12,08
5	2,89	0,44	0,36	9,63	10,31	10,30
6	10,55	6,60	2,28	6,71	8,98	11,16
7	8,38	3,61	1,50	8,44	10,79	12,33
8	5,81	2,78	0,54	9,92	11,42	12,28
9	16,34	13,66	9,50	5,64	7,22	9,09
10	4,84	1,60	0,49	8,21	10,52	10,87

As equações (A) a (H) apresentam os modelos matemáticos obtidos, em termos dos pseudo-componentes, correlacionando os valores de AA, DA e RQ com as proporções dos componentes em cada temperatura de queima.

$$AA_{1100} = -0,022A + 8,07G + 20,27C \quad (A)$$

$$AA_{1125} = -0,13A + -1,31G + 19,14C \quad (B)$$

$$AA_{1150} = 1,15A + 0,30G + 20,85C - 27,34AC - 28,73GC \quad (C)$$

$$DA_{1100} = 2,12A + 2,46G + 1,74C \quad (D)$$

$$DA_{1125} = 1,68A + 2,40G + 1,68C + 2,04AG + 2,22AC \quad (E)$$

$$DA_{1150} = 1,67A + 2,34G + 1,68C + 1,90AG + 2,63AC + 1,13GC \quad (F)$$

$$RQ_{1100} = 6,83^A + 12,46G + 3,80C + 15,35AC - 8,90GC \quad (G)$$

$$RQ_{1150} = 2,86A + 12,93G + 5,14C + 11,37AG + 34,32AC \quad (H)$$



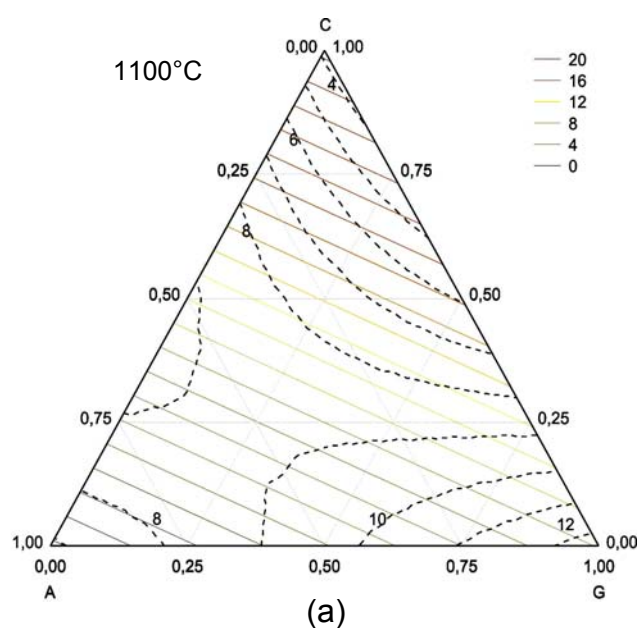
A Tabela IV apresenta os parâmetros estatísticos principais dessas equações (foi usada a nomenclatura estatística usual, teste F, valor p, coeficiente de múltipla determinação,  $R^2$  e coeficiente de múltipla determinação ajustado  $R^2_A$ ). Pode-se observar que todos os modelos foram estatisticamente significantes ao nível estipulado (valor do teste F > cinco vezes o valor tabelado <sup>(6)</sup> e valor p  $\leq$  nível de significância). A maioria dos modelos apresentou variabilidade muito baixa (coeficiente de múltipla determinação elevados).

