

DOSAGEM DE MASSA CERÂMICA ATRAVÉS DO MÉTODO SIMPLEX PARA BLOCOS PENSADOS COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE GRANITO¹

Leonardo Gonçalves Pedroti²
Carlos Maurício Fontes Vieira³
Sérgio Neves Monteiro⁴
Gustavo de Castro Xavier⁴
Jonas Alexandre⁴

Resumo

O processo normalmente usado nas empresas cerâmicas para fabricação de blocos é a extrusão, o qual propicia devido a diferentes fatores elevadas perdas, tanto de material quanto de peças. No processo de extrusão a perda está basicamente relacionada à umidade necessária para moldagem, já na secagem e queima devido a imperfeições e transporte. Este trabalho mostra uma nova alternativa, que são blocos prensados e queimados onde na sua etapa produtiva elimina grande parte das perdas comparadas com o processo de extrusão, pois os blocos prensados possuem baixa umidade descartando a dispendiosa secagem. Nos canteiros de obra, a grande vantagem fica para o sistema de encaixe, similar ao tradicional usado em bloco de solo-cimento, com adição de resíduo de granito dosado pelo método simplex, os resultados comprovaram resistência mecânica variando de 2,0 MPa a 10,0 MPa e absorção d'água variando de 19% a 30%.

Palavras-chave: Resíduo de granito; Cerâmica; Simplex; Dosagem.

SIMPLEX NETWORK MODELING FOR PRESS-MOLDED CERAMIC BODIES INCORPORATED WITH GRANITE WASTE

Abstract

Extrusion of a clay body is the most commonly applied process in the ceramic industries for manufacturing structural block. Nowadays, the assembly of such blocks through a fitting system that facilitates the final mounting is gaining attention owing to the saving in material and reducing in the cost of the building construction. In this work, the ideal composition of clay bodies incorporated with granite powder waste was investigated for the production of press-molded ceramic blocks. An experimental design was applied to determine the optimum properties and microstructures involving not only the precursors compositions but also the press and temperature conditions. Press load from 15 ton and temperatures from 850 to 1050°C were considered. The results indicated that varying mechanical strength of 2 MPa to 20 MPa and varying water absorption of 19% to 30%.

Key words: Granite powder waste; Clay; Simplex.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Doutor em Ciências dos Materiais. Aluno de Pós-doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense.

³ Professor. PhD Universidade Estadual do Norte Fluminense.

⁴ Professor. Doutor Universidade Estadual do Norte Fluminense.

1 INTRODUÇÃO

O sistema de prensagem facilita o aparecimento de um modelo de encaixe, que vem ganhando espaço na construção civil, baseado em *blocos macho e fêmea*. Essa característica de encaixe, juntamente com a modulação das paredes, possibilita ao construtor um ganho de tempo na montagem das alvenarias, já que este processo favorece o assentamento dos blocos, dispensando o uso da argamassa. A necessidade de utilização dos resíduos industriais, como forma de evitar impactos ambientais, torna-se nos dias atuais tão importantes quanto à busca de novas tecnologias.⁽¹⁾ O sistema de desdobramento de blocos de granito para a produção de chapas, gera uma quantidade significativa de rejeitos na forma de lama, 20% a 25% dos blocos.

Segundo Silva,⁽²⁾ a necessidade de cumprir às exigências de manejo e disposição de resíduos sólidos gerados nas atividades industriais, vem sendo imposta, nas duas últimas décadas, seja pelas leis ambientais ou por movimentos ecológicos em todo o mundo, tornando – se um grande desafio para os sistemas produtivos. Neste contexto, a industrialização de rochas ornamentais necessita se conscientizar da responsabilidade de fazer mineração auto-sustentável, ou seja, com respeito ao meio ambiente e à comunidade.

Neste cenário, a indústria de cerâmica vermelha aparece com um grande atrativo para promover a reciclagem de rejeitos, pois emprega um grande volume de massa argilosa. A matéria-prima utilizada possui uma variedade de minerais e argilominerais produzindo comportamento variado do produto acabado, e o rejeito sendo introduzindo na planta industrial, não modificaria a estrutura do processo cerâmico. Isto significa que não alteraria sua rota. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi estudar a mistura do resíduo de granito com argila normalmente utilizada na composição de peças cerâmicas da região de Campos dos Goytacazes-RJ, através do método de misturas Simplex, por prensagem uniaxial.

