

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS MATERIAIS CERÂMICOS¹

Ricardo Augusto Cruz Ribeiro²

Vsevolod Mymrine³

Haroldo de Araújo Ponte⁴

Vanderlei Mateus Tallini Jr.⁵

Resumo

A pesquisa foi realizada utilizando resíduos industriais de fundição (areia verde e pó de exaustão) e de indústrias metal – mecânicas, como vidro residual para jateamento galvânico e sais de inertização de ácido de baterias. A pesquisa enfoca, principalmente, a utilização de resíduos de fundição para obtenção de compósitos cerâmicos, porém utiliza outros resíduos com o objetivo de agregar valor aos mesmos, visto que diminui os custos com a destinação final e com a produção de cerâmica uma vez que estes retornam ao processo como matéria-prima, reduzindo assim o uso de recursos naturais. Os corpos de prova obtidos foram testados em flexão de três pontos, analisados por microscopia eletrônica, micro análise química (EDAX), raios-x de fluorescência e difratometria, além de ensaios de lixiviação e solubilização. Os resultados comprovam a formação de estruturas vítreas que explicam as características obtidas: alta resistência, baixos valores de absorção de água, retração, solubilização e lixiviação.

Palavras-chave: Resíduo sólido industrial; Indústria metal-mecânica; Pós de exaustão; Areias de fundição; Cerâmica vermelha.

USE OF METAL-MECHANIC INDUSTRIAL WASTE IN DEVELOPMENT OF NEW CERAMIC MATERIAL

Abstract

This work was made by the using Industrial waste and metal-mechanics Industries, like exhauster powder and foundry sand, galvanic glass microspheres and automotive battery acid inertization salts. The research focus, mainly, the use of foundry waste (green sand and exhauster powder) to obtain the ceramics, however, it uses other wastes to add value to themselves, as it decreases the costs with the final destination and with the ceramic production, reducing therefore the natural resources. The preparation of the samples resulted in maximum strengths of approximately 14 Mpa. The test specimens thus obtained were tested under three-point compression, analyzed by scanning electron microscopy, their chemical composition was analyzed by EDAX, X-ray fluorescence and X-ray diffraction, as well as leaching and solution assays. The results of these analyses confirmed the formation of glassy structures, which explain the characteristics obtained, i.e., high strength and low values of water absorption, retraction, solubilization and leaching.

Key words: Industrial solid waste; Exhaustion powder; Foundry sands; Red ceramic.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Engenheiro Ambiental, Mestre em Engenharia dos Materiais - UFPR*

³ *PhD, D.Sc em Engenharia Geológica e Ambiental – UFPR*

⁴ *Doutor em Engenharia Mecânica – UFPR*

⁵ *Engenheiro Ambiental - UFPR*

1 INTRODUÇÃO

A devastação dos recursos naturais e a urbanização poluidora que se seguiu à Revolução Industrial a partir do século XVIII, aliado ao desenvolvimento tecnológico, deram origem a diversos resíduos com as novas atividades do homem, que passou a utilizar os mais variados materiais em seus hábitos de consumo. O crescente processo de industrialização e a incorporação de novos hábitos alimentares, neste contexto passaram a gerar cada vez mais embalagens, com diferentes tipos de materiais, principalmente plásticos, metais e alumínio. Para a SEMA⁽¹⁾ a mudança de hábitos culturais das sociedades modernas também trouxe um aumento na quantidade de resíduos sólidos, a maioria dos quais não-biodegradáveis ou de degradação extremamente lenta.

Sendo assim, observa-se que alguns gêneros industriais são potencialmente mais danosos ao meio ambiente do que outros. Segundo Martine⁽²⁾ este é o caso do setor de bens intermediários (minerais não-metálicos, metalurgia, siderurgia, papel e celulose e química). Seja como poluidores da água e do ar, seja como consumidores diretos de recursos naturais e energia, este grupo de indústrias apresenta um impacto ambiental potencial superior ao de outros gêneros.

