

### **III-076 - AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA NO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE BLOCOS CERÂMICOS**

**Valeria Castro de Almeida** <sup>(1)</sup>

Profa. Associada do Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Claudinei de Souza Guimarães**

Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia Bioquímica da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Israel Lima Monte Gonçalves**

Graduando do curso de Química Industrial da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Everton Gripa Marques**

Graduando do curso de Engenharia Química da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Av Horácio Macedo 2030 Bloco E sala 206 Centro de Tecnologia- Ilha do Fundão-Rio de Janeiro-RJ – CEP 21941-909-Brasil – Tel: (21) 25627595 – e-mail: valeria@eq.ufrj.br

#### **RESUMO**

A construção civil é hoje uma das indústrias que mais cresce no país. Em 2011, apresentou crescimento de 3,6%, superior ao PIB (2,7%). Como consequência, a indústria de revestimentos cerâmicos passa a ter papel fundamental no desenvolvimento do setor, acarretando, então, em um aumento de sua capacidade produtiva. Em contrapartida, este ritmo de desenvolvimento acelerado traz à tona uma preocupação com o destino e finalidade de seus resíduos. O descarte inapropriado desse material residual atinge a sociedade de maneira danosa sob a forma de custos com a remoção e tratamento dos mesmos. Uma alternativa a esse entrave seria minimizar a geração de entulho destinado aos locais de despejo desses materiais. Sendo assim, torna-se fundamental a criação de técnicas que tenham como finalidade a reutilização dos resíduos da construção civil (RCC's). Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar a influência da granulometria nas características físicas de corpos cerâmicos fabricados a partir do reaproveitamento dos resíduos de tijolos vermelhos provenientes da indústria de construção civil. Para isso, destaca-se a caracterização físico-química das matérias-primas utilizadas, além da avaliação das propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova cerâmicos obtidos utilizando esses resíduos. Os estudos experimentais foram voltados para a determinação das propriedades físicas e mecânicas e a caracterização dos corpos de prova foi realizada pelas técnicas de difração de Raios X e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

**PALAVRAS-CHAVE:** Granulometria, blocos cerâmicos, reaproveitamento.

#### **INTRODUÇÃO**

Muito embora a indústria da construção civil seja, atualmente, um dos setores com maiores taxas de crescimento, ela ainda não conseguiu solucionar, na mesma velocidade, seus problemas de desperdícios e resíduos gerados. Estima-se que o setor seja responsável por 40% dos resíduos gerados pela economia como um todo, 75% dos resíduos sólidos produzidos, consumir 2/3 da madeira natural extraída, 20% a 50% do consumo dos recursos naturais totais extraídos do planeta (PIOVEZAN JUNIOR; SILVA, 2007). Chega-se a afirmar que, com a quantidade de materiais e mão de obra desperdiçados em três obras, seja possível a construção de outra idêntica, ou seja, o índice de desperdício atingiria valores de 33% (GROHMANN, 1998). Apesar dos progressos oriundos dos investimentos feitos nos últimos anos, o setor da Construção Civil ainda possui índices elevados relacionados a desperdícios.

Segundo a ANICER ([www.anicer.com.br](http://www.anicer.com.br)), existem aproximadamente 6.903 empresas de cerâmica e olaria no Brasil. Desse número, 4.346 produzem blocos e tijolos, correspondendo a uma produção de 4.000.000.000 de peças por mês, o que acarreta em um consumo mensal de 7.800.000 toneladas de matéria-prima (argila). À indústria de cerâmica vermelha atribui-se uma fatia de 4,8% de toda indústria de construção civil.

Com índices de desperdícios alarmantes e volumes de produção tão expressivos, a necessidade de serem encontradas técnicas mitigadoras das consequências dessas perdas torna-se cada vez maior. Dentre as

principais causas para o desaproveitamento de blocos cerâmicos, destacam-se: a utilização de equipamentos de transporte interno inadequado (carrinhos de mão), que permitem o tombo e, conseqüentemente, a quebra de um número elevado de unidades; a falta de controle da quantidade recebida; a altura exagerada das pilhas de armazenamento, que por vezes superam três metros, acarretando no esmagamento das peças, além de possíveis quedas.

