

## DESENVOLVIMENTO DE NOVOS MATERIAIS CERÂMICOS A PARTIR DE RESÍDUO DE SERPENTINITO E ARGILA VERMELHA

P. Presotto<sup>1</sup>, V. Mymrine<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná

<sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rua Euclides Bandeira, 500, Centro Cívico, Curitiba – PR, 80530-020.

\*e-mail: petula.presotto@gmail.com

*O objetivo deste trabalho é desenvolver novos materiais cerâmicos a partir de resíduo de serpentinito, resíduo de vidro e argila Taguá. As matérias-primas utilizadas foram caracterizadas através de análise química, mineralógica, granulométrica e morfológica. Foram desenvolvidas seis formulações a base de serpentinito e argila Taguá, o qual três das seis composições foram ajustadas com adição de vidro residual. As massas cerâmicas foram conformadas por prensagem uniaxial e submetidos à queima em forno elétrico nas temperaturas de 1100°C, 1200°C, 1250°C e 1300°C. Os corpos cerâmicos assim obtidos foram caracterizados segundo suas propriedades físicas (massa específica aparente e retração linear) e mecânicas (resistência à flexão a três pontos). As propriedades finais variaram de acordo com as proporções das matérias-primas utilizadas e temperatura de queima. Em geral, as diferentes formulações se enquadram a normas para produtos cerâmicos tradicionais, como telhas e blocos cerâmicos.*

Palavras-chave: serpentinito, vidro, argila, resíduo, cerâmica.

### 1. INTRODUÇÃO

Os resíduos industriais e urbanos vêm se tornando um dos mais sérios problemas que a sociedade moderna enfrenta. Sua deposição de forma inadequada

provoca a degradação do meio ambiente e a contaminação dos mananciais de água e do solo <sup>(1)</sup>.

No modelo de produção atual, os resíduos sempre são gerados, tanto para bens de consumo duráveis (edifícios e estradas) como não-duráveis (embalagens). Neste processo, a produção utiliza, em grande escala, matérias-primas não-renováveis. Este modelo, até então, não apresentava problemas, devido à abundância de matérias-primas naturais e a menor quantidade de pessoas incorporadas à sociedade de consumo <sup>(2) (3)</sup>.

Com a intensa industrialização, o surgimento de novas tecnologias, crescimento populacional e o aumento de pessoas em centros urbanos e a diversificação do consumo de bens e serviços, os resíduos se transformaram em graves problemas urbanos com um gerenciamento oneroso e complexo. A escassez de área de deposição de resíduos causada pela ocupação e valorização de áreas urbanas, os altos custos sociais no gerenciamento de resíduos, os problemas de saneamento público e contaminação ambiental são alguns destes problemas <sup>(2) (4) (5)</sup>.

Um das formas de solução para os problemas citados é a reciclagem de resíduos, essencial para o desenvolvimento sustentável de qualquer país, uma vez que a geração desses é inevitável. As vantagens potenciais da reciclagem para a sociedade são: a preservação de recursos naturais, a economia de energia, a geração de empregos, a redução da poluição, o volume de aterros, entre outros <sup>(2)</sup>.

A indústria cerâmica é uma das que mais se destacam na reciclagem de resíduos industriais e urbanos, em virtude de possuir elevado volume de produção que possibilita o consumo de grandes quantidades de rejeitos e que, aliado às características físico-químicas das matérias-primas cerâmicas e às particularidades do processamento cerâmico, faz da indústria cerâmica como uma das grandes opções para a reciclagem de resíduos sólidos <sup>(1)</sup>.

O aproveitamento de resíduos provenientes de diferentes processos industriais motivou o desenvolvimento de um trabalho que avalie a possibilidade de obter um novo produto cerâmico com características próprias, semelhante aos que são confeccionados pelas indústrias cerâmicas que trabalham com argila pura, obtido através da incorporação de resíduos provenientes da indústria extrativa de serpentinito e de resíduo de vidro em argila vermelha proveniente da região metropolitana de Curitiba.