Pena-Vega⁽³⁾ comenta que “as crises de degradação do meio ambiente e as ameaças da técnica e da indústria nos fazem tomar consciência de que o meio ambiente é constituído por elementos, coisas, espécies vegetais e animais, manipuláveis e subjugados impunemente pelo gênio humano”. Visto isto, percebe-se que o conceito de sustentabilidade ou desenvolvimento sustentável liga-se indelevelmente ao meio ambiente e à sua preservação.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a possibilidade de utilização da maior quantidade possível de resíduos industriais de fundição, de processos galvânicos e de baterias automotivas, no desenvolvimento de cerâmica vermelha, com o intuito do emprego deste novo material na área da construção civil mantendo no mínimo, as propriedades das cerâmicas tradicionais e respeitando as normas ambientais brasileiras.

Tendo em vista isso e também as tendências de crescimento até o próximo século, é evidente que são necessárias medidas muito mais energéticas para reduzir, controlar e evitar a poluição industrial. O CMMAD⁽⁴⁾ comenta que sem estas medidas, os danos causados pela poluição à saúde humana podem chegar a níveis intoleráveis em algumas cidades e continuarão aumentando as ameaças às propriedades e aos ecossistemas.

Furtado⁽⁵⁾ afirma que a década de 70 foi a década da água, a de 80 foi a década do ar e a de 90, de resíduos sólidos. Isso não foi só no Brasil, nos EUA também se iniciou a abordagem relativa a resíduos sólidos somente no limiar da década de 80. No Brasil, o gerenciamento dos resíduos sólidos industriais ainda é inexpressivo. Segundo dados da Associação Brasileira de Tratamento de Resíduos – ABETRE, mais de 70% do lixo industrial acaba em lugares inapropriados, ou seja, “a maioria dos descartes industriais é feita de forma inadequada, misturada em lixões domésticos, sejam eles municipais ou clandestinos”.

A reciclagem de resíduos e sua reutilização tornaram-se práticas bem-aceitas em muitos setores industriais. O controle da poluição tornou-se, e com toda razão, um próspero ramo da indústria em vários países industrializados. Indústrias muito poluentes, como ferro e aço, outros metais, produtos químicos e geração de energia, muitas vezes levaram a progressos em áreas como equipamentos antipoluição, desintoxicação, tratamento de resíduos, instrumentos de mensuração e sistemas de

acompanhamento. Estas empresas não se tornaram apenas mais eficientes e competitivas, como também muitas delas descobriram novas possibilidades para investimentos, vendas e exportações. No futuro espera-se que em praticamente todos os países industrializados, haja um mercado cada vez maior para os sistemas, equipamentos e serviços de controle da poluição.

Ainda no âmbito do gerenciamento e buscando novas soluções menos agressivas ao meio ambiente, muitos pesquisadores estudam maneiras de trabalhar com os resíduos como, por exemplo, inertização, reutilização, disposição ou até mesmo desenvolvimento de novos materiais a partir de resíduos. Esta preocupação também rege as diretrizes, que orientam a comunidade européia, a respeito do gerenciamento do resíduo sólido, dando maior importância ao desenvolvimento de tecnologias dirigidas para a reciclagem e ao reuso. Alta prioridade também é dada à recuperação de matérias primas e energia dos resíduos. Porém, segundo Cioffia, Lavorgnab e Santoro⁽⁶⁾ estas exigências nem sempre podem ser satisfeitas devido aos altos custos das tecnologias apropriadas e disponíveis.

A experiência dos países industrializados demonstrou que, no tocante aos danos evitados para a saúde, a propriedade e o meio ambiente, a tecnologia anti-poluição foi eficiente em função dos custos. Além disso, fez com que muitas indústrias se tornassem mais lucrativas por usarem recursos com mais eficiência. Embora o crescimento econômico tenha prosseguido, o consumo de matérias-primas se manteve estável ou mesmo declinou, e novas tecnologias prometem ser ainda mais eficientes.