Também é comum as olarias jogarem fora até 3% de toda sua produção, percentual este composto por peças quebradas ou que apresentaram alguma imperfeição. Esses resíduos gerados, na maioria das vezes, são enviados para aterros sanitários. Entretanto, com o grande potencial que esse material apresenta de ser reutilizado para a confecção de novas peças, essa atitude implica em perdas financeiras, prejuízos ambientais injustificáveis, bem como no elevado risco futuro de carência de matérias-primas.

As argilas durante o processo de queima perdem a plasticidade dificultando o reaproveitamento desses rejeitos, principalmente na etapa de processamento de conformação dos corpos cerâmicos.

A granulometria das matérias-primas ocupa posição de destaque na maioria dos processos industriais, inclusive no preparo de cerâmicas, e está diretamente relacionada com o comportamento dos materiais nas diferentes fases unitárias. Segundo BARBA, existem quatro parâmetros principais que influenciam nas características de um corpo cerâmico para revestimento: composição da massa; distribuição granulométrica e formato das partículas; grau de compactação antes da queima, denominado compacidade; e condições de queima. Dentre as características influenciadas por estes fatores, encontra-se a estabilidade dimensional.

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.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência da granulometria nas características físicas de corpos cerâmicos fabricados a partir do reaproveitamento dos resíduos de tijolos vermelhos provenientes da indústria de construção civil.

## **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 aos 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 Fluorescência de Raios X, Difração de Raios X, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 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 cinco faixas granulométricas distintas, sendo elas: a massa retida na peneira de 115, 170, 200, 250 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.

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/cm<sup>2</sup> 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 físico-mecânicas dos corpos de prova preparados foram determinadas por meios de ensaios de retração linear, absorção de água, densidade, porosidade aparente e tensão de ruptura por flexão (TRF).

Enquanto que para sua caracterização foram empregadas as técnicas de Difração de Raios X e Microscopia Eletrônica de Varredura com a finalidade de avaliar a micro textura das matrizes cerâmicas.

## RESULTADOS OBTIDOS

### Caracterização mineralógica das sobras de tijolos cominuído.

A caracterização mineralógica foi realizada empregando as técnicas de Fluorescência de raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX), Análise Térmica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

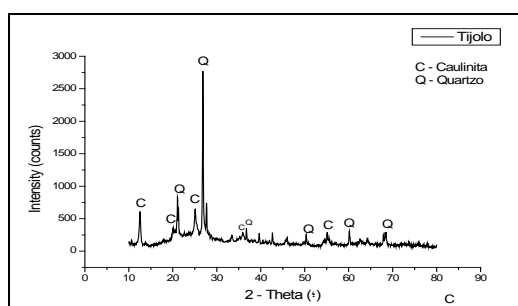
A Tabela 1 mostra o resultado da análise de Fluorescência de Raios X das sobras de tijolos após a cominuição.

**Tabela 1 – Composição química elementar das sobras de tijolos.**

Componente	% (massa)	Componente	% (massa)
SiO <sub>2</sub>	53,43	K <sub>2</sub> O	1,646
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,33	TiO <sub>2</sub>	1,383
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,668	MgO	0,539

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

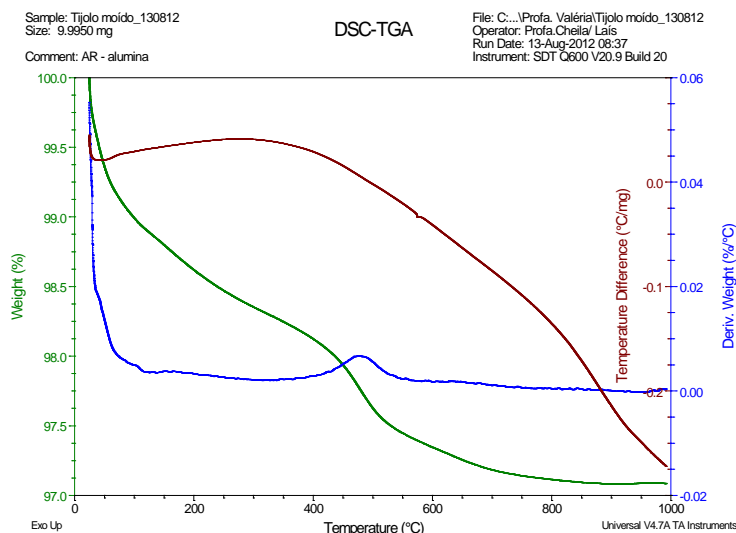
O difratograma obtido a partir da análise por Difração de Raios X pode ser visualizado na Figura 1.