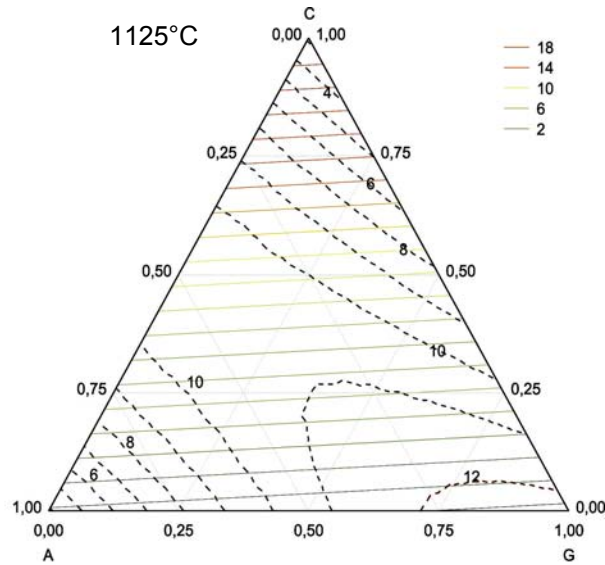
Tabela IV – Estatísticas relevantes da análise de variância das variáveis absorções de água(AA) e retração de queima (RQ)

Propriedade	Temperatura	Modelo	Teste F	Valor p <sup>a</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>A</sub> <sup>b</sup>
AA	1100°C	Linear	17,55222	0,001874	0,833747	0,786246
RQ	1100°C	Quadrático	8,324166	0,025637	0,916006	0,848811
AA	1125°C	Linear	34,19554	0,000244	0,907151	0,880622
RQ	1125°C	Quadrático	12,90268	0,010614	0,907337	0,833207
AA	1150°C	Quadrático	37,27868	0,000990	0,985819	0,974474
RQ	1150°C	Quadrático	11,88171	0,012599	0,877959	0,780326

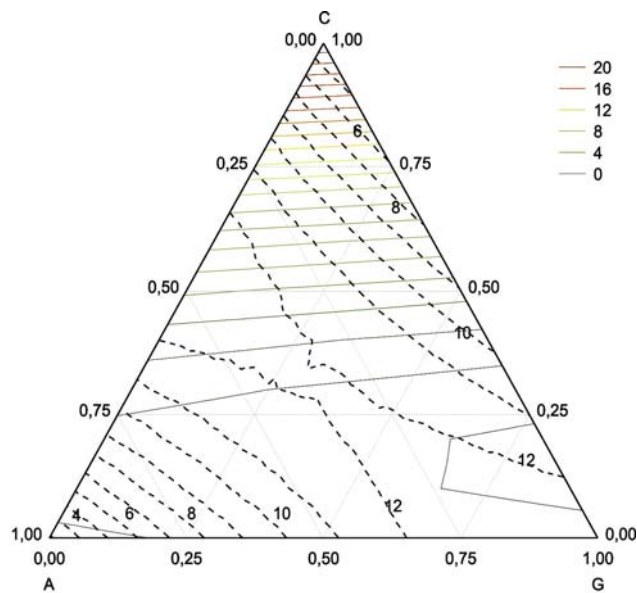
<sup>a</sup> Nível de significância da análise de 5%, <sup>b</sup> R<sup>2</sup> ajustado

A Fig. 3 apresenta a superposição das superfícies de resposta para a absorção de água e retração linear de queima, nas temperaturas de queima estudadas.





(b)



(c)

Figura 3 - Superposição das superfícies de resposta para a absorção e retração de queima; onde as linhas pontilhada refere-se a RQ(%) e as linhas coloridas a AA (%): 1100°C (a), 1125°C (b) e 1150°C(c).

Com base na Fig. 3 pode-se observar que após queima a 1100°C as composições que apresentam as menores retrações de queima (< 4%) são aquelas com elevado teor de caulim (superior a 90%), que, entretanto, apresentam elevada absorção de água (> 18%). Por outro lado, as composições com elevado teor de



argila (em torno do vértice A) apresentam baixas absorções de água, aliadas a baixas retrações de queima, inferiores a 8%, a exemplo da composição 75% de argila, 12,5 % de resíduo de granito e 12,5% de caulim.

Após queima a 1125°C verifica-se que, a semelhança do observado com a queima a 1100°C, as composições com as menores retrações (< 4%) são aquelas com elevados teores de caulim, que apresentam elevada absorção de água ( $\approx$  18%). As composições com elevado teor de resíduo (> 90%), por outro lado, apresentam baixas absorções (< 3%), entretanto, elevadas retrações de queima em torno de 12%. No entanto observa-se que, com a adequada combinação de matérias-primas é possível, segundo os dados da Fig. 3, obter corpos com absorções inferiores a 2% e retrações menores que 7%, utilizando composições com elevado teor de argila e um pequeno teor do resíduo, a exemplo da composição com 75% de argila, 12,5 % de resíduo de granito e 12,5% de caulim.