Oliveira et al.⁽⁷⁾ utilizaram um resíduo de metalurgia de aço na preparação de massa cerâmica com teores de 0 a 3%, com variação de 0,5% de escória, que por extrusão geraram corpos de prova que por sua vez foram queimados à temperatura de 950°C por duas horas. Foram observados valores de retração linear de queima, densidade aparente, absorção de água e resistência à flexão. Os corpos de prova apresentaram retração a queima dentro dos padrões de produção industrial e resistência na faixa de 7,6 a 10,1 MPa.

Ghosh et al.⁽⁸⁾ fazendo uso de escórias de alto-forno formularam composições com argila, com teores de 0% a 100% de escória, com variações de 10%, conformadas sob prensa uniaxial com 30 MPa de pressão, no formato de placas, e queimadas a 1.150°C, 1.175°C e 1.200°C, com duas horas de patamar. Os resultados obtidos mostram que ocorreu um aumento nos valores de resistência a flexão nas amostras com até 50% de escória, justificada pela grande formação de pequenos grãos ligados a matriz vítrea.

Entretanto, não foi encontrado em nenhuma bibliografia estudos que obtiveram resultados expressivos utilizando quantidades de resíduos próximas às usadas neste trabalho (até 90%). Nada foi encontrado sobre utilização de pós de exaustão de indústrias de fundição e sobre utilização de sais de inertização de ácidos de baterias automotivas no desenvolvimento de novos materiais, comprovando a originalidade desta pesquisa.

1.1 Resíduos Sólidos Industriais do Setor de Fundição, Galvânico e Automobilístico

1.1.1 Areia verde de fundição

Classifica-se como Resíduo Sólido Industrial Inerte, Classe II B, segundo a NBR 10004/2004, gerada na modelação de peças de ferro fundido.

A areia de fundição é conhecida como areia de sílica com partículas extremamente pequenas (1 µm a 10 µm) apresentando alto grau de expansão.

O processo de fabricação de peças fundidas utiliza grande quantidade de areia para confecção dos moldes e machos. O índice de consumo de areia, dependendo do tipo de peça, varia de 800 kg a 1.000 kg de areia para cada 1.000 kg de peças produzidas.

Essa areia normalmente é extraída de jazidas de cava ou rios, com granulometrias variadas. No preparo dos moldes, a areia é misturada com materiais ligantes como a Bentonita Sódica Ativada, pó de carvão, outros aditivos e água, para obtenção da areia verde, utilizada na produção de peças de menor peso e tamanho. Na maioria dos processos é adicionada resina fenólica, dificultando sua recuperação e reutilização, gerando assim, grande quantidade de areia a ser descartada em aterros industriais.

1.1.2 Pós de exaustão

O pó de exaustão é gerado a partir da mistura de bentonita, carvão vegetal e areia silicosa na fabricação de moldes de areia verde para a produção de peças metálicas nas indústrias de fundição. Após estes componentes serem misturados em proporções previamente estabelecidas, eles são postos em esteiras vibratórias onde o material é submetido a exaustores com o intuito de retirar os finos deste material que não farão parte da confecção dos moldes.

Estes pós são retirados, pois apresentam reduzidas granulometrias e, devido a este fato, prejudicariam a fabricação das peças metálicas uma vez que estes dificultariam a saída dos gases contidos no ferro fundido, fazendo com que surgissem bolhas no interior das peças forjadas. Devido a grande quantidade de matéria orgânica contida na composição química do pó de exaustão (36%), torna-se necessária a queima deste material antes que este possa fazer parte da composição dos corpos de prova para evitar o surgimento de “corações negros” na cerâmica ocasionados pela volatilização de gases provenientes do carvão vegetal e da bentonita, associados ao ferro.

1.1.3 Micro esfera de vidro para jateamento

A poeira de jateamento é gerada nas câmaras de jateamento do setor de limpeza mecânica galvanotécnico, que é a primeira etapa da maioria das peças que são submetidas ao processo de tratamento de superfície. Este equipamento lança em alta velocidade, micro esferas de vidro contra as peças metálicas com o objetivo de retirar, através de efeito abrasivo, carepas e asperezas, assim como sujidades presentes na superfície da peça. Após as micro esferas de vidro terem sido usadas no processo de limpeza mecânica, elas partem-se, após algumas vezes de reuso, perdendo sua propriedade de remoção, sendo então descartadas.