1.1 Características das Massas Cerâmicas de Campos

As massas cerâmicas usadas nas indústrias de Campos dos Goytacazes, região norte do Estado do Rio de Janeiro, caracterizam-se por apresentar um comportamento de queima refratário que, para alguns tipos de produtos como telhas e pisos extrudados, não permite alcançar as propriedades requeridas. Um estudo comparativo das características de uma típica massa cerâmica para telhas do município de Campos dos Goytacazes e massas de reconhecida qualidade provenientes de outras regiões constatou que a massa de Campos apresenta características significativamente diferentes das demais.⁽³⁾ Dentre estas características destacam-se um elevado percentual de alumina, baixo percentual de sílica, excessivo conteúdo de minerais argilosos e elevada perda de massa durante a queima, associada basicamente à predominância caulinítica das argilas locais. Além disso, as argilas possuem gibsita (hidróxido de alumínio) em sua composição mineralógica.⁽⁴⁾ A gibsita durante a queima sofre uma transformação pseudomórfica em temperaturas em torno de 260°C, contribuindo também para aumento da refratariedade e perda de massa.

Como alternativas para melhorar as propriedades após queima dos produtos pode-se reformular a massa cerâmica, aumentando o teor de fundentes e/ou a temperatura de queima. Os fundentes atuam na formação de fase líquida o que facilita o preenchimento dos vazios na microestrutura do material, contribuindo para

incrementar a densificação e reduzir a porosidade,⁽⁵⁾ por meio de um processo comumente chamado de vitrificação. A temperatura de queima, a porcentagem e proporção dos óxidos alcalinos, bem como sua procedência mineralógica, são alguns dos fatores determinantes no processo de vitrificação.

1.2 Características dos Resíduos de Granito

Segundo o Núcleo Regional de Informações Tecnológicas do Espírito Santo, Rochas de qualidade, desperdício na indústria de mármore e granito, o Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais do mundo. Dentre elas, destaca-se o mármore, o granito propriamente dito, o diorito, e o gnaisse, comercialmente conhecidos por mármore e granito. O estado do Espírito Santo é o principal pólo de rochas ornamentais do país instalado na região de Cachoeiro de Itapemirim.

Os resíduos de granito são atrativos para o aproveitamento cerâmico por serem constituídos de SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O e CaO . Estes compostos fazem parte das matérias-primas usadas na fabricação de produtos cerâmicos. Ressalta-se também que a reutilização destes resíduos contribui para a diminuição do consumo de matérias-primas naturais, resultando em ganhos ambiental e econômico.⁽⁶⁾

As misturas dos resíduos de granito com argilas predominantemente caulínicas de Campos dos Goytacazes-RJ, podem ser utilizadas para produzir produtos cerâmicos, principalmente agregando valor a um subproduto descartado inadequadamente no meio ambiente.⁽⁷⁾

1.3 Processamento da Cerâmica Argilosa Prensada

A prensagem é a operação de conformação baseada na compactação de um pó granulado ou massa contida no interior de uma matriz rígida ou de um molde flexível, através da aplicação de pressão. A operação compreende três etapas ou fases: (1) preenchimento da cavidade do molde, (2) compactação da massa e (3) extração da peça.

O processo de conformação transforma um sistema não-consolidado num corpo definido, consolidado e apresentando uma particular geometria e microestrutura. A seleção do processo de conformação para um produto específico é dependente do tamanho, da forma e tolerâncias dimensionais permitidas no projeto, os requisitos das características da microestrutura, reprodutibilidade, produtividade e investimento. Por razões de produtividade e eficiência em produzir peças com tamanho e formas bastante variados, a conformação por prensagem é o processo de conformação mais utilizado.⁽⁸⁾

A compactação é uma etapa intermediária do processamento de materiais cerâmicos. O conhecimento da relação entre a massa específica verde e a pressão de compactação é de alto interesse tecnológico. A pressão aplicada à massa de pó influencia a porosidade e a resistência mecânica do compacto verde. Assim, o entendimento dos mecanismos de consolidação de pós durante a compactação, contribui fortemente para o controle das propriedades dos compactos, resultando na obtenção de produtos acabados cada vez melhores.⁽⁹⁾

A Figura 1 demonstra as etapas da compactação.