## 2. MATERIAIS E METÓDOS

No presente estudo, foram utilizadas as seguintes matérias-primas:

- Resíduo da mineração de serpentinito, concedida de uma empresa localizada na cidade de Curitiba.
- Argila ílitica, denominada argila Taguá, coletada nas jazidas de Campo de Tenente, próximo à Região Metropolitana de Curitiba.
- Resíduo de vidro, procedente de uma empresa localizada na cidade de Londrina.

No desenvolvimento deste trabalho, adotou-se a seguinte seqüência na obtenção dos corpos cerâmicos: preparação e caracterização das matérias-primas, formulação das massas cerâmicas, conformação de corpos-de-prova, secagem e queima a diferentes temperaturas. Os corpos cerâmicos foram caracterizados quanto às suas propriedades físicas e mecânicas.

A argila Taguá foi coletada das jazidas de Campo de Tenente (PR) em forma de lâminas sobrepostas (folhelhos). Essa argila foi seca à temperatura ambiente durante 7 dias e, passado este tempo, submetida à estufa (100°C) durante 24 horas. Após a secagem, os torrões foram desagregados, pulverizados em moinho de bolas de bancada (TECNAL) e submetidos à peneira com abertura de 0,250 mm (60 mesh).

O resíduo de vidro de corte foi seco em estufa a 100°C durante 24 horas e processado em moinho de bolas de bancada (TECNAL) até que todo material não ficasse retido em peneira de 0,250 mm (60 MESH) de abertura.

O resíduo de serpentinito foi fornecido pela empresa em forma de pó. Portanto, para homogeneizar o tamanho das partículas das matérias-primas, ele foi passado em peneiras granulométricas de 0,250 mm (60 MESH) de abertura.

As matérias-primas pulverizadas foram identificadas e acondicionadas individualmente em recipiente fechado.

As matérias-primas utilizadas foram caracterizadas através de análise química por fluorescência de raios X (equipamento Philips/Panalytical, modelo PW 2400), análise granulométrica por espalhamento laser (equipamento CILAS, modelo 1064 LD), análise microestrutural por microscopia eletrônica de varredura (equipamento JEOL, modelo JSM 6360 LV) e análise de fases cristalinas por difração de raios X (equipamento Philips, modelo PW-1830).

Foram preparadas seis misturas com os materiais e proporções apresentados na Tabela 1. As nomenclaturas das cerâmicas correspondem às misturas das quais foram originados, como por exemplo, Cerâmica 1 corresponde a Mistura 1.

Tabela 1 – Composições investigadas.

Composição	Resíduo de serpentinito (%)	Argila Taguá (%)	Resíduo de vidro (%)
Mistura 1	70	30	-
Mistura 2	60	40	-
Mistura 3	50	50	-
Mistura 4	65	30	5
Mistura 5	55	40	5
Mistura 6	45	50	5

As matérias-primas pulverizadas e secas foram pesadas em balança analítica analógica, conforme as proporções sugeridas na Tabela 1; e em gral de porcelana foram homogeneizadas. Em seguida, uma quantidade controlada de água foi adicionada às misturas cerâmicas secas como meio de ligação entre as partículas, o que tornou a massa cerâmica plástica, permitindo operações de processamento como moldagem.

Os corpos-de-prova das misturas uniformemente umedecidas e homogeneizadas foram confeccionados em molde de aço e compactados uniaxialmente em uma prensa hidráulica manual com capacidade de força máxima de 30 toneladas. A pressão de compactação utilizada foi de 5 MPa, obtendo-se corpos-de-prova retangulares de 20 g, com 60 mm de comprimento, 20 mm de largura e 5 mm  $\pm$  0,1 mm de espessura.

Os corpos-de-prova compactados foram secos em estufa a 100°C durante 24 horas, de forma a eliminar a umidade restante da conformação. Após secagem, os corpos-de-prova foram submetidos à queima em alto forno nas temperaturas de 1100°C, 1200°C, 1250°C e 1300°C. Para cada temperatura foram utilizados 5 corpos-de-prova de cada formulação investigada.