Sua classificação segundo a ABNT NBR-10004/2004 é Resíduo Sólido Inerte, classe II B, porém é um rejeito industrial que não pode ser reaproveitado no próprio processo, pois se misturado às matérias-primas, para produzir o próprio vidro, é suspenso ao ar devido à ação de queimadores que sopram sobre os constituintes da

mistura para que ocorra a fusão do mesmo. Além disso, o pó adicionado gera bolhas no material porque possui ar adsorvido nas partículas. É considerado um material inerte, mas se disposto em rios pode aumentar o pH e a turbidez da água além de não ser biodegradável diminuindo a vida útil de vários aterros e assoreando rios.

O vidro é obtido pela fusão de rochas e minerais, seguida por resfriamento rápido, que não permite a cristalização. Certos materiais são mais adequados para este procedimento, por exemplo, a sílica (SiO_2), na forma de quartzo, proveniente de arenitos. Como o ponto de fusão do quartzo é muito elevado (1713°C), adicionam-se certos ingredientes, como calcário (CaCO_3), carbonato de sódio (NaCO_3) e bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), para reduzir a temperatura de fusão.

De acordo com o Boletim Técnico do produto comercialmente denominado Micro esfera de Vidro, fornecido pela empresa Abraspar Comercial de Abrasivos Ltda, o material é constituído por micro esferas de vidro produzidas com vidro incolor de alta qualidade do tipo Soda-Cal, com teor de sílica nunca inferior a 65%. Contém padrão de esfericidade de no mínimo 80%, limpeza e uniformidade de tamanho. Possui ausência de material contaminante como ferro (Fe), carbono (C), chumbo (Pb) e outros, sendo assim, um material inerte e atóxico. São utilizadas em tintas para sinalização, com efeito retro reflexivo, em pistolas de alta pressão, com efeito abrasivo uniforme.

1.1.4 Sais de inertização de ácidos de baterias automotivas

Para que as baterias dos automóveis sejam descartadas de forma ambientalmente correta, torna-se necessária a inertização do ácido contido em seu interior antes que este material seja descartado. São usados neste caso hidróxidos de sódio $\text{Na}(\text{OH})_2$ que possuem alto potencial alcalino, neutralizando assim, os ácidos contidos nas baterias.

Contudo outro problema surge desse processo, a disposição final destes sais, visto que possuem quantidades expressivas de chumbo e outros poluentes. Observando a grande geração deste material, surgiu então a idéia de utilizá-lo como um dos componentes na formulação da cerâmica, reduzindo assim o impacto ao meio ambiente, uma vez que estará sendo dada uma destinação mais nobre a este resíduo e diminuindo a necessidade de obtenção de produtos químicos análogos, que são muito caros por possuírem alto teor de Sódio, com o objetivo de redução da temperatura de fundição da mistura dos componentes iniciais da cerâmica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As matérias-primas para a preparação dos corpos de prova foram obtidas através de uma empresa de fundição localizada em Ponta Grossa – PR, que forneceu escórias ferrosas, areias de fundição (areia verde, areia cura-frio e areia de macharia) e pós do exaustor. Além dos resíduos da indústria de fundição, foram incorporadas as misturas outros rejeitos industriais como micro esferas de vidro de jateamento de superfícies, obtidas em uma empresa galvânica de Curitiba – PR, e sais de inertização de ácidos de baterias obtidos em uma empresa recicladora de baterias automotivas em Londrina – PR. Foi usado também um único componente natural – argila – de um depósito localizado na cidade de São José dos Pinhais – PR.

Na Tabela 1 segue os teores de elementos básicos da composição química de todos os materiais componentes da cerâmica desenvolvida.