Através da Fig. 3, observa-se após a queima a 1150°C um comportamento semelhante ao observado após queima a 1125°C, com as composições com maiores teores de caulim apresentando as menores retrações, mas as maiores absorções e as composições com elevado teor de resíduo de granito apresentando baixas absorções associadas a elevadas retrações de queima. No entanto, observa-se que com a queima a 1150°C é possível, de acordo com os dados na Fig. 3, a produção de corpos com baixas absorções de água (< 2%) e retrações de queima (< 6%) com elevado teor de argila, mas com teores de resíduo de granito superiores aos máximos observados após queima a 1100 e 1125°C para as composições com características semelhantes. Assim, verifica-se que é possível a utilização de composições com apenas argila e granito, em teores de resíduo de granito de até 20%, ou de composições contendo caulim em até 12,5% para a produção de peças com baixa absorção de água e retração de queima, o que possibilita maximizar a quantidade de resíduo incorporado à massa, sem, no entanto, degradar as propriedades físicas do produto final.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados pode-se concluir que o resíduo é constituído por quartzo, mica, calcita e feldspato, com composição química apresentando elevado teor de fundentes. Concluiu-se também que a metodologia de planejamento



experimental associada à superfície de resposta é uma ferramenta que permite analisar e compreender o comportamento e evolução da absorção de água e retração de queima das composições contendo resíduo de caulim frente à temperatura de queima. O que possibilita o desenvolvimento de composições com a maximização do teor de resíduo da serragem de granito sem, no entanto, a degradação das propriedades físicas do produto final.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Panorama do setor no Mundo e no Brasil. Disponível em: <http://www.drm.rj.gov.br/panorama.htm> acesso em: 20/01/2007.
2. MENEZES, R.R., NEVES, G.A., FERREIRA, H.G.; O estado da arte sobre o uso de resíduo como matéria prima cerâmica alternativas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p.303-313, 2002.
3. ACCHAR, W.; VIEIRA, F. A.; SEGADÃES A. M. Using ornamental stone cutting rejects as raw materials for red clay ceramic products: Properties and microstructure development. Materials Science and Engineering A 435-436, p. 606-610, 2006.
4. MOTHÉ FILHO, H. F., OILIVANOV, H., MOTHÉ, C. G., Reciclagem dos resíduos sólidos de rochas ornamentais. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ v. 28-2, p. 139-151, 2005. Disponível em: [http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario\\_2005](http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2005) acesso em: 12 de março de 2007.
5. CORNELL J. A., Experiments with mixtures-designs, models, and the analysis of mixtures data, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York ,1990.
6. B. Barros Neto, I. E. Scarminio, R. E. Bruns, “Planejamento e otimização de experimentos”, 2a Ed., Editora Unicamp, São Paulo (1996) 187.



## THE USE OF GRANITE RESIDUE IN CERAMIC MASSES TO MAKE CERAMIC TILE

### ABSTRACT

The recycling of residue from granite industry as alternative raw materials in ceramic mass has been studied by several researchers in the last years. However, these studies are made without experimental plan. So, the aim of this work is to verify the behavior of water absorption and shrinkage after firing from ceramic mass with residue from granite by experimental design. The residue was characterized in terms of particle size distribution, chemical composition, X-ray diffraction and thermal differential and gravimetric analyses. After the characterizations they were defined the compositions using a simplex-lattice experimental. The samples were fired at temperatures of 1100, 1125 and 1150°C and submitted to water absorption and linear shrinkage measurements. Based on the results it can be concluded that the simplex-lattice experimental method and the response surface is a tool that can help to develop formulations with a maximum amount of residue from granite sawing and optimize mechanical properties.

Keywords: granite, waste, tile, ceramic