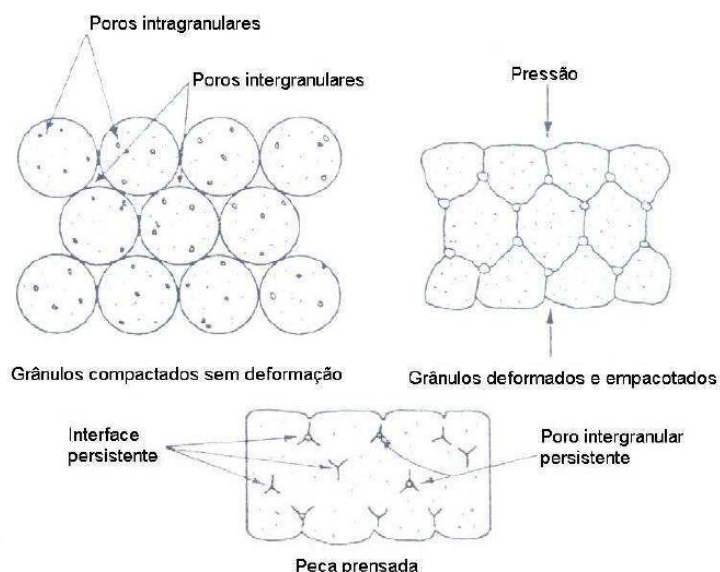


Figura 1. Mudança da forma dos grânulos e do tamanho dos poros durante a compactação.⁽⁸⁾

2 MATERIAL E MÉTODOS

A matéria-prima utilizada foi coletada na jazida da empresa Cerâmica Stilbe, localizada no município de Campos dos Goytacazes-RJ. Essa mesma massa é utilizada para confecção dos blocos estruturais, tijolos e lajes em cerâmica vermelha. O resíduo de granito foi coletado na empresa Decolores Mármore e Granitos, na cidade de Cachoeiro de Itapemirim-ES. O resíduo de granito utilizado é do processo de serragem com fio diamantado, diferente da tradicional técnica de serragem com gralha (partículas de ferro)

Após coleta, os materiais foram separados para secagem ao ar livre. Posteriormente destorroado, com ajuda de marreta obtendo-se material com partículas mais finas. Em seguida, peneirado ABNT nº10. Parte deste material foi selecionada para caracterização física e química, o restante foi estocado em sacos plásticos fechados, a fim de se manter uma umidade controlada e, posteriormente, usada na confecção das amostras.

Foram avaliados nesta pesquisa três materiais: argila forte, argila fraca e resíduo de granito. Todas as misturas foram queimadas nas temperaturas de 850°C e 1050°C, a uma tensão de compressão para moldagem de 61,0 kgf/cm², tensão característica das máquinas industriais (15 ton) encontradas no mercado para fabricação de blocos em solo-cimento. Também foram realizadas verificação do comportamento da microestrutura dos materiais envolvidos através do microscópio eletrônico de varredura, além da análise térmica e composição química.

Foram definidos os três pontos do simplex através do estudo da umidade de prensagem. A umidade no processo influencia no fluxo e acomodação do material no molde, aumentando ou diminuindo a densidade inicial antes da compactação. Quando se aumenta a umidade, a densidade do material antes de compactá-lo é diminuída, porém a umidade da mistura é responsável também pela lubrificação entre as partículas, o que favorece no momento da aplicação da carga de compactação.

Foi verificado a melhor umidade de prensagem através de ensaios aumentando-se gradativamente a umidade da mistura, até que está esteja

estabelecido nos parâmetros abaixo, e estabelecidos os corpos de prova. Quando confeccionados essas peças deverão obedecer alguns critérios:

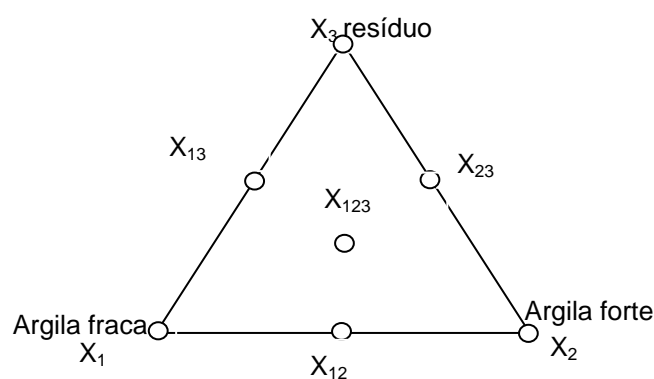
- quando moldados, deverão se conformar e não destorçar antes ou após serem queimados;
- deverão apresenta-se rígidos para manuseio já que o processo industrial, o material deve ser manuseado sem riscos de quebras;
- não poderão apresentar-se úmidos de forma que grudem na estampa, ou carimbo, pois isso atrasaria a confecção dos demais, refletindo no custo final do material; E
- deverão apresentar maiores teores de resíduo possível, desde que atinja resistência segundo norma técnica.