Devido a grande quantidade de matéria orgânica contida na composição

química do pó de exaustão (35,96%), torna-se necessária a queima deste material antes que este possa fazer parte da composição da nova mistura para evitar o surgimento de “ocos” na cerâmica, ocasionado pela volatilização de gases provenientes do carvão vegetal e da bentonita e pela associação do C e Fe.

Tabela 1 – Teor de elementos fundamentais na composição química dos componentes usados, obtidas por Fluorescência de Raio-X

	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	Na₂O	CaO	SO₃	MgO
Pó de Exaustão	71,57	12,74	8,34	1,47	1,23	0,87	1,41
Areia Verde	91,15	2,18	1,89	0,25	0,13	0,18	0,23
Vidro Residual	76,31	0,85	2,24	8,75	8,31	0,26	2,5
Sais	0,19	–	0,20	18,67	–	29,39	–
Argila	53,29	24,13	3,32	–	0,33	–	0,31

Já com os materiais pulverizados e secos procedeu-se a pesagem dos cinco materiais conforme as variadas composições sugeridas para dar início ao processo de inertização e possível origem de um novo produto.

Para cada tipo de composição, foram confeccionados inicialmente 10 corpos prova – Cp's, com peso seco de 20g. Os materiais foram pesados em balança digital com precisão de 0,01g e colocados em um almofariz de porcelana para incorporação de água na concentração de 10% do peso de cada Cp.

Após a mistura ter sido homogeneizada com um pistilo, umedecida e novamente homogeneizada, a mistura foi então colocada em um molde de aço de 60 x 20 mm, e submetida à prensa uniaxial por 30 segundos com 20 MPa.

Desmoldado procedeu-se à identificação no Cp e colocação em banho de areia por 24 horas a 50°C – 60°C ou até não apresentar mais perda de peso. Ao sair do banho de areia o Cp tem suas dimensões conferidas e anotadas no registro de dados, para avaliação da retração linear, densificação e identificação.

Os Cp's secos são acomodados nas bases de caolim e colocados no forno para sinterizar por períodos 6 horas a 12 horas e temperaturas de 950°C a 1.100°C.

Os ciclos de temperatura e tempos para cada teste de queima foram programados para trabalhar automaticamente no seguinte regime:

- a) Entrada na temperatura de 450°C durante 2 horas;
- b) Continuação de aquecimento até temperatura máxima (de 950°C até 1.100°C) durante 4 horas;
- c) Fixação na temperatura máxima durante 6 horas ou 12 horas;
- d) Desligamento de forno e resfriamento independente até temperatura ambiente.

Após as queimas, novamente os CP's têm suas dimensões conferidas e anotadas para avaliação das alterações de tamanho e densidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados experimentais de resistência em flexão por três pontos (Tabela 2) demonstra, que nas temperaturas menores (950°C e 980°C) o aumento de teor de resíduos de fundição (Pó de exaustão + Areia) até 60% provoca a diminuição da resistência de 8,92 até 1,15 MPa. Com aumento de temperatura até 1.000°C esta dependência diminui e praticamente desaparece a 1.010° C com tempo de queima de 3 horas, com exceção das amostras 6 e 7. Mas o maior valor de resistência (13,89 MPa na composição 3) observa-se na temperatura 1.010°C com tempo de queima de 6 horas. Depois, com o aumento da temperatura até 1.020°C a resistência cresce somente para as composições 6 e 7 (3,93 e 6,61 MPa), já a 1.000°C a resistência aumenta para as composições 2,3 e 4.

Tabela 2 - Resistência à flexão por três pontos.

