Incorporação de Resíduos Industriais no Tijolo

WIEMES, L.[a,b*], PAWLOWSKY, U.[b], MYMRIN, V.[c]

a. Instituto Euvaldo Lodi – IEL – PR, São José dos Pinhais

b. Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba

c. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba

**Corresponding author, Leandro.wiemes@gmail.com*

Abstract

This article presents a case study conducted as an experiment with the incorporation of different kind of wastes in the production of bricks (red building ceramics). Three types of wastes were directly mixed with clay: automotive waste sludge (AWS) containing concentrations of heavy metals, glass waste (GW) consisted primarily of microspheres (from a galvanic plant) and wood ash (WA) from a pottery furnace. The materials used in the formulation were analyzed by X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF) and scanning electron microscope (SEM). They were separately dried, milled and then dry mixed. Water was added to contribute to the compaction process, to obtain the samples. Samples were dried and then heated to similar temperatures to those used in firing kilns bricks. The resulting ceramics were analyzed for dimensional and then subjected to flexural resistance test which presented results above of 4 MPa. To assess the environmental impact caused by the samples obtained, they were analyzed by XRD, XRF and SEM. At the end, leachability and solubility were realized to evaluate the chemical aspect of the obtained ceramic. According to Brazilian standards, the tested sample achieves the conditions to be classified as inert. In conclusion, it means that this new ceramic has conditions to be classified as capable to be produced. However, it is necessary to evaluate how a production in large-scale will behave.

Keywords: *industrial waste, recycling, environmental friendly materials,*

1. Introdução

A busca pela melhoria contínua tem proporcionado à indústria, de forma geral, o desenvolvimento de seus processos produtivos na condição de torná-los cada vez mais robustos, porém com menores investimentos. Isso permite dizer que estes processos estão cada vez mais controlados e que apresentam rendimentos mais elevados, se avaliados, principalmente, sob o enfoque financeiro, isto é, desenvolvimento focado na redução de custos (Wiemes, 2013).

O desenvolvimento dos processos industriais ocorre de maneira que proporciona o aumento contínuo da produção, tornando-os cada vez mais eficientes, favorecendo o crescimento da indústria em um ambiente cada vez mais globalizado. Esses elementos proporcionam um impacto ambiental direto no consumo de matérias primas, o que evidencia uma maior exploração dos recursos naturais.

Conforme apresentam Wiemes et al. (2014), a aplicação das normas padrão ISO 9000/ISO 14000 também contribuíram sobremaneira para o desenvolvimento dos processos industriais, favorecendo o aumento contínuo da produção. Avaliando esse cenário sob uma ótica mais abrangente, ocorre

aumento do consumo em âmbito global, impulsionada pela oferta de produtos que desempenham maior conforto, agilidade e velocidade, entre outras características, para atender demandas cada vez maiores por parte dos consumidores.

Apesar de contraditória, diante dos fatos anteriormente citados, a situação existente é crítica e muitas indústrias encontram-se na contramão do que pode ser denominado desempenho sustentável ou empresa ambientalmente correta. A geração de resíduos provenientes de processos de transformação é bastante considerável e a destinação normalmente aplicada é a disposição em aterros industriais ou o coprocessamento em fornos de cimento (Wiemes, 2013).

Apesar das exigências ambientais definidas pelos órgãos ambientais e a pressão exercida pela sociedade, ainda há empresas que não se preocupam com a destinação adequada dos resíduos, pois a atenção está voltada ao produto em fabricação, e não ao tratamento dos resíduos.

Em um contexto estratégico e considerando uma abordagem em que os problemas ambientais são tratados como tal, Barbieri (2007) cita que uma empresa deve aproveitar as oportunidades mercadológicas e neutralizar as ameaças decorrentes de questões ambientais. Assim, a importância estratégica também é levada a cabo à medida que aumenta o interesse, tanto da opinião pública como dos grupos que detém interesses sobre as questões ambientais. Além disso, o crescimento do contingente de consumidores que preferem comprar produtos e serviços que respeitem a natureza é outro fator que impulsiona o tratamento estratégico ambiental.