A Figura 2 apresentam o molde utilizado na compressão e os corpos de prova avaliados. Posteriormente foram queimados a 850°C e 1.050°C. Para configurar uma proporção de 1:1 (diâmetro x altura) afim de ficar o mais próximo possível do ensaio descrito pela NBR 10834, onde o bloco é cortado ao meio e feito um prisma para o ensaio a compressão, todas as misturas mantiveram esta proporção.



Figuras 2. Molde utilizado e corpos de prova queimados.

Foram também avaliados os modelos no simplex para umidade e absorção dos dois carregamentos, como demonstrados na Figura 3.



Figuras 3. Modelo simplex.

A Tabela 1 apresenta os percentuais de cada mistura

Tabela 1. Percentuais usados e número de corpos de prova utilizados

	Argila FO (forte)	Argila FR (fraca)	Resíduo	Nº Corpos de Prova	Prensagem correspondente
A	100%	0%	0%	20	P15T
B	0%	100%	0%	20	
C	0%	0%	100%	20	
AB	50%	50%	0%	20	
AC	50%	0%	50%	20	
BC	0%	50%	50%	20	
ABC	33,3%	33,3%	33,3%	20	

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A *argila forte*, nome normalmente usado por ceramistas, devido às propriedades do material, já que estes possuem elevados teores de fração argila, diferente da *argila fraca*, onde a proporção de fração argila é muito inferior. A Figura 2 apresenta as frações dos materiais envolvidos em percentuais.

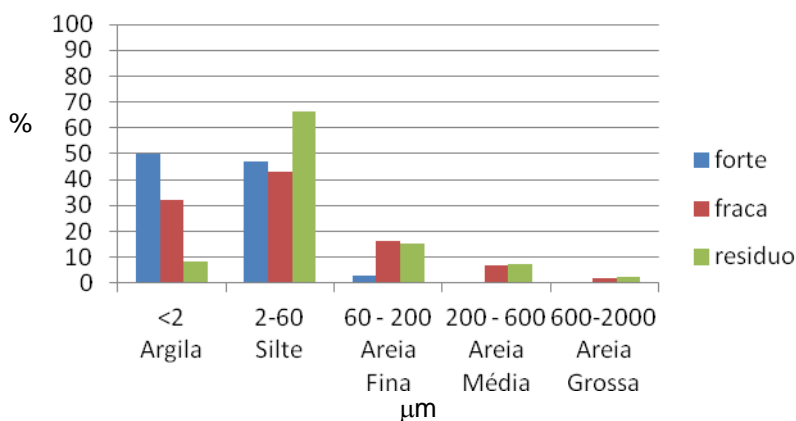


Figura 2. Tamanho das partículas.

As Figuras 3a, 3b e 3c, apresentam os difratogramas de raios-X das argilas “forte” FO, “fraca” FR e resíduo de granito RES. Observa-se que as argilas FO e FR apresentaram composição mineralógica similar com a presença de picos de difração da caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), quartzo (SiO_2), mica muscovita ($\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e gibsita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Nota-se também picos de baixa intensidade, estes picos de difração podem estar associados aos minerais do grupo dos piroxênios e à montmorilonita, respectivamente.

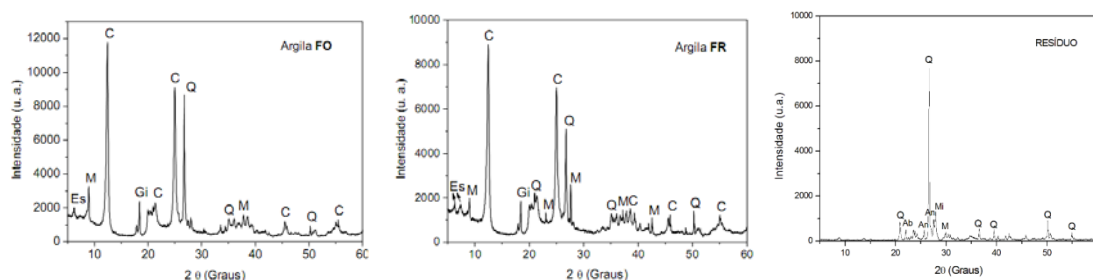


Figura 3. Difratogramas de raios-X das matérias-primas. C = caulinita; Q = quartzo; M = mica muscovita; H = hematita; Mm = mineral micáceo; Mi = microclina; FPI = feldspato plagioclásio, An = Anortita, Ab = Albita.

