

INFLUÊNCIA DO TAMANHO DOS GRÃOS NO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE TIJOLOS.

I.L.M.Gonçalves;E.M.,Gripa ; .R.L.Manfro; V.C.Almeida.
Centro de Tecnologia, Escola de Química, Bloco E - Sala 206
Ilha do Fundão – CEP 21949 -900 E-mail: valeria@eq.ufrj.br
Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

A construção civil é hoje uma das indústrias que mais cresce no país. Em contrapartida, seu ritmo de desenvolvimento acelerado traz à tona uma preocupação com o destino e finalidade de seus resíduos. Da mesma forma que na maioria dos processos industriais, a granulometria das matérias-primas é de vital importância no processo de reaproveitamento de resíduos de tijolos e está diretamente relacionada com o comportamento dos materiais nas diferentes fases unitárias. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é, através de uma caracterização utilizando MEV e Difração de Raios X, analisar a influência da granulometria nas propriedades dos corpos de prova obtidos com resíduos de tijolos. Estes foram preparados utilizando três faixas granulométricas distintas e submetidos a ensaios de tensão de ruptura à flexão (TRF). A avaliação da caracterização realizada, juntamente com os resultados obtidos nos ensaios de TRF, aponta para melhora das características físicas à medida que a granulometria diminui.

Palavras-chave: cerâmica, reaproveitamento, tijolo.

INTRODUÇÃO

A indústria de construção civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, entretanto, comporta-se, ainda, como grande geradora de impactos ambientais, tanto pelo consumo de recursos naturais quanto pelo grande volume de resíduos gerados. Dessa forma,

medidas mitigadoras desses impactos são de grande valia mediante ao atual cenário ambiental e às novas legislações.

A qualidade das informações a respeito de técnicas viáveis para a redução desses impactos é de grande ajuda para a busca de melhorias das mesmas. Assim, análises como Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e Difração de Raios X podem auxiliar na busca desses dados.

Da mesma forma que na maioria dos processos industriais, a granulometria das matérias-primas é de vital importância no processo de reaproveitamento de resíduos de tijolos e está diretamente relacionada com o comportamento dos materiais nas diferentes fases unitárias. De acordo com PRADO, a estabilidade dimensional é interferida pela distribuição granulométrica à medida que o formato, tamanho, rugosidade e homogeneização do pó são determinantes para o preenchimento do molde de prensagem.

Segundo MALISKA, o MEV se tornou um instrumento imprescindível nas mais diversas áreas: eletrônica, geologia, ciência e engenharia dos materiais, ciências da vida, etc. Em particular, o desenvolvimento de novos materiais tem exigido um número de informações bastante detalhado das características micro estruturais só possíveis de serem observadas no MEV.

O MEV é um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise de características micro estruturais de objetos sólidos. A principal razão de sua utilidade é a alta resolução que pode ser obtida quando as amostras são observadas; valores da ordem de 2 a 5 nanômetros são geralmente apresentados por instrumentos comerciais, enquanto instrumentos de pesquisa avançada são capazes de alcançar uma resolução melhor que 1nm (NAGATANI et al. 1987).

A difratometria de raios X corresponde a uma das principais técnicas de caracterização estrutural dos materiais cristalinos, com o qual é possível identificar as fases cristalinas presentes nos materiais, e vem encontrando aplicações em diversos campos do conhecimento, mais particularmente na engenharia e ciência dos materiais, engenharias metalúrgica, química e de minas, dentre outros.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é, através de uma caracterização utilizando MEV e DRX, analisar a influência da granulometria nas propriedades dos corpos de prova obtidos com resíduos de tijolos.

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foram utilizadas sobras de tijolos provenientes da construção civil. Tais sobras que se apresentavam em tamanhos variados foram, inicialmente, submetidas a processos de cominuição com a finalidade de reduzir a granulometria, utilizando, para isso, um triturador de rolos e, em seguida, um pulverizador de discos. Em sua caracterização, foram empregadas as técnicas de DRX, Fluorescência de raios X (FRX) e Análise Térmica.