**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 (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) – JCPDS 29-1488 e quartzo (SiO<sub>2</sub>) – JCPDS – 46-1045, característicos dos minerais argilosos empregados na indústria de cerâmica vermelha.

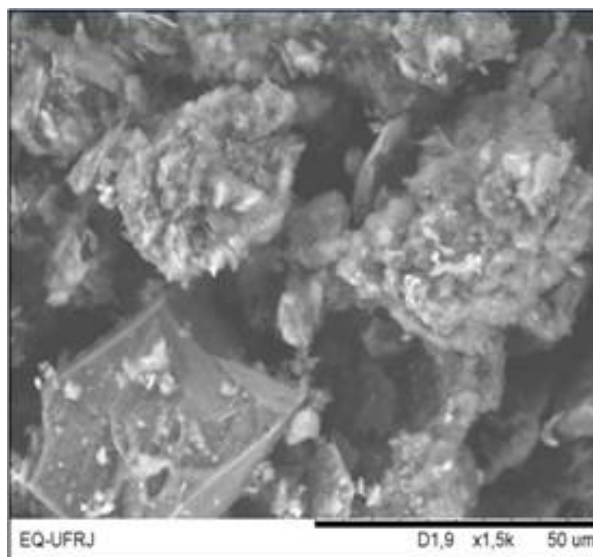
As condições para realização da análise térmica das sobras de tijolo envolveram atmosfera de ar e temperatura de aquecimento de 1000°C. Na Figura 2, verifica-se o resultado obtido.



**Figura 2 – Análise termica das sobras de tijolos cominuídos.**

A análise térmica realizada para as sobras de tijolo exibe uma perda de massa total na ordem de 2,3% até 1000 °C. O pico endotérmico que ocorre em torno de 500°C caracteriza a desidroxilação da caulinita que é um evento endotérmico remanescente da argila natural.

A análise microestrutural das sobras de tijolos está ilustrada na Figura 3.



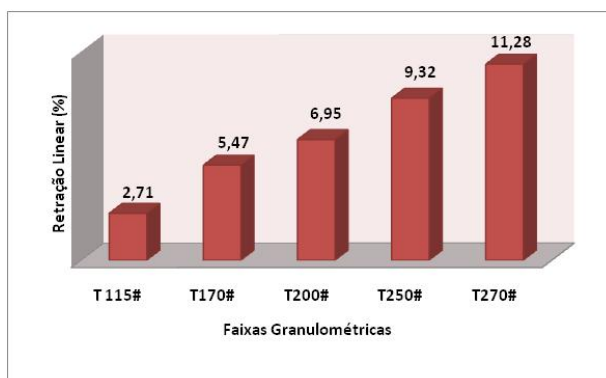
**Figura 3: Fotomicrografia dos resíduos de tijolos – 1500x.**

De acordo com a Figura 3, pode-se observar que a massa cerâmica possui características de um material denso, heterogêneo e de formato irregular.

### **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 nas figuras a seguir:

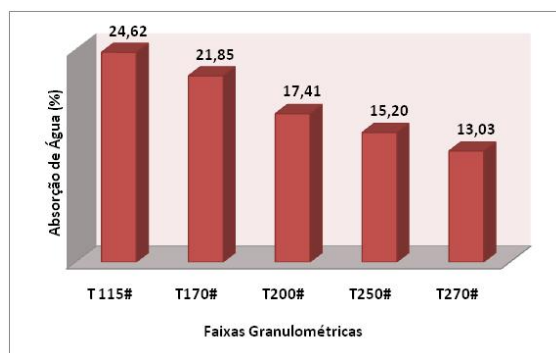
A Figura 4 apresenta a variação da retração linear dos corpos de prova preparados a partir de sobras de tijolo em diferentes granulometrias.



**Figura4 - Retração linear.**

A partir dos dados obtidos após a queima a 1200°C, pode-se observar na Figura 4 uma variação dos valores de retração linear em função da granulometria das sobras do tijolo utilizado no preparo dos corpos de prova. À medida que o tamanho das partículas diminui, aumenta o seu grau de compactação e, consequentemente, a dificuldade de eliminação da água livre durante o processo de perda de umidade. Com isso, o gradiente de umidade no interior do produto aumenta, elevando assim, a quantidade de água eliminada durante a calcinação, o que provoca a elevação da retração linear observada no gráfico.