A presença de gibsita em ambas as argilas indica que nem toda a alumina (Al_2O_3) esteja na estrutura dos argilominerais. A gibsita é um mineral que contribui para aumentar a perda ao fogo e refratariedade das argila. A caulinita é o argilomineral presente no caulim e em muitas argilas utilizadas para fabricação de produtos cerâmicos destinados à construção civil. Este mineral é responsável pelo desenvolvimento da plasticidade e apresenta comportamento de queima refratário. O quartzo se constitui na principal impureza presente nas argilas, atuando como matéria prima não plástica e inerte durante a queima. A mica muscovita é um mineral com morfologia lamelar que pode ocasionar o aparecimento de defeitos nas peças cerâmicas. Desde que apresente tamanho de partícula reduzido, a mica muscovita pode atuar como fundente devido à presença de óxidos alcalinos. A Tabela 2 apresenta a composição química das matérias primas envolvidas. Como característica da região, as argilas são predominantemente constituídas de SiO_2 e Al_2O_3 . Através da relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, observa-se que a argila FO possui maior quantidade de caulinita e menor quantidade de quartzo em comparação com a argila FR. A relação quanto mais próxima de 1,18, correspondente a caulinita teórica, indica uma maior quantidade de caulinita presente na argila. A relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ das argilas FO e FR é de 1,23 e 1,32 respectivamente.

Tabela 2. Composição química das matérias-primas (% em peso)

Matérias-primas	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	SO_3	TiO_2	CaO	MnO	PF
Argila Fraca	46,72	35,34	9,46	3,27	2,42	1,73	0,78	0,109	7,60
Argila Forte	45,99	37,39	9,87	2,65	1,40	1,80	0,60	0,072	11,90
Resíduo	53,09	17,24	10,31	5,69	1,93	1,65	9,72	0,161	1,34

O elevado valor de óxido de ferro, superior a 3%, nas duas argilas proporciona uma colocação avermelhada após a queima. O óxido de cálcio presente nas argilas está geralmente associado à calcita, CaCO_3 . Nas argilas a presença de CaO é baixo, porém o resíduo possui elevado teor, cerca de 9.72%. Os óxidos alcalinos são fundentes muito ativos e tem como finalidade a formação de fase líquida, necessária para a consolidação das partículas, nas argilas os teores de (K_2O) são inferiores aos encontrados no resíduo. Estes óxidos se encontram formando compostos como os feldspatos, minerais micáceos como a mica muscovita, presentes nas matérias primas investigadas. A perda ao fogo (PF) ocorre principalmente devido à perda de água de constituição dos argilominerais, desidratação de hidróxidos, oxidação de matéria orgânica e decomposição de carbonatos.

As curvas ATD/TG das argilas estão apresentadas na Figura 4. Observa-se as curvas de TG/DTG para as argilas FO e FR, simultaneamente. Nas temperaturas iniciais de aquecimento ocorrem perdas de massa de 3,3% e 2% para as argilas FO e FR, respectivamente. Esta perda de massa inicial é atribuída à eliminação de água de umidade. Entre as temperaturas de 250°C e 275°C ocorre uma reação endotérmica devido à eliminação de água de hidróxidos com perdas de massas de 5,2% e 2,1% para as argilas FO e FR, respectivamente. As maiores perdas de massa, 10,1% para argila FO e 5,1% para a argila FR, estão associadas com a desidroxilação da caulinita, pico endotérmico a aproximadamente 480°C.