Os corpos de prova foram preparados com as frações de tijolos obtidas no processo de cominuição e separadas por peneiramento. Foram utilizadas três faixas granulométricas distintas, sendo elas as massas retidas nas peneiras de 115, 170 e 270 mesh. O método utilizado para a determinação correta da proporção de tijolo/água foi de tentativa e erro a fim de obter-se uma massa homogênea e levemente úmida que facilitasse a conformação do material. A homogeneização foi realizada manualmente. Para cada faixa granulométrica citada, foram preparados corpos de prova utilizando 20g do resíduo retido para cada corpo.

As massas cerâmicas preparadas foram conformadas através de compactação (prensagem) em uma matriz retangular de aço inox, com medidas de 60 mm de comprimento, 20 mm de largura e 5 mm de espessura sob uma pressão de 200 kgf/cm² conforme aplicado no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), conferindo uma maior estabilidade dimensional à peça cerâmica.

Os corpos de prova recém-preparados foram colocados para secar em estufa à temperatura de 40±5°C por 24 horas, para que ocorresse a perda de umidade e, em seguida, os mesmos foram colocados dentro de um forno elétrico para serem calcinados, na temperatura previamente determinada de 1200°C durante o período de 2 horas. Antes e depois do processo de calcinação, o peso das peças, bem como suas dimensões (largura, comprimento e espessura), foi determinado.

As características mecânicas dos corpos de prova preparados foram determinadas por meio de tensão de ruptura por flexão (TRF), além da avaliação de características complementares como Retração Linear (RL), Absorção de Água (AA), Porosidade Aparente (PA) e Densidade (D). Enquanto que para sua caracterização foram empregadas as técnicas de FRX, DRX e MEV com a finalidade de avaliar a micro textura das matrizes cerâmicas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização mineralógica das sobras de tijolos cominuído.

A Tabela 1 mostra o resultado da análise de FRX das sobras de tijolos após a cominuição.

Tabela 1 – Composição química elementar das sobras de tijolos.

Teores mássicos dos óxidos (%)		Teores mássicos dos óxidos (%)	
SiO ₂	53,4	K ₂ O	1,7
Al ₂ O ₃	34,3	TiO ₂	1,4
Fe ₂ O ₃	8,7	MgO	0,5

Verifica-se um alto valor de sílica, alumina e ferro, característicos das argilas utilizadas na indústria de cerâmica vermelha.

O difratograma obtido a partir da análise por Difração de Raios X pode ser visualizado na Figura 1.