O desenvolvimento de processos menos poluentes traz vantagens, dentre as quais podem ser citadas: redução na geração de resíduos, menores impactos ao meio ambiente, maior facilidade na obtenção de linhas de crédito junto a bancos, melhoria da imagem da empresa perante entidades fiscalizadoras e a redução de custos de manufatura do produto fabricado contribuindo para que as organizações desenvolvam ações de caráter preventivo (Wiemes e Pawlowsky, 2009).

No âmbito do gerenciamento ambiental e com o intuito de buscar soluções menos agressivas ao meio ambiente Wiemes (2013) afirma que muitos pesquisadores estudam maneiras de trabalhar com os resíduos, aplicando ou desenvolvendo técnicas para proporcionar a inertização, reutilização ou até mesmo, desenvolvendo novos materiais a partir de resíduos.

A vitrificação é uma das técnicas que tem despertado grande interesse por diversos pesquisadores. Cardoso e Tolentino (2013) definem vitrificação como método comum de queima para cerâmica tradicional a base de argila. Mymrin et al (2014) também compartilham o mesmo conceito. Conforme apresentam Silva e Mello-Castanho (2004) e Castanho (2005), o processo de vitrificação, simula a formação dos vidros naturais, como as rochas vítreas vulcânicas, que mesmo contendo elementos tóxicos, são basicamente materiais inertes. Conforme apresenta Kim et al. (2005), esta tecnologia é aplicada para o processamento de rejeitos radioativos e estudada para inertização de diversos tipos de resíduos. Pisciella et al. (2000) apresentam que tal técnica consiste uma solução viável para o impacto ambiental de várias atividades industriais e abre oportunidades para atribuir valorização aos resíduos. Uma composição inicial e as condições de tratamento térmico, conforme descritos por Erol et al. (2007), são os parâmetros mais importantes que afetam o tipo de fases cristalinas ocorridas no vidro-cerâmica e as propriedades finais dos materiais. Esses mesmos autores também enfatizam que vitrocerâmicos que possuam propriedades desejáveis para satisfazer muitas aplicações podem ser produzidos a partir de materiais de resíduos através da aplicação de tratamentos térmicos adequados.

Este trabalho foi estruturado de maneira a avaliar elementos teóricos e práticos, considerando uma revisão de bibliografias e publicações que apresentam correlação e relevância com o tema proposto (Barros e Lehfeld, 2007). Conforme descrevem Cervo et al. (2007), a estruturação do trabalho foi elaborada com base na construção dos elementos de hipótese e o trabalho foi desenvolvido de maneira a avaliar uma diversidade de formulações estabelecidas inicialmente, diferentemente do encontrado em literatura nacional e internacional. Isto permite dizer que o trabalho apresenta uma abrangência considerável de composições que permitiram estabelecer elementos para a compreensão dos fatos ocorridos durante as fases de processamento, obtenção dos corpos de prova e análises de resultados. A estrutura do trabalho está fundamentada na metodologia de Produção mais Limpa (P+L) que consiste na eliminação da poluição durante o processo de produção, após a geração dos resíduos. Conforme apresenta SENAI (2003), a razão de sua aplicação está no fato de que todos os resíduos que

a empresa gera lhe custaram dinheiro, pois foram adquiridos a preço de matéria-prima e consumiram insumos como água, energia, entre outros. Uma vez gerados, continuam a consumir dinheiro, seja sob a forma de gastos de tratamento e armazenamento, seja sob a forma de multas, pela falta desses cuidados, ou ainda pelos danos à imagem e à reputação da empresa.