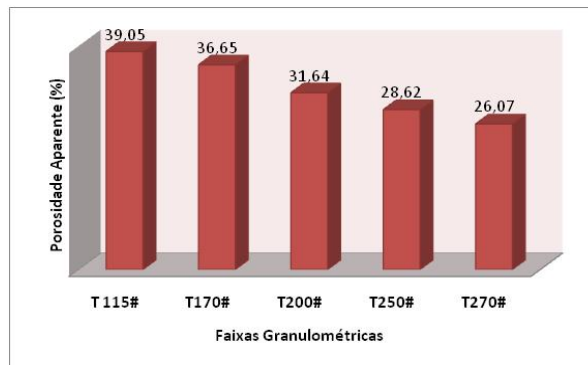
Seguindo a lógica da retração linear, a absorção de água diminui com a diminuição do tamanho dos grãos, como mostra a Figura 5.



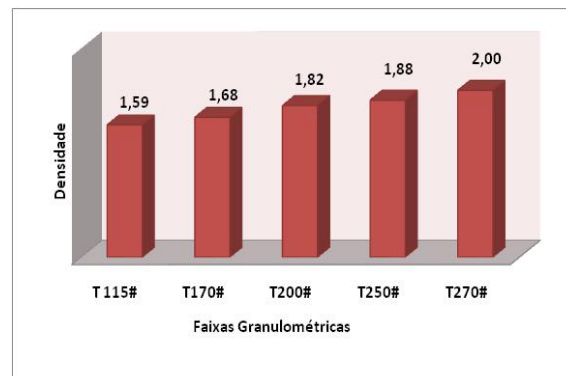
**Figura 5 – Absorção de água.**

Na temperatura de queima ocorrem transformações nas fases cristalinas presente 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 presente 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, consequentemente, menor absorção de água.

Os gráficos das Figuras 6 e 7 apresentam a variação da porosidade aparente e da densidade em função da granulometria.



**Figura 6 - Porosidade Aparente.**

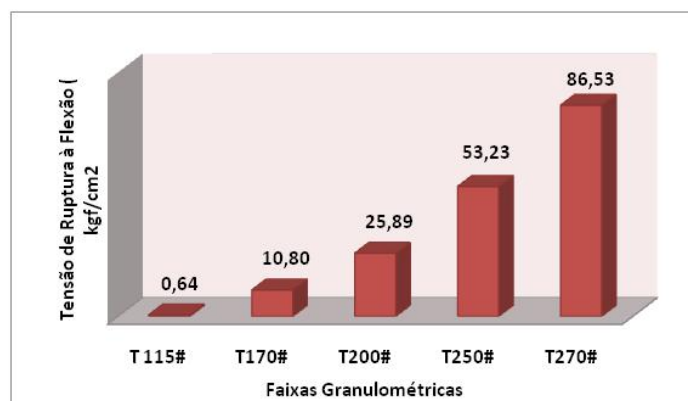


**Figura 7 – Densidade.**

Na Figura 6, é possível verificar que houve uma redução da porosidade aparente, enquanto que na figura 7 é possível observar um aumento da 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 consistem 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 ( $\text{SiO}_2$ ) 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.

Na Figura 8, observa-se um aumento na TRF à medida que ocorre uma diminuição no tamanho das partículas.