Os corpos cerâmicos assim obtidos foram caracterizados segundo suas propriedades físicas (massa específica aparente e retração linear) e mecânicas

(resistência à flexão a três pontos), a fim de avaliar o seu potencial de emprego como produto cerâmico estrutural.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Na análise química, obtida por fluorescência de raios X (FRX), foi identificada a composição química do resíduo da mineração de serpentinito, da argila Taguá e do resíduo de vidro, em % peso, como mostra a Tabela 2.

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

Óxidos	Resíduo de serpentinito	Argila Taguá	Resíduo de vidro
SiO <sub>2</sub>	45,7	64,28	75,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3	17,01	0,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,5	6,82	0,77
K <sub>2</sub> O	0,1	2,96	0,33
MgO	31,6	0,97	3,15
TiO <sub>2</sub>	< 0,1	0,97	0,06
Na <sub>2</sub> O	-	0,25	10,69
CaO	0,3	0,19	8,30
MnO	0,1	0,10	0,03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4	-	-
NiO	0,4	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 0,1	0,07	0,23
P.F	12,30	6,58	0,34

O resíduo de serpentinito apresentou como seus principais constituintes o SiO<sub>2</sub>, MgO e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Os demais componentes não ultrapassaram a somatória de 2,5%.

A composição química da argila Taguá revelou que o elemento com maior concentração é o SiO<sub>2</sub>, seguido pelo Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>O, que juntos correspondem a mais de 90% em toda a análise. Os elevados teores de SiO<sub>2</sub> e óxidos alcalinos, sobretudo K<sub>2</sub>O, estão associados ao caráter íltico deste material. A presença de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> justifica a coloração avermelhada do material.

Como esperado, a análise química do vidro residual revelou o  $\text{SiO}_2$  como componente majoritário. Também foram identificadas quantidades significativas de  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$  e um menor teor de  $\text{MgO}$ , além de outros óxidos com valores inferiores a 1% cada.

Quanto à perda ao fogo (PF), o resíduo de serpentinito apresentou o maior valor - 12,30%, em seguida a argila - 6,58% e o resíduo de vidro - 0,34%.

A análise mineralógica do resíduo de serpentinito revelou que o material é composto predominantemente pelos minerais do grupo da serpentina - antigorita, crisotila e lizardita - o que justifica os elevados teores de  $\text{SiO}_2$  (45,7%) e  $\text{MgO}$  (31,6%). Também foram identificadas quantidades menores de outros minerais, tais como: talco, grafite e magnetita.

Os compostos minerais encontrados na argila foram: quartzo, muscovita, caulinita, lepidolita e montmorillonita, e no resíduo de vidro: quartzo, cristobalita e borato de sódio-bário, em concordância com a análise química por FRX.

As análises microestruturais foram realizadas para as matérias-primas em pó, frente às ampliações de 300x, 800x e 3.000x. As micrografias, obtidas por MEV, do resíduo de serpentinito, da argila Taguá e do resíduo de vidro estão representadas nas Figuras 1, 2 e 3.

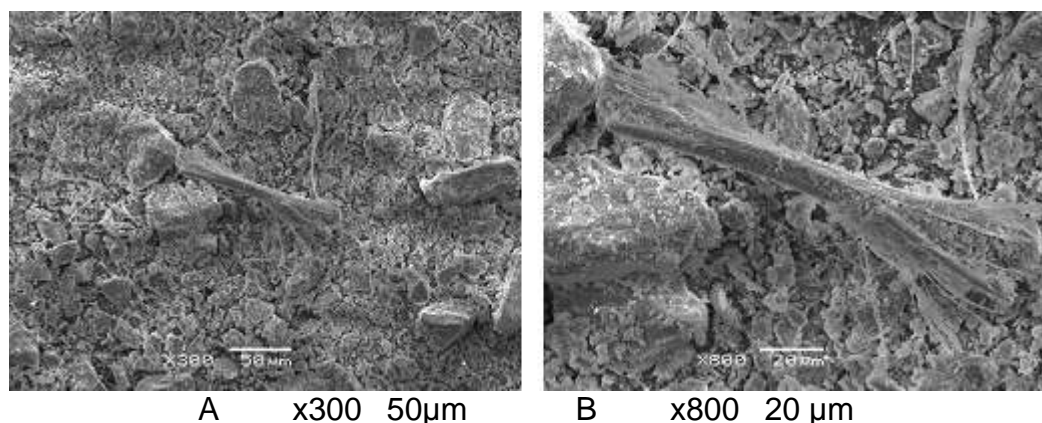


Figura 1 – Micrografia do resíduo de serpentinito.