	Pó de Exaustão + Areia Verde	Argila	Vidro + Sal	Temperaturas (°C) e Tempos de Queima (horas)						
				950° 6hs	980° 6hs	1000° 6hs	1010° 1h	1010° 3hs	1010° 6hs	1020° 6hs
				Resistências (MPa)						
01	30	25	45	7.02	6.43	13.76	10.51	10.86	13.19	11.98
02	35	25	40	8.67	8.48	10.44	9.97	9.77	13.27	13.01
03	40	20	40	5.42	7.29	7.56	8.83	10.96	13.89	8.84
04	45	15	40	8,92	8.75	8.59	8.53	10.91	12.99	8.86
05	50	15	35	3.59	5.27	9.55	9.82	9.45	9.21	12
06	60 (0,5 + 0,5)	15	25	1.15	1.47	2.05	2.49	2.15	2.68	3.93
07	60 (0,33 + 0,66)	15	25	3.07	2.76	4.68	3.39	4.42	5.31	6.61

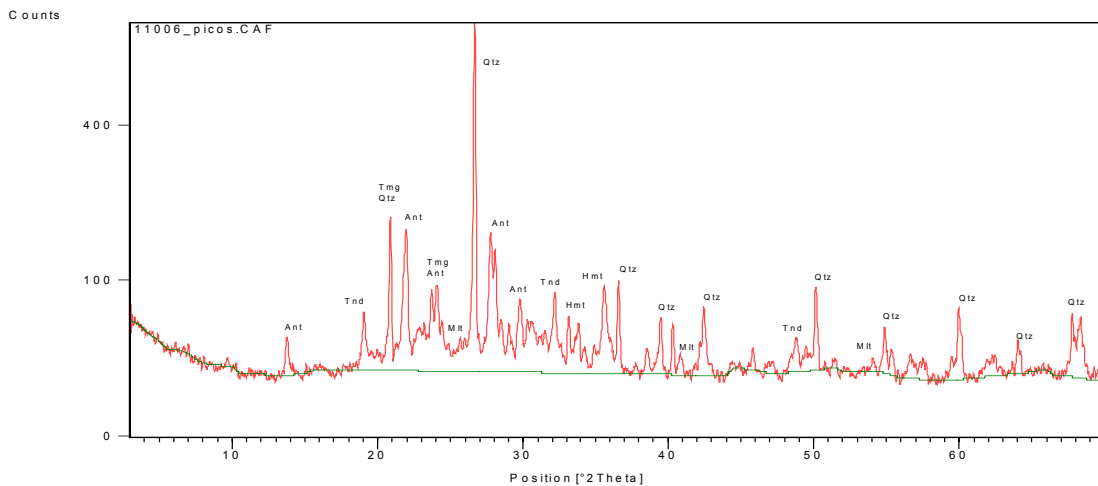
Se compararmos os resultados das resistências das amostras 6 e 7, observamos a relação diretamente proporcional entre a resistência e a quantidade de pó de exaustão contida em cada amostra. Ao aumentarmos em aproximadamente 15% a proporção entre pó de exaustão e areia vimos que a resistência decresce em cerca de 50%, independente da temperatura que estas amostras foram submetidas. Estas amostras (6 e 7) têm em sua composição a maior quantidade possível de resíduos de fundição (60%) e por este motivo são as composições de maior interesse para as indústrias que geram este tipo de material.

Infelizmente não é possível comparar os resultados obtidos com trabalhos de outros pesquisadores, pois não foram encontradas pesquisas utilizando os mesmos materiais. Porém, se compararmos com a NBR 7170 – classificação para tijolos maciços, que classifica tijolos classe A aqueles que tenham resistência a flexão por três pontos entre 1,5 MPa e 2,5 MPa, classe B – $2,5 < 4,0$ e classe C $> 4,0$ MPa, observamos que os novos materiais desenvolvidos podem atingir mais de 300% mais resistência que a classificação mais exigente.

Para o cálculo da densidade, o peso das amostras foi dividido por seus respectivos volumes, obtendo para as amostras uma variação de 1,53 g a 1,817 g/cm³. Pode-se perceber que com o aumento da temperatura os valores de densidade diminuíram devido a volatilização dos gases contidos nas matérias primas. Quando a matéria orgânica é queimada, os gases formam poros na cerâmica para

conseguirem sair do material, ocasionando a diminuição da densidade destes materiais.