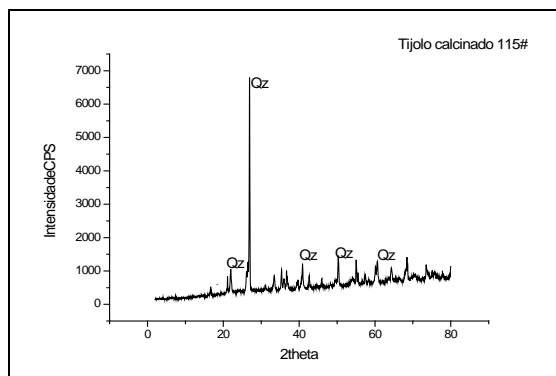


**Figura 8 – Tensão de Ruptura por Flexão.**

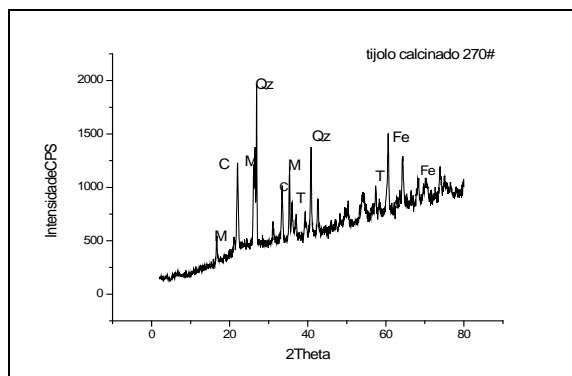
Essa elevação nos valores de TRF é justificada pela redução da porosidade aparente citada anteriormente. Os resultados obtidos nesse ensaio corroboram os resultados dos ensaios anteriores e mostram que, quanto menores forem os tamanhos das partículas das sobras de tijolo utilizadas no preparo do novo corpo cerâmico, maior será a resistência a flexão desse corpo.

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

Por meio da análise por Difração de Raios X foi possível identificar algumas transformações físico-químicas que ocorreram durante o processo de queima. As Figuras 9 e 10 mostram os resultados dessa análise obtidos para os corpos de prova feitos a partir das granulometrias de 115# e 270#, os corpos de prova com a pior e a melhor qualidade, respectivamente, de acordo com os parâmetros avaliados acima.



**Figura 9 - Difratograma do corpo de prova na granulometria de 115#.**



**Figura 10 - Difratograma do corpo de prova na granulometria de 270#.**

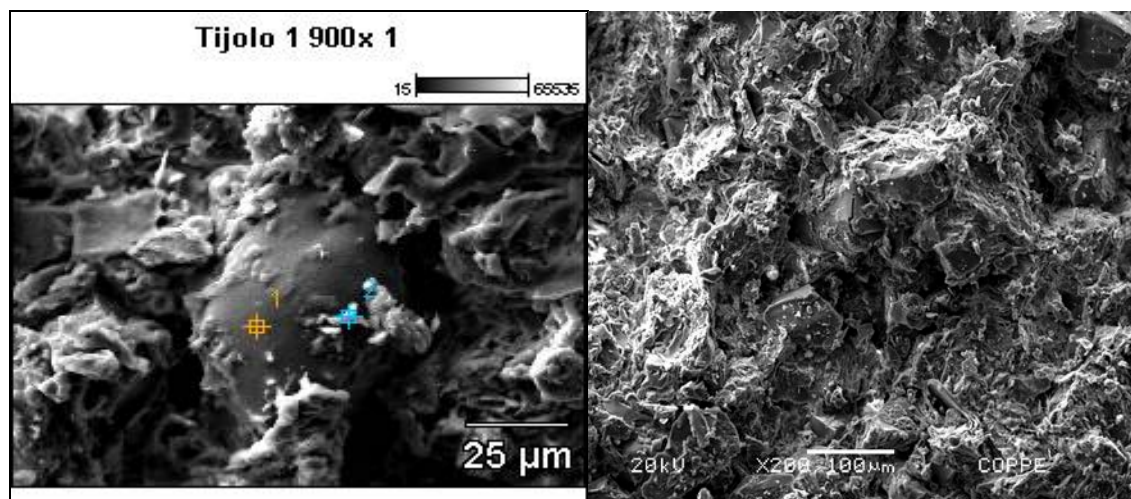
Pelos difratogramas é possível observar, para o corpo de prova preparado na granulometria de 115#, a presença do pico de quartzo (JCPDS- 46-1045). Para o corpo de prova preparado na granulometria de 270#, observa-se a presença dos outros picos expressivos; mulita (JCPDS- 15-0776), cristobalita (JCPDS39-1425), óxido de ferro (JCPDS-21-0920), além do quartzo (JCPDS- 46-1045).

Na análise de Difração por Raios X feita com a sobra do tijolo in natura (Figura 1) ainda era possível observar a presença da caulinita remanescente da argila natural. Na análise feita com o corpo de prova preparado com a fração granulométrica de 115# (Figura 9), calcinado a 1200°C, já não se observa mais o pico de caulinita, pois nesta temperatura já se deu a transformação da caulinita em metacaulinita (amorfa) em função da temperatura de calcinação. Já na análise do corpo de prova preparado com a fração retida em 270# (Figura 10), também calcinado a 1200°C, ocorreram as demais transformações esperadas, em razão da maior área superficial apresentada pela superfície do grão. As mudanças de fases ocorridas entre essas três etapas explicam o aumento da TRF nesses corpos, como pode ser observado na Figura 8.