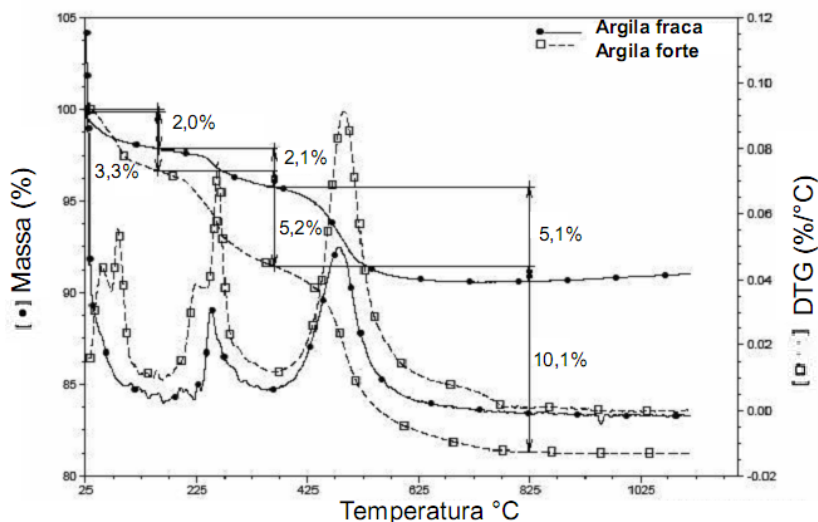
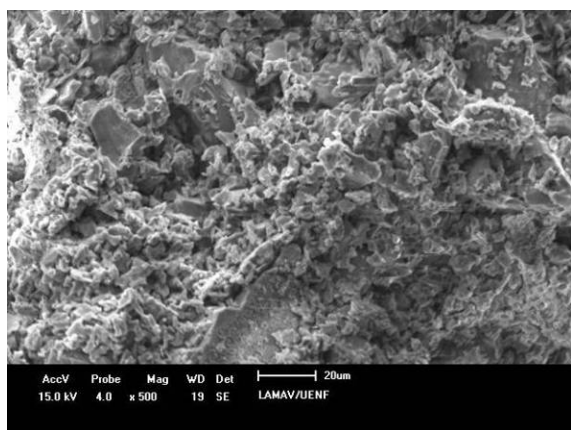
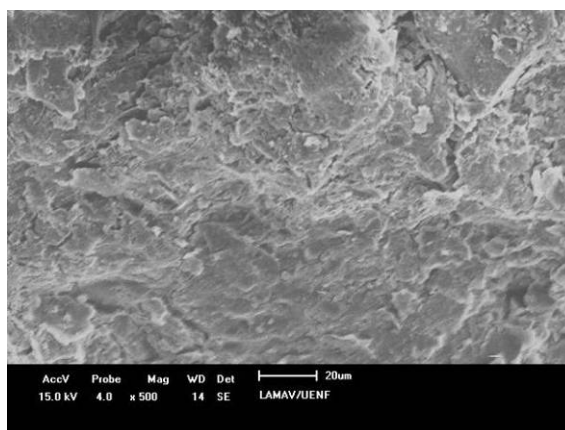


Figura 4. Análise térmica da argila fraca e forte.

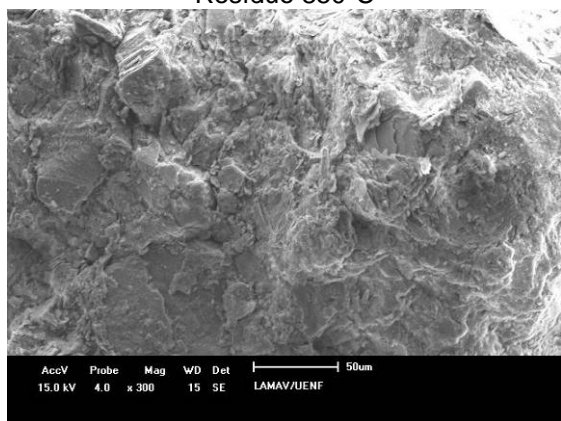
As Figuras 5a, 5b e 5c, representam as microestruturas das matérias primas do estudo, queimadas a 850°C e a 1050°C, do resíduo, da argila forte e da argila fraca respectivamente.