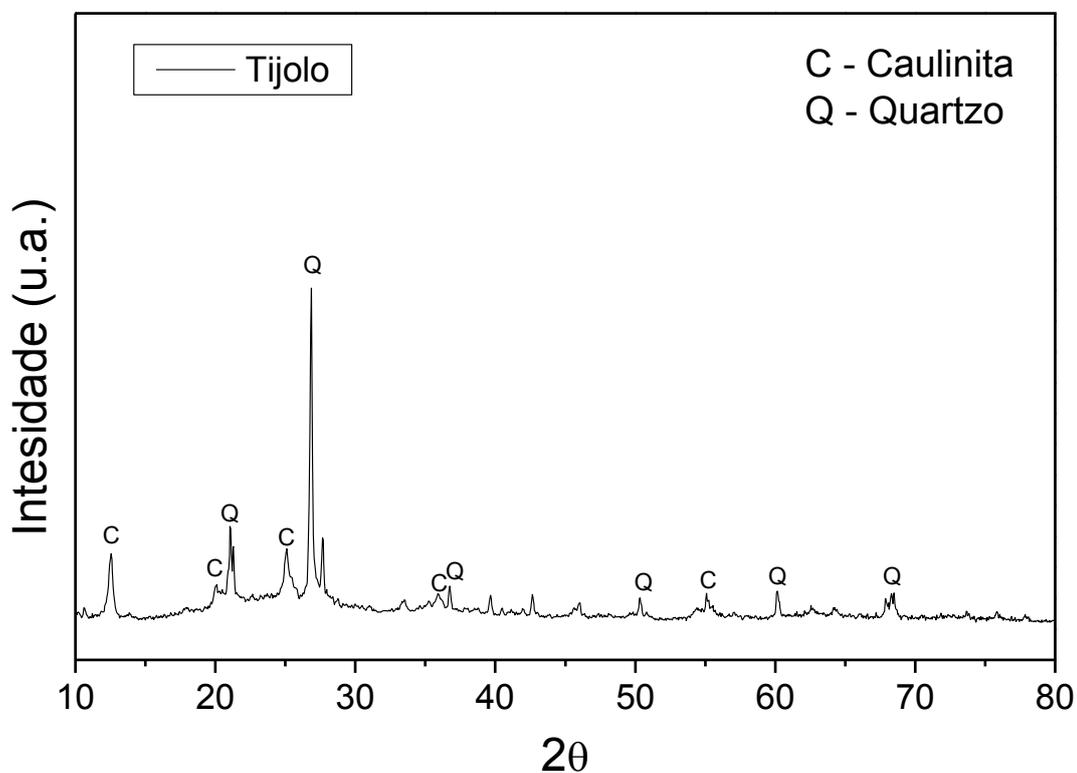


Figura 1 – Difratograma das sobras de tijolo.

A partir da análise de Difração por Raios X, foi possível identificar que os resíduos de blocos cerâmicos são compostos por caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) – JCPDS 29-1488 e quartzo (SiO_2) – JCPDS – 46-1045, minerais característicos das argila empregadas na indústria de cerâmica vermelha.

Foi feita a análise térmica das sobras de tijolo e a condição de realização da mesma envolveu atmosfera de ar e temperatura de aquecimento até 1000°C .

A análise térmica mostrou uma perda de massa total na ordem de 2,3%. Um pico endotérmico ocorreu em torno de 500°C e ele caracteriza a desidroxilação da caulinita, que é um evento endotérmico remanescente da argila natural.

Caracterização mineralógica da massa cerâmica após a queima dos corpos de prova

As propriedades mecânicas dos materiais cerâmicos são muito afetadas pelas propriedades das fases presentes e como essas se encontram orientadas. Muitos autores relacionam o aumento na resistência mecânica do material cerâmico a presença da fase mulita secundária, devido as suas excelentes propriedades físicas e mecânicas, como por exemplo: boa resistência a fratura e baixa densidade [CARTY & SENAPATI, 1998; PARK, 2007].

Uma das transformações de fase de maior interesse nos materiais cerâmicos é transformação da caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) em metacaulinita, e a posterior formação da mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$).

A caulinita sofre desidroxilação com o aumento da temperatura, formando metacaulinita (não cristalina). Segundo Souza Santos, próximo de 950°C , inicia-se a formação de fases cristalinas, o que pode ocorrer de forma brusca, formando um tipo especial de alumina-gama (com estrutura cristalina semelhante a do espinélio ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)). Por volta de 1100°C , esta fase se transforma em mulita e cristobalita. Essa transformação começa a ocorrer acima de 1000°C de forma lenta, podendo não ser completa em pequenos tempos de patamar nesta temperatura. Acima de 1100°C , além da formação de fases cristalinas (cristobalita bem-ordenada), também ocorre a formação de fase líquida, colaborando para o aumento da resistência do material. (TEIXEIRA et al., 2006)

Por meio da análise por DRX e MEV, foi possível identificar algumas transformações físico-químicas que ocorreram durante o processo de queima. As

Figuras 2 a 7 a seguir mostram os resultados dessas análises obtidos para os corpos de prova feitos a partir das granulometrias de 115#, 170# e 270#.