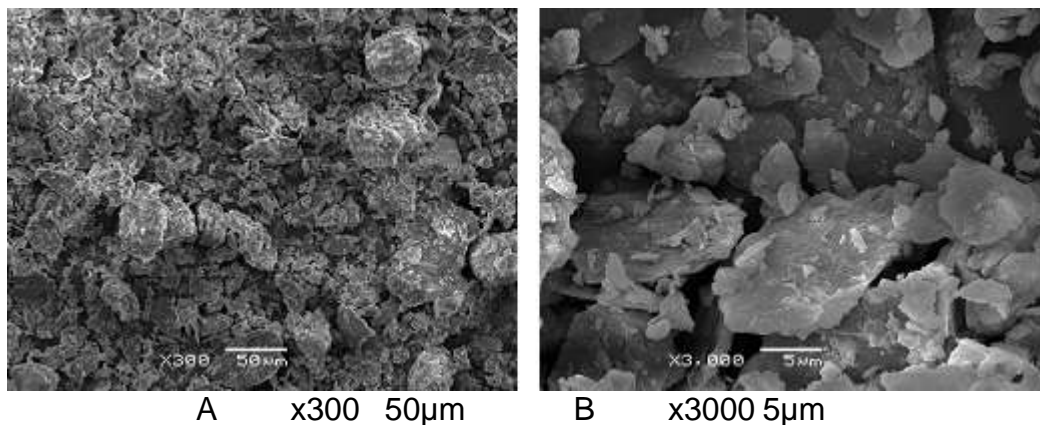


Figura 2 – Micrografia da argila Taguá.

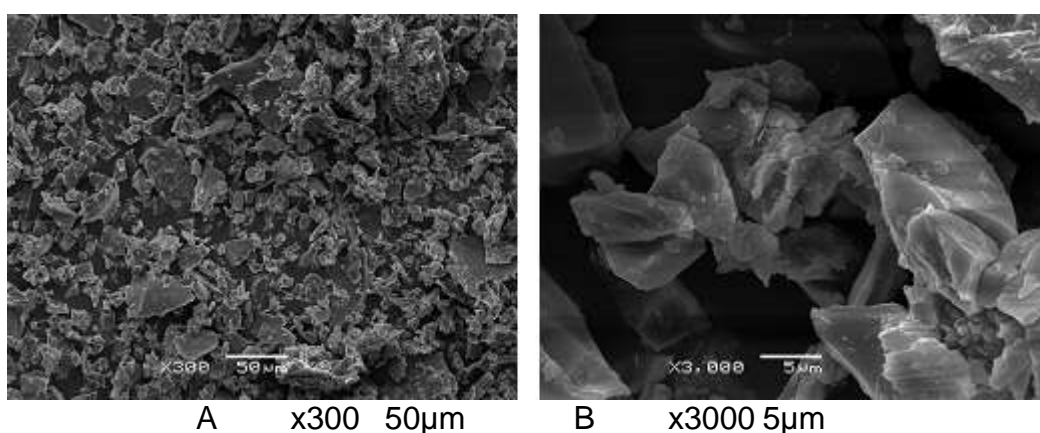


Figura 3 – Micrografia do resíduo de vidro.

Na micrografia do serpentinito, com ampliação de 300x, Figura 1 – A, verifica-se uma morfologia com um aspecto físico completamente desagregado das partículas, com variações na granulometria e morfologia. Na Figura 1 – B observam-se as fibras de crisotila.

Na Figura 2, observa-se um material com as partículas dispersas, com diferentes granulometrias e formas irregulares, distribuídas sem estrutura e interação química entre si.