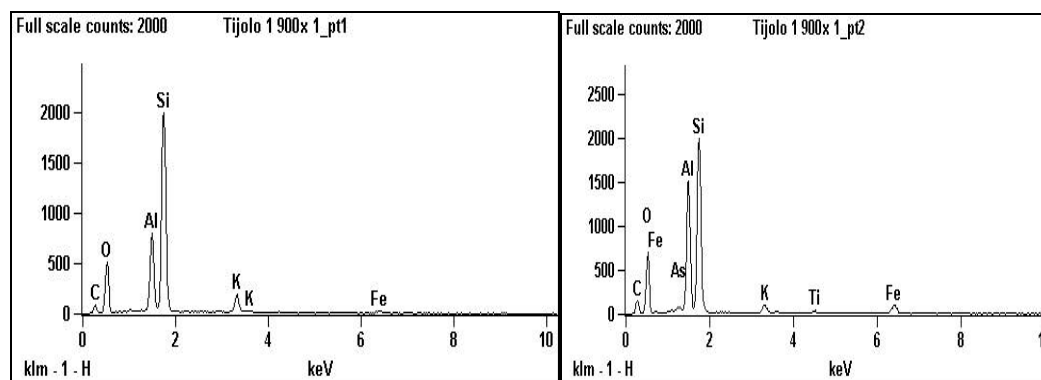


As análises micro estruturais foram realizadas com o objetivo de corroborar os resultados obtidos nos ensaios físicos e mecânicos. O critério adotado para a escolha da peça cerâmica produzida a ser submetida ao MEV foi a avaliação de desempenho mecânicos. Foi selecionada a amostra que apresentou a menor TRF (granulometria do tijolo de 115#) e a maior (granulometria do tijolo de 270#).

A Figura 11 apresenta a fotomicrografia e a Figura 12, a análise por EDS para o corpo de prova preparado com a fração retida na malha de 115#.



**Figura 11 – Fotomicrografia para o corpo preparado com a fração de tijolo retida na malha de 115#.**



**Figura 12 - Análise por EDS 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 no gráfico da Figura 5. A análise por EDS indica a presença de alumina, sílica e ferro. O percentual correspondente a cada componente pode ser observado na Tabela 2.

**Tabela 2 - Análise semi-quantitativa (% peso) por EDS do corpo preparado com a fração de tijolo retida na malha de 115# após a queima a 1200°C.**

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>As</i>
<i>Tijolo 1 900x 1_pt1</i>	28.27	39.48	7.26	21.07	2.97		0.95	
<i>Tijolo 1 900x 1_pt2</i>	34.63	36.11	9.96	14.54	1.10	0.36	3.08	0.22

A Figura 13 apresenta a fotomicrografia e a Figura 14, a análise por EDS para o corpo de prova preparado com a fração retida na malha de 270#.



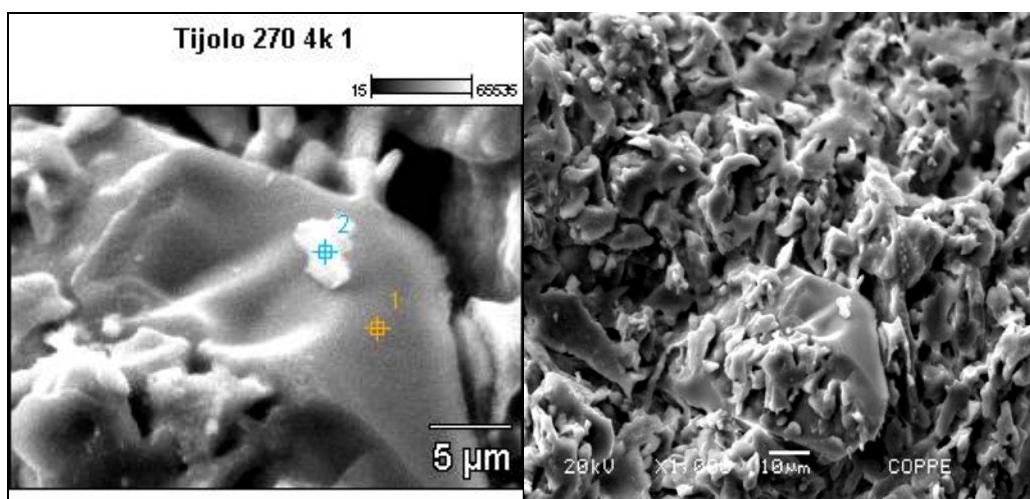


Figura 13 – Fotomicrografia para o corpo preparado com a fração de tijolo retida na malha de 270#.