Na análise feita com o corpo de prova preparado com a fração granulométrica de 115# (Figura 2), calcinado a 1200°C, já não se observa mais o pico de caulinita presente no tijolo in natura (Figura 1), pois nesta temperatura já se deu a transformação da caulinita em metacaulinita (amorfa) em razão da temperatura de calcinação (1200°C). Observa-se ainda o aparecimento da mulita, almadina e da cristobalita.

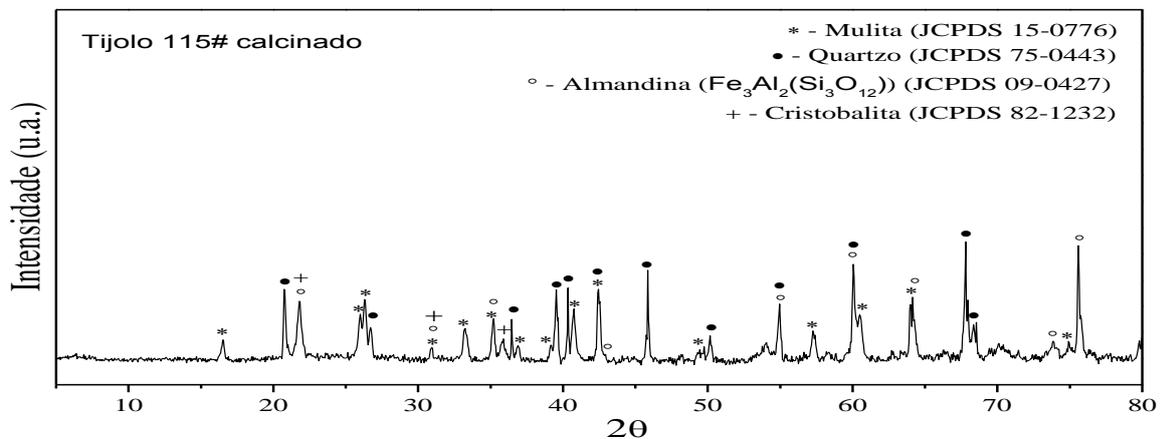


Figura 2 –Difração de Raios X do corpo de prova preparado com a fração retida na malha 115#.

A Figura 3 representa as imagens obtidas por MEV do corpo de prova da fração de 115# complementando as análises de DRX.

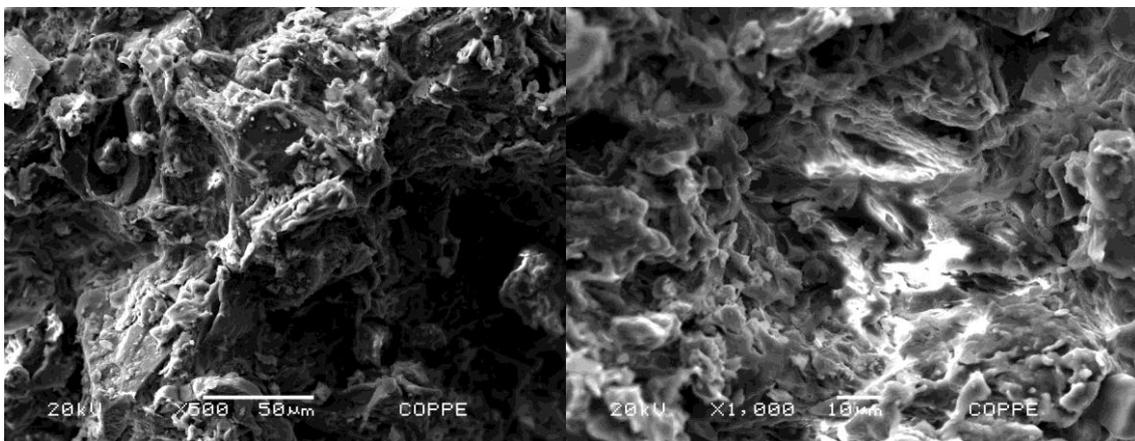


Figura 3 – Fotomicrografia para o corpo preparado com a fração de tijolo retida na malha de 115#.