A microscopia do resíduo de vidro com magnificação de 300x, ilustrada na Figura 3 – A, apresenta uma estrutura desagregada e heterogênea, formada por grãos sem interação química entre si. Com o aumento da magnificação para 3.000x (Figura 3 – B), observam-se cristais de diferentes tamanhos e em geral, pontiagudos.

A caracterização das matérias-primas quanto ao tamanho de partícula (granulômetro a laser) estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Distribuição granulométrica das diferentes matérias-primas (em  $\mu\text{m}$ ).

Matéria- prima	D10%	D50%	D90%	Dmédio
Resíduo de Serpentinó	3,76	29,9	71,67	34,64
Argila Taguá	1,78	9,21	22,99	11,16
Resíduo de Vidro	1,1	6,3	25,21	10,40

Obs.: D10, D50 e D90 são percentagens (10, 50 e 90%) as quais as partículas encontram-se abaixo do diâmetro especificado.

### 3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA APÓS QUEIMA

Os valores médios da massa específica aparente e da retração linear, em função das temperaturas de queima, dos corpos cerâmicos das formulações investigadas neste trabalho estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Massa específica aparente – MEA (em  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) e retração linear – RL (em %) em função das temperaturas de queima.

	1100°C		1200°C		1250°C		1300°C	
	MEA	RL	MEA	RL	MEA	RL	MEA	RL
1	1,82	6,15	2,00	8,63	2,07	9,98	2,20	11,66
2	1,86	6,66	2,07	9,06	2,15	10,83	-	-
3	1,98	6,81	2,26	10,33	2,18	10,05	-	-
4	1,85	6,98	2,06	10,04	2,18	11,26	-	-
5	2,00	7,78	2,28	11,41	2,07	8,67	-	-
6	2,10	8,28	2,22	11,11	1,72	5,80	-	-

Os resultados obtidos indicam que os corpos-de-prova das composições 1, 2 e 4 tornam-se mais densos com o aumento da temperatura de queima, levando a valores maiores de retração linear. Isto se deve ao maior grau de vitrificação (formação da fase líquida) no interior da amostra e conseqüente fechamento dos poros.

Para os corpos-de-prova das composições 3, 5 e 6, a MEA e RL aumentaram até a temperatura de 1200°C, devido provavelmente à intensa vitrificação da microestrutura. Em temperaturas superiores, a MEA e a RL das mesmas decaíram decorrente ao processo de fervura de silicatos, que leva a formação de poros e



desprendimento de gases no interior da peça, que não conseguem escapar devido à formação da camada vítrea da parte externa da amostra. A Figura 4 tipifica a presença de bolhas e aspecto vitrificado encontradas nesses corpos-de-prova, apresentado em corte transversal, um corpo-de-prova da composição 6 queimado à 1250°C.



Figura 4 – Corpo-de-prova da Cerâmica 6 queimado à 1250°C.

Os valores médios e os respectivos desvios padrões dos resultados do ensaio de resistência mecânica à flexão (RM) dos corpos-de-prova das diferentes composições investigadas, em função da temperatura de queima, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resistência mecânica à flexão – RM (em MPa) em função das temperaturas de queima.

Composição	1100°C	1200°C	1250°C	1300°C
1	2,86 ± 0,51	8,33 ± 1,39	29,34 ± 6,26	56,97 ± 6,06
2	5,40 ± 0,87	11,36 ± 0,55	34,49 ± 5,24	-
3	9,91 ± 1,15	23,37 ± 1,63	20,88 ± 1,53	-
4	7,00 ± 1,13	32,52 ± 6,83	46,42 ± 5,72	-
5	14,23 ± 1,47	49,99 ± 4,02	45,01 ± 1,13	-
6	18,59 ± 3,06	44,82 ± 4,26	29,55 ± 1,18	-

Dentre as diferentes formulações, a Cerâmica 1 com 70% de serpentinito e 30% de argila, obteve o valor mais elevado de resistência mecânica (56,97 MPa), valor obtido a 1300°C. Este fato pode ser explicado, pois se trata da amostra com a maior quantidade de serpentinito e a ausência de vidro residual em sua composição. Os serpentinitos têm grandes quantidades de óxido de magnésio em sua composição e que somadas com as proporções de óxido de sódio presente na

composição da argila, mostraram-se adequadas para a fusão parcial dos componentes e conseqüentemente, fortalecimento da estrutura cerâmica nesta temperatura. Os valores médios para esta composição variaram de 2,86 MPa em 1100°C até 56,97 MPa em 1300°C.