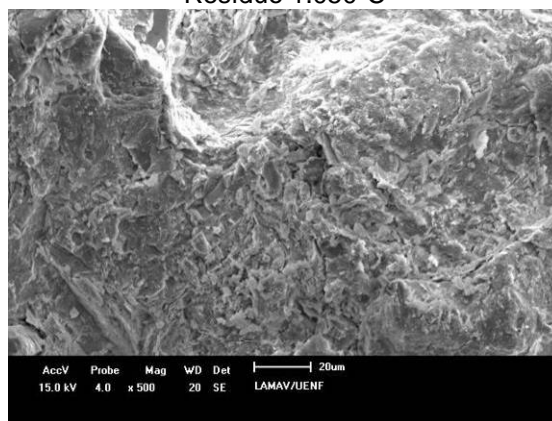
Resíduo 850°C



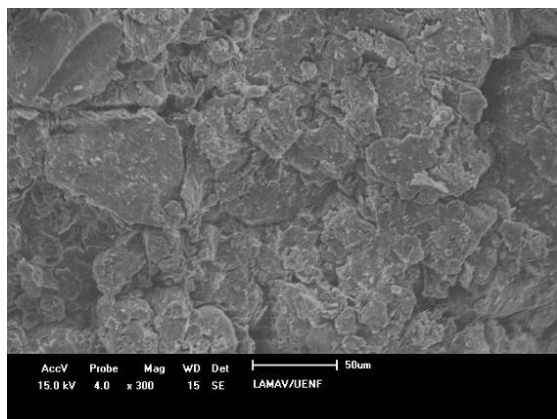
Resíduo 1.050°C



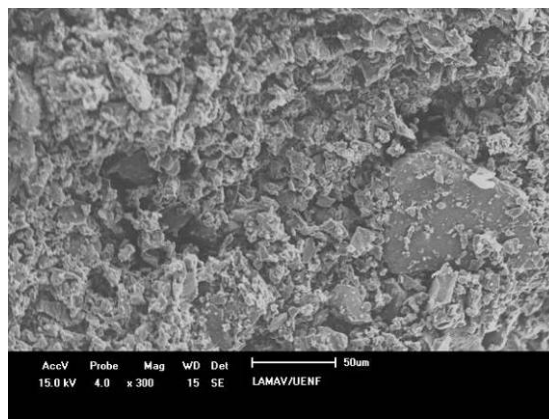
Argila forte 850°C



Argila fraca 1.050°C



Argila fraca 850°C



Argila fraca 1.050°C

Figura 5. microestrutura das matérias primas queimadas.

O resíduo, possui superfície altamente porosa na temperatura de 850°C, diminuída sensivelmente quando queimado a 1.050°C onde acontece formação de mais fase líquida nesta etapa que a anterior. A argila forte, porosa lamelar da matriz aluminossilicato. A interconectividade da porosidade é uma característica da cerâmica argilosa, e a argila fraca tem como característica a refratariedade comum nas argilas de Campos dos Goytacazes, o que dificulta a redução da porosidade e a fase líquida formada não é suficiente para eliminar a porosidade aberta, sendo está muito porosa. A Figura 6 representa as superfícies obtidas pelo método de misturas simplex onde avaliou a absorção d'água e a Figura 7 a superfície de resposta da resistência à compressão ambas as peças moldadas a uma carga de compressão de 15 toneladas.

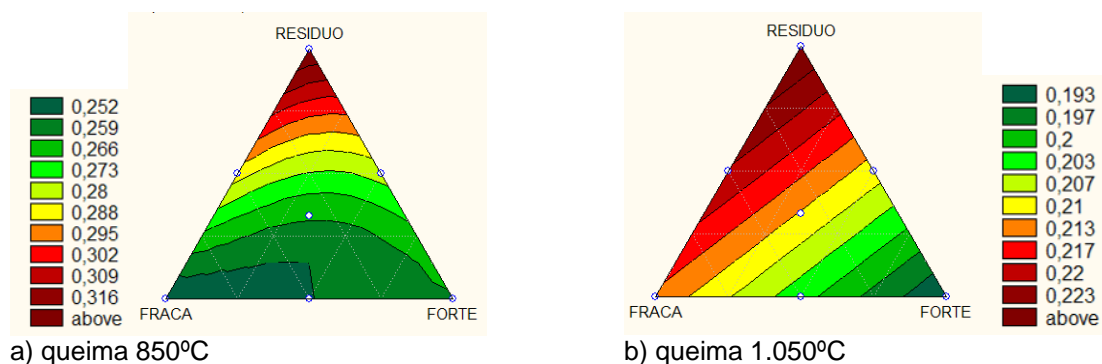


Figura 6. Absorção d'água: melhores superfícies de resposta

Observa-se que a temperatura de queima muda as propriedades da absorção d'água onde para a queima a 850°C os melhores resultados foram obtidos para a argila fraca, enquanto na queima a 1.050°C os melhores resultados foram para a argila forte.