A fotomicrografia do corpo de prova na granulometria de 115# apresenta uma superfície densa, heterogênea e porosa. Essa porosidade pode ser verificada através dos valores obtidos no ensaio de percentual de absorção de água na Tabela 2. Podem ser observadas as fases mulita primária que aparecem na forma de um agregado de pequenos cristais, mulita secundária, como pequenos cristais com forma de agulhas e a ausência de uma fase vítrea contínua. Nessa granulometria, a formação da quantidade de fase líquida e sua viscosidade não são suficientes para fechar a porosidade aberta.

Para o corpo de prova preparado com a fração retida em 170#, o DRX (Figura 4) mostrou a presença das fases cristalinas mulita e cristobalita.

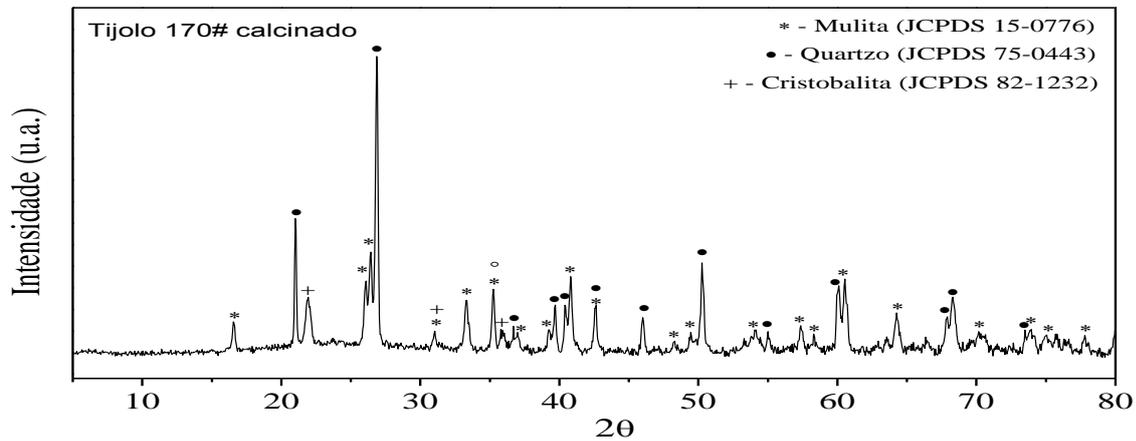


Figura 4 – Difração de Raios X do corpo de prova preparado com a fração retida na malha 170#.

A fotomicrografia desta fração calcinada pode ser vista na Figura 5.

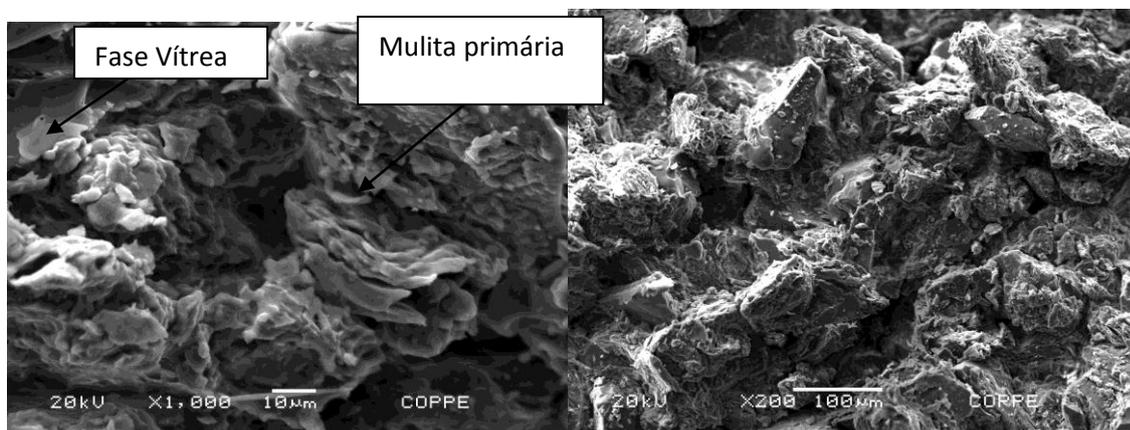


Figura 5– Fotomicrografia para o corpo preparado com a fração de tijolo retida na malha de 170#.