Quanto à absorção de água as mesmas variações ocorreram, as amostras apresentaram valores de 0,294% a 3,177% de absorção. Os valores de absorção de água aumentam com o aumento da temperatura devido ao mesmo fato da diminuição da densidade. Conforme a temperatura aumenta, aumenta o número de poros devido a volatilização de gases, tornando o material mais poroso e com isso mais suscetível a infiltração da água.



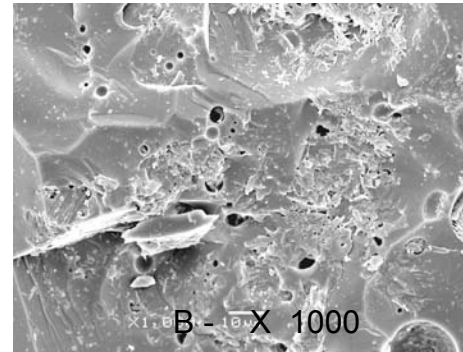
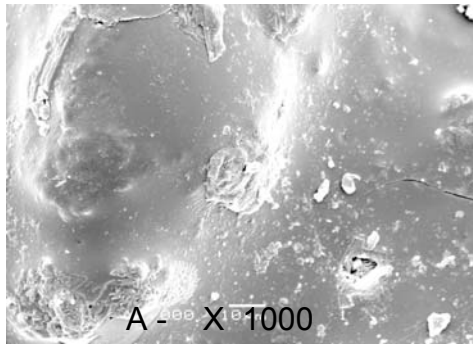
Qtz – Quartzo - SiO_2
Tnd – Tenardita - Na_2SO_4
Mlt – Mullita - $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$

Ant – Anortita de sódio - $(\text{Ca},\text{Na})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$
Hmt – Hematita - Fe_2O_3
Tmg – Tamarugita - $\text{Na Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Figura 1 - DRX de cerâmica após queima em 1.010°C – 6 horas

Através do método de DRX (Difração de Raios – X) foi estabelecida sinterização de novas formas minerais, que inicialmente não foram localizados nas misturas dos componentes como: Quartzo SiO_2 , Anortita de sódio $(\text{Ca},\text{Na})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$, Tenardita Na_2SO_4 , Hematita Fe_2O_3 , Mullita $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$, Tamarugita $\text{Na Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Somente duas delas – Quartzo e Hematita – apresentavam-se na matéria prima antes da queima das misturas. Somente um pico não foi decifrado no difratograma da cerâmica, por se tratar de um pico muito fraco, podendo ser um ruído do equipamento.

Além disso, na Figura 1 observa-se que a linha do fundo apresenta-se bastante alta, típica em difratogramas de matérias com alto teor de substâncias amorfas. O estudo do novo tipo de cerâmica com métodos de MEV e micro-análise química confirma esta impressão.



A – Estrutura vítrea da amostra após queima à temperatura de 1010° C por 6 horas;

B – Estrutura vítrea da amostra após queima à temperatura de 1010° C por 3 horas;

Figura 2 – Fotos de microscopia Eletrônica Varredura (MEV)

Na Figura 2 estão presentes às micrografias mais representativas das superfícies das amostras após a queima. As fotos obtidas através de Microscopia Eletrônica Varredura (MEV) por EDAX demonstram que os CP's durante a queima transforma-se em matéria vítrea contínua, com poros fechados e abertos, basicamente semi-esféricos ou ovais.

Na Figura 2-A, se observa que a superfície apresenta-se completamente vítrea com grandes e pequenas bolhas arredondadas, típico de materiais completamente fundidos. Existem também poros devido à saída dos gases presentes nas matérias primas durante a queima do composto.