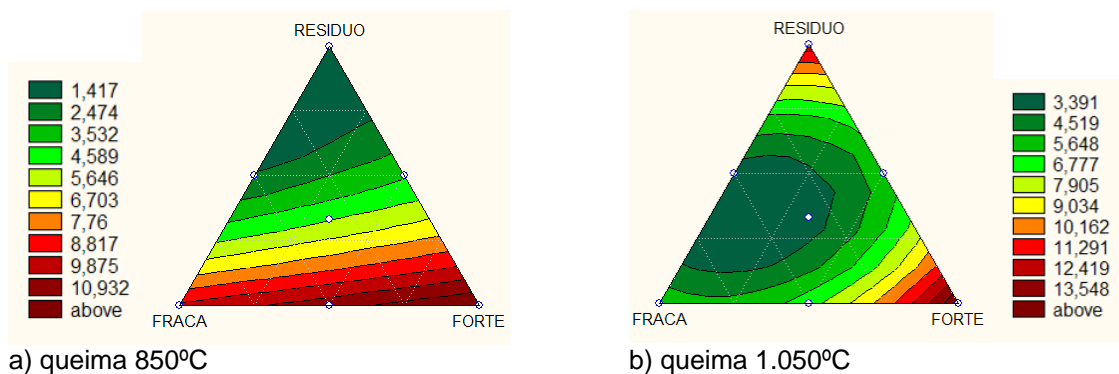


Figura 7. Absorção d'água: melhores superfícies de resposta.

Nas superfícies apresentadas pelas misturas observa-se valores referentes a resistência mecânica das peças, onde variaram na temperatura de queima de 850°C de 1,4MPa a 10,9MPa, quanto maior foi a quantidade de resíduo, menor a resistência, porém nas adições de argilas forte e fraca os valores foram maiores, já a 1.050°C as configurações ficaram alteradas, isso se deve a melhor fase líquida dos materiais utilizados, principalmente do resíduo em altas temperaturas.

4 CONCLUSÃO

Adições do resíduo de granito na mistura, proporcionam estabilidade e redução de custos na extração e produção das peças, agregando valor a um subproduto descartado em muitas vezes inadequadamente no meio ambiente. A metodologia do uso simplex mostrou-se eficiente minimizando erros e tempo de análise, fazendo combinações das misturas através de métodos estatísticos. As superfícies encontradas pelo simplex possibilitaram avaliações precisas e de interpretações consistentes. A umidade das misturas apresentadas pelo simplex é diferenciada pela temperatura de queima, já que quando submetida a 850°C, quanto maior o percentual de resíduo, mais absorção a peça possui, já na queima a 1050°C, a presença do resíduo melhorou as condições da absorção d'água. Em relação à compressão, as misturas apresentadas pelo simplex destacou o aumento da resistência quando com proporções menos elevadas de resíduo para queima a 850°C, porém na queima a 1.050°C apresentou pontos com elevados valores.

Agradecimentos

À Capes e a FAPERJ, pelo apoio financeiro ao pós-doutorado. À UENF juntamente com os Laboratórios de Materiais Avançados e de Engenharia Civil.

REFERÊNCIAS

- 1 FLOSS, M. F.; THOMÉ, A. Adição de resíduo proveniente do corte e polimento de rochas basálticas em materiais de cerâmica vermelha. RECIE, Uberlândia, MG, v. 15, n. 1/2, p. 1-7, jan.-dez. 2006.
- 2 SILVA, S.A.C. Caracterização de Resíduo da Serragem de Blocos de Granito. Estudo Potencial de Aplicação na fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Vitória – ES. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. 159p. 1998.
- 3 C. M. F VIEIRA, T. M. SOARES, S. N. MONTEIRO, Cerâmica n. 49, p 312-245. 2003
- 4 C. M. F. VIEIRA, S. N. MONTEIRO, Tile & Brick International, Freiburg – Alemanha, 18, p. 152-157. 2002

- 5 M. G. FONSECA, G. R. PAULA, , R. A. TEIXEIRA, F. G. MELCHIADES, , A. O. BOSHI, Anais do 43^o Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis, SC. ref.2-443. 1999.
- 6 MOREIRA, J. M. S.; MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha. Revista Cerâmica. Ed. 51, p 180-186. 2005.
- 7 XAVIER, G.C. Resistência, Alterabilidade e Durabilidade de Peças Cerâmicas Vermelhas Incorporadas com Resíduo de Granito. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Campos dos Goytacazes – RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. 2006.
- 8 J. S. REED, Introduction to the Principles of Ceramic Processing, John Wiley & Sons, New York, EUA 1998.
- 9 LUKASIEWICZ, S. J.; REED, J. S. (1978). Character and compaction response of spray-drier agglomerates. Amer. Ceram. Sot. Bull. 57, p. 798-801. Set. 1978.