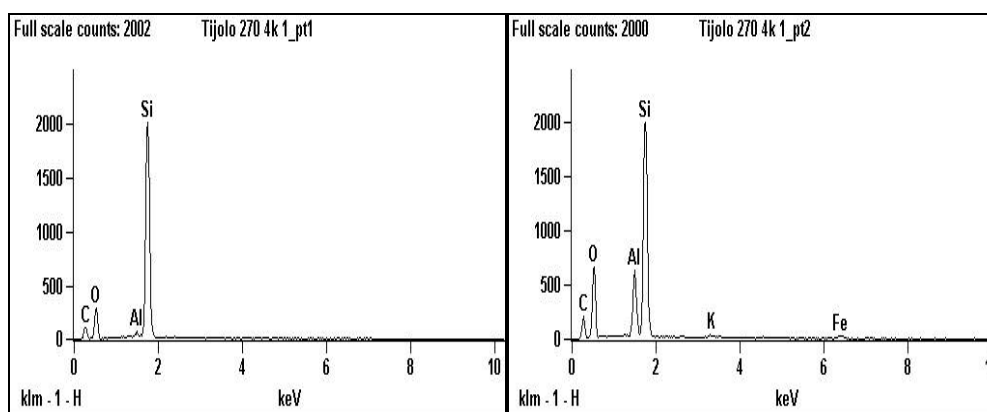


Figura 14 - Análise por EDS para o corpo preparado com a fração de tijolo retida na malha de 270#.

A Fotomicrografia do corpo de prova na granulometria de 270# apresenta uma superfície densa, homogênea e pouco porosa. Essa baixa porosidade pode ser verificada através dos valores obtidos no ensaio de percentual de absorção de água, no gráfico da Figura 5 e pelo aumento da densidade, no gráfico da Figura 7. A análise por EDS indica a presença expressiva de sílica. O percentual correspondente a cada componente pode ser observado na Tabela 3.

**Tabela 3 - Análise semi-quantitativa (% peso) por EDS do corpo preparado com a fração de tijolo retida na malha de 270# após a queima a 1200°C.**

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Fe</i>
<i>Tijolo 270 4k 1_pt1</i>	42.74	32.37	0.36	24.53		
<i>Tijolo 270 4k 1_pt2</i>	39.22	39.79	4.15	15.37	0.38	1.09

## CONCLUSÃO

Assim como para diversos outros processos industriais, podemos observar a forte influência da granulometria também no processo de reaproveitamento dos resíduos de blocos cerâmicos. A avaliação das propriedades físicas e 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. 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

1. GROHMANN, M. Z. Redução do desperdício na construção civil: levantamento das medidas utilizadas pelas empresas em Santa Maria. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 1998, Niterói. Anais do XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 1998.
2. PIOVEZAN JUNIOR, G. T. A.; SILVA, C. E. Investigação dos resíduos da construção civil (RCC) gerados no município de Santa Maria-RS: um passo importante para a gestão sustentável. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte. Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. , 2007. v.1. p.1 – 8.
3. ORTOS, M. J. ; CAMPOS, B. ; PICÓ, M.; GOZALBO, A. (1993) – **Métodos de análises granulométrico**. Aplicación al control de la granulometría de materias-primas (I). Técnica Cerámica, nº 210, pp. 19-23, 1993.
4. BARBA, A. BELTRÁN V., FELÍU C., GARCIA J., GINÉS F., SÁNCHEZ E., SANZ V., **Materias-primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas**, 2ª Ed., Instituto de Tecnología Cerámica - ITC/AICE - Castañeda, Castellón, Espanha (2002) 292p.
5. 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.
6. CALLISTER, W.D. **Ciência e Engenharia de materiais – uma introdução**. Editora LTC, RJ, 2007.