Já na Figura 2-B pode-se perceber mais facilmente a presença destes poros que se apresentam em diferentes dimensões e formatos além de poderem estar abertos ou ainda com os gases encapsulados. É possível notar também nesta micrografia, planos de empilhamento, formando “degraus” em diferentes áreas da superfície da amostra, comprovando definitivamente que a estrutura é amorfa, pois esta é uma característica típica e exclusiva destes materiais. Existem também nesta mesma micrografia, interessantes formações semelhantes às estruturas dos cristais, com formas alongadas e arredondadas, reunidas em drusas, porém através de análise química pôde-se perceber que se trata de estruturas amorfas

5 CONCLUSÃO

1. As pesquisas provaram que alguns tipos de resíduos industriais (resíduos de fundição – pós de exaustão e areias de fundição - além de outros tipos de resíduos como vidro residual e sais de inertização) com argila natural podem ser usados para a fabricação de excelentes materiais de construção civil (resistência a flexão por três pontos de até 13,9 MPa, massa específica de 1,53 g/cm³ a 1,817 g/cm³, absorção de água de 0,294% a 3,177% e lixiviação e solubilização abaixo dos valores estipulados pelas NBR's).
2. O estudo dos processos físico-químicos de interação destes materiais durante a queima com diferentes métodos (DRX, FRX, MEV e micro-análise) têm como resultado a sinterização das novas formações com estruturas vítreas.
4. A extensa utilização do método terá impacto positivo ao meio ambiente, primeiramente diminuindo uma grande quantidade de resíduos industriais que contaminam o ambiente quimicamente, possibilitando o aumento da vida útil dos aterros industriais e diminuindo a exploração de grandes volumes de matéria-prima natural.

5. Devido aos baixos custos do novo material, pois utiliza resíduos industriais como matéria prima, o trabalho apresenta também caráter social, pois possibilita o aumento da quantidade de residências, hospitais, presídios, escolas, etc, que poderão ser construídos com o mesmo investimento público.

6. Torna-se necessária a certificação ambiental do material, sendo necessário contatar os órgãos ambientais competentes para que sejam tomadas as medidas cabíveis afim de possibilitar a comercialização dos novos materiais desenvolvidos. Para tanto é preciso que as empresas geradoras destes resíduos se interessem em investir na produção, beneficiando vários setores, conforme mencionado anteriormente.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Mineralogia da UFPR – LAMIR, ao Laboratório de Microanálises da UFPR e ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC. Além disso, V. Mymrine agradece seu co-autor H. de Araújo Ponte pela possibilidade de continuar as pesquisas no Brasil na área de reutilização de resíduos industriais.

REFERÊNCIAS

- 1 SEMA – Secretária do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Instituto Ambiental do Paraná – IAP. Política de resíduos sólidos do estado do Paraná: Programa Desperdício Zero. Curitiba, 2003. MEDINA, S.F., LÓPEZ, F.;
- 2 MARTINE, George. População, meio ambiente e desenvolvimento: verdades e contradições. 2º edição. Campinas – SP. Editora da UNICAMP, 1996.
- 3 PENA-VEGA, A. O despertar ecológico. Edgar Morin e a ecologia complexa. Tradução. Renato Cavalheira do Nascimento e Elimar Pinheiro do Nascimento. Rio de Janeiro: Garamond, 2003.
- 4 CMMAD – Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Nosso Futuro Comum. Editora da Fundação Getulio Vargas. 2º edição. Rio de Janeiro-RJ, 1991. pág 17-18
- 5 FURTADO, M. R. Aterros especiais: oferta responsável não impede descarte em lixões. Revista química e Derivados. São Paulo, nº 434, pág.12, fev. 2005.
- 6 CIOFFIA R., LAVORGNAB M. e SANTORO L. Environmental and technological effectiveness of a process for the stabilization of a galvanic sludge. Journal of Hazardous Materials. nº 89, p.165-174, 2002
- 7 OLIVEIRA A. A., CARRER I. R., CORRÊA-SILVA R. H., ANDRADE F. R., CARDOSO H.M., COUTO M. E., MARCELLO V. R.. Estudo da Incorporação de vidro de embalagem na fabricação de cerâmica vermelha. 2004, Curitiba – Paraná. 48º CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO ANUAL DE CERÂMICA. Anais.
- 8 GOSH S., DAS M., e outros. Development of ceramic tiles from common clay and blast furnace slag. Ceramic international, p. 393-400. 2002