2. Métodos

Os materiais utilizados nesta pesquisa são provenientes de estação de tratamento de efluentes industriais (resíduo de uma Indústria Automobilística), de tratamento de limpeza superficial de superfícies de uma indústria galvânica (resíduo de esfera de vidro), de forno de queima de uma olaria e da argila, todos provenientes da região Sul do Brasil. Foram recebidos em laboratório e depois de identificados, secos em estufa a 110ºC durante 24 horas. As amostras foram cominuídas em moinho de carbeto de tungstênio, para homogeneizar o tamanho de partículas dos respectivos materiais. Os materiais moídos foram caracterizados em função de suas composições mineralógicas e químicas pelos métodos DRX (Difração de Raio X), FRX (Fluorescência de Raio X) e MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura). Para a análise de DRX, que forneceu a estrutura mineralógica de cada amostra, foi pesada 1g de cada material e disposta em matriz específica para posterior compressão via dispositivo manual. A amostra prensada foi submetida à análise qualitativa no equipamento de DRX, marca PANalytical, modelo Empyrean, com detector X'Celerator, tubo de cobre. O tempo de varredura da amostra foi de 5 minutos. O difractograma foi obtido, via software para análise mineralógica qualitativa denominado X'Pert Highscore Plus, marca PANalytical, com banco de dados PDF-2.

Para a análise de FRX foi utilizado método da pérola fundida. Foram pesados 0.9g de cada amostra e 9.0g de Tetraborato de Lítio e pequena quantidade de Nitrato de Amônia (para inibir efeito do enxofre e do Brometo de Lítio, caracterizados como desmoldantes). A amostra foi fundida em cadinho de platina e analisada via equipamento de FRX marca PANalytical, modelo Axios Max com tubo de Ródio 4kv. Os resultados foram obtidos em gráficos e utilizou-se software para análise química qualitativa denominado Super Q5.0L. A técnica de FRX detecta todos os elementos mais pesados que o flúor e que estão presentes em quantidades superiores a 0.1%. O tempo de varredura é de 6 minutos considerando 11 condições de leituras. O resultado obtido foi expresso em valores percentuais.

Para a análise de Perda ao Fogo (PF) cada amostra foi calcinada por 2 horas em forno mufla a temperatura de 1000ºC. Essa técnica avaliou a perda de água de cristalização e a queima de materiais orgânicos e de CO_2 ($CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$). O resultado foi expresso em percentual (peso final dividido pelo peso inicial x 100%).

Os materiais moídos foram pesados conforme formulação das amostras propostas no estudo, considerando peso total de 200g em balança analítica (precisão de 0.01g). Os materiais foram homogeneizados a seco em almofariz e pistilo e adicionado água até a amostra apresentar cerca de 20% de umidade. Amostras com diferentes formulações foram confeccionadas via processo de compactação em molde de aço (dimensão de 60 x 20mm), aplicando pressão de 20 Mpa por 30 segundos, em prensa hidráulica manual (capacidade 5t). Amostras obtidas foram secas em estufa (110ºC por 24 horas) e queimadas em forno de laboratório (Linn Elektro-Therm, até 1300º C e termopar de Pt-Pt/Rh e cones pirométricos com variação de 5º C), aplicando temperaturas entre as faixas de 700 a 850º C, o que permite simular a mesma condição identificada em um forno de uma olaria.

Para a análise de retração linear, foram consideradas as dimensões iniciais de cada amostra, conforme foi compactada no molde de aço (dimensão de 60 x 20mm). Para análise das amostras testadas, foi considerado o valor do comprimento como a referência para o estudo.

As configurações de temperatura de queima foram definidas em função de cada uma das formulações estabelecidas. Os ciclos de temperatura de queima, bem como os tempos adotados para cada teste de queima foram programados para operar automaticamente, conforme apresentado na Figura 1 e descritos a seguir:

- Início do processo até temperatura de 600º C mantendo uma taxa de aquecimento de 10º C por minuto;
- A temperatura de 600º C foi mantida constante por 30 minutos;
- Após o aquecimento até temperatura desejada (Ex. 800º C), com taxa aquecimento 10º C/min;

- Fixação da temperatura de trabalho (Ex. 800º C) durante 6 horas (360 minutos);
- Desligamento do forno (automático, no fim de ciclo de queima da amostra) até temperatura ambiente.

Após a queima, os CPs (Corpos de Prova) foram avaliados em termos de sua resistência à flexão. Foi utilizada máquina universal de ensaio EMIC – Modelo DL10000 