Nessa faixa granulométrica já é possível observar maior formação de fase líquida. A sinterização via fase líquida ainda foi insipiente e insuficiente, pois não foi possível observar uma seqüência contínua da fase líquida.

Já na análise do corpo de prova preparado com a fração retida em 270#, o DR X (Figura 6) mostrou que ocorreram as demais transformações esperadas, em razão da maior área superficial apresentada pelo tamanho do grão.

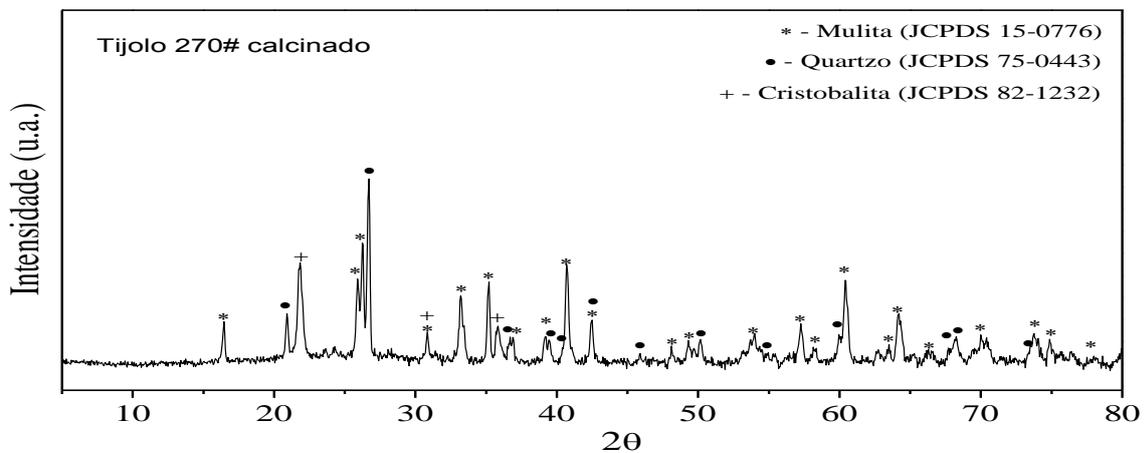


Figura 6 – Difração de Raios X do corpo de prova preparado com a fração retida na malha 270#.

A Figura 7 mostra a fotomicrografia deste mesmo corpo de prova.

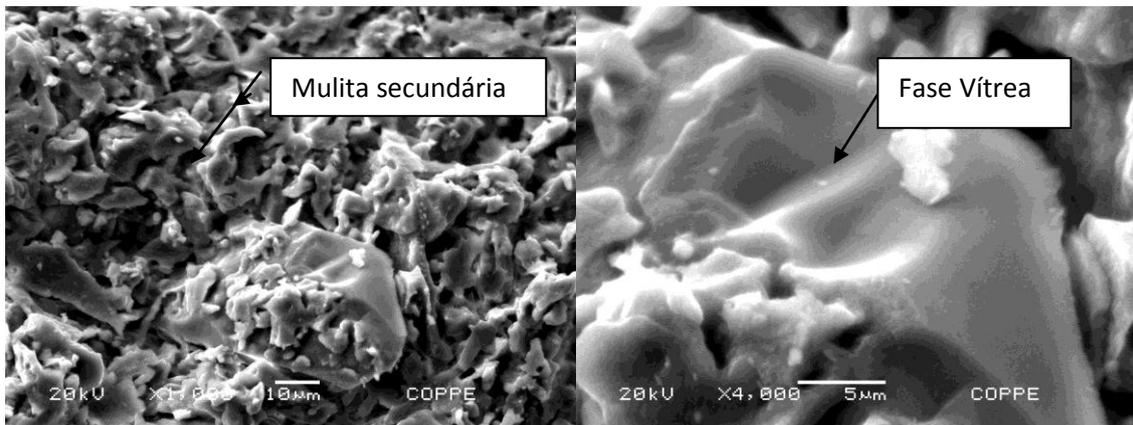


Figura 7 – Fotomicrografia para o corpo preparado com a fração de tijolo retida na malha de 270#.

A fotomicrografia do corpo de prova na granulometria de 270# apresenta uma superfície densa, homogênea e pouco porosa. Exibe uma quantidade de líquido significativa, indicando a vitrificação da amostra. Essa baixa porosidade pode ser verificada através dos valores obtidos no ensaio de percentual de absorção de água, e pelo aumento da densidade na Tabela 2.

Caracterização Física e Mecânica dos corpos de prova cerâmicos

As variações de comportamento no que tange as propriedades físico-mecânicas como Retração Linear (RL), Absorção de Água (AA), Porosidade Aparente (PA), Densidade (D) e Tensão de Ruptura a Flexão (TRF) em função das diferentes granulometrias foram analisadas e os resultados obtidos são mostrados Tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios e desvios-padrão dos testes físicos e mecânicos.

Parâmetros	Granulometrias		
	115#	170#	270#
RL (%)	(2,66 ± 0,13)	(5,42 ± 0,13)	(11,34 ± 0,13)
AA(%)	(24,41 ± 0,71)	(21,65 ± 0,42)	(13,20 ± 0,38)
PA(%)	(38,76 ± 0,88)	(36,44 ± 0,46)	(26,30 ± 0,56)
D	(1,59 ± 0,01)	(1,68 ± 0,001)	(1,99 ± 0,02)
TRF(MPa)	(0,065 ± 0,005)	(1, 088 ± 0,073)	(8,112 ± 0,772)

A Tabela 2 representa os dados obtidos após a queima a 1200°C. Para o parâmetro Retração Linear à medida que o tamanho das partículas diminui, aumenta o seu grau de compactação e, além disso, tem-se um maior grau de vitrificação, como foi mostrado na Figura 7. Seguindo a lógica da Retração Linear, a Absorção de Água diminui com a diminuição do tamanho dos grãos.

Na temperatura de queima ocorrem transformações nas fases cristalinas presentes nos materiais utilizados. À temperatura de 500°C, tem-se o início da transformação da caulinita em metacaulinita (amorfa). A massa cerâmica preparada com partículas menores irá apresentar, além da mudança de fase da caulinita e do quartzo presentes no resíduo do tijolo, uma melhor interação entre os grãos em função do tamanho da partícula. Essa maior interação entre os grãos permite uma maior conformação da peça cerâmica. Os grãos menores permitem menos espaços

entre si, gerando uma peça com menor porosidade e, conseqüentemente, menor absorção de água.

Em relação ao parâmetro porosidade aparente, observa-se que houve uma redução em função da diminuição da granulometria. Já para a densidade dos corpos produzidos observa-se um aumento de densidade de acordo com a diminuição do tamanho das partículas. Isso pode ser explicado pelo aumento da área de contato entre as partículas, favorecendo as reações de sinterização.

Além disso, também se observa a ocorrência do processo de vitrificação, decorrente da transformação do quartzo presente no resíduo do tijolo. Essa reação ocorre quando materiais à base de argilas são aquecidos a elevadas temperaturas, e consiste na formação gradual de um vidro líquido que flui para o interior e preenche parte do volume dos poros. O grau de vitrificação depende da temperatura e do tempo de queima, assim como da composição da massa cerâmica. Essa referida fase vítrea tende a escoar ao redor das partículas que permanecem sem fundir e preenchem os poros como resultado de forças de tensão superficial (ou por ação capilar). A vitrificação começa entre 950°C e 1225°C devido à liberação de cristobalita (SiO₂) que reage com os óxidos metálicos livres, formando vidro. O preenchimento dos poros do material confere a redução da porosidade aparente e o aumento da densidade e, como visto anteriormente, uma maior retração linear.

Observa-se ainda um aumento na TRF à medida que ocorre uma diminuição no tamanho das partículas. Essa elevação nos valores de TRF é justificada pela redução da porosidade aparente citada anteriormente. Os resultados obtidos nesse ensaio corroboram os resultados dos ensaios anteriores e mostram que, quanto menores forem os tamanhos das partículas das sobras de tijolo utilizadas no preparo do novo corpo cerâmico, maior será a resistência à flexão desse corpo.

CONCLUSÃO

Assim como para diversos outros processos industriais, observa-se a forte influência do tamanho da partícula também no processo de reaproveitamento dos resíduos de blocos cerâmicos. A avaliação das propriedades mecânicas das diferentes faixas granulométricas pesquisadas aponta que as massas com partículas de menores tamanhos apresentaram melhores resultados se comparadas às massas com partículas de tamanhos maiores. Verificou-se que a TRF pode aumentar mais de cem vezes à medida que o tamanho dos grãos diminui. Vale

ressaltar que nenhum plastificante foi utilizado no preparo do material, apenas água foi empregada na etapa de confecção dos corpos de prova.

É possível observar, também, a viabilidade de comercialização dessas peças cerâmicas visto que, a partir de granulometrias intermediárias (dentro da faixa testada) do tijolo, é possível obter peças de materiais cerâmicos de qualidade e dentro do previsto nas normas. Isso confere ao material, que hoje é enviado para aterros sanitários, valor de mercado, já que ele pode se apresentar como uma fonte viável de matéria-prima para a produção de materiais cerâmicos alternativos. Além do papel econômico, vale destacar a importância socioambiental de tecnologias como essa que, através de processos simples e economicamente viáveis, oferece alternativas para a mitigação de prejuízos sociais e ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARTY, W. M.; SENAPATI, U., Porcelain-raw materials, processing, phase evolution and mechanical behavior. Journal American Ceramic Society, v. 81, p.3-20, 1998.

MALISKA, A.M. Microscopia eletrônica de varredura - materiais UFSC. www.materiais.ufsc.br/lcmweb-Mev/Mev_apostila

NAGATANI, T.; SAITO, S.; SATO, M.; YAMADA, M. Development of an ultra high resolution scanning electron microscope by means of a field emission source and in-lens system. Scanning Microscopy. v.11, 901-909, 1987.

PARK, Y. M. *et. al.* Mullite whiskers derived from coal fly ash. Materials Science and Engineering, v. 454-455, p 518-522, 2007.

C. A. PRADO, A. ZANARDO, A. P. M. MENEGAZZO, M. M. T. Moreno, Influência da distribuição granulométrica na estabilidade dimensional de placas cerâmicas de base vermelha, Cerâmica 54 (2008) 466-471.

SOUZA SANTOS, P. Ciência e Tecnologia de Argilas. v. II – Edgard Blucher, São Paulo, 1992.

INFLUENCE OF PARTICLE SIZE IN BRICK'S WASTE REUSE.

ABSTRACT

Construction Industry is the one that increases the most in Brazil, nowadays. On the other hand, this high development speed brings a concern with the destination of its leftovers. As it happens in most industrial processes, feedstock's particles size is very important in reuse processes of brick waste and it is directly

related with formed materials' behavior. In this context, the main purpose is to evaluate the influence of particle size in physical properties of specimen made of bricks' waste through a characterization using Scanning Electronic Microscopy and X-Ray Diffraction. The specimen were made from three different selections of comminuted bricks' particle size and then submitted to Flexural Strength tests. The results show that the material's physical properties improve as the feedstock's particle size decreases.

Key-words: ceramic, reuse, brick.