Para as formulações 3, 5 e 6 com 20%, 15% e 25%, a menos de serpentinito, respectivamente, na sua composição que a Cerâmica 1, a máxima RM foi obtida para a temperatura de 1200°C, devido provavelmente à intensa vitrificação da microestrutura. Nesse processo, os silicatos formam um líquido bastante viscoso capaz de formar uma ligação vítrea muito resistente. Em temperaturas superiores, a RM das mesmas decaiu, decorrente ao processo de fervura de silicatos, que leva a formação de bolhas, observadas anteriormente na Figura 4. As bolhas, neste caso, comportam-se supostamente, como defeitos, ou seja, concentradores de tensão, degradando consideravelmente a RM dos corpos cerâmicos.

#### **4. CONCLUSÕES**

As propriedades físicas e mecânicas das composições investigadas foram influenciadas pela composição química, pela formulação de matéria- prima e pela temperatura de sinterização. Os materiais cerâmicos obtidos possuem as seguintes propriedades tecnológicas: módulo de resistência à flexão variando de 2,86 a 56,97 MPa, massa específica aparente de 1,82 a 2,28 g/cm<sup>3</sup> e retração linear de 5,80 a 11,66%. As propriedades obtidas demonstram que os novos materiais se incluem nas normas brasileiras.

Nesta pesquisa, ficou comprovado que as matérias-primas- resíduo de serpentinito, argila Taguá e resíduo de vidro - podem ser usadas para a fabricação de cerâmica vermelha (tijolos, telhas, etc.) de construção civil.

A utilização de resíduo de serpentinito indicou ser viável devido às suas características físico-químicas semelhantes às argilas utilizadas na cerâmica tradicional e, a incorporação do resíduo de vidro na massa cerâmica teve como principal característica a capacidade de diminuir a temperatura de formação da fase líquida durante o processo de queima dos corpos cerâmicos (fundente), possibilitando reduções no custo de fabricação e melhores características mecânicas da peça cerâmica.

Portanto, esses resíduos têm grande potencial, mediante ajuste na composição, de serem reutilizados como matérias-primas na indústria cerâmica. Desta forma, dá-se uma destinação a estes resíduos, agregando valor ao mesmo e minimizando o impacto ambiental, seja pela redução de disposição em aterros, ou pela redução do consumo de matérias-primas não renováveis.

## 5. REFERÊNCIAS

- (1) MENEZES, R. R.; NEVES, G. de A.; FERREIRA, H. C. O Estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002.
- (2) JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. 102 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- (3) CURWELL, S.; COOPER, I. The implications of urban sustainability. *Building Research and Information*, v. 26, n. 1, p. 17-28, 1998.
- (4) GÜNTHER, W. M. R. Minimização de resíduos e educação ambiental. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7., 2000, Curitiba. *Anais...* Curitiba, 2000.
- (5) PINTO, T. P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

## DEVELOPMENT OF NEW CERAMIC MATERIALS FROM THE WASTE OF SERPENTINITE AND RED CLAY

The objective of this work is to develop new ceramic materials using serpentine and glass waste and clay red. The raw materials were characterized through morphological, granulometric, mineralogical and chemical analysis. Six formulations have been developed based on the serpentine and red clay, which three of the six compositions have been adjusted with the addition of residual glass. The ceramic bodies were formed by uniaxial pressing and subjected to burn in an electric oven at temperatures of 1100 ° C, 1200 ° C, 1250 ° C and 1300 ° C. The ceramic samples obtained this way were characterized according to their physical properties (specific mass and linear retraction) and the mechanical (three points bending

strength). The final properties varied according to the proportions of raw materials and firing temperature. In general, the different formulations fit the standards for traditional ceramics such as tiles and ceramic blocks.

Key-words: serpentinite, glass, clay, waste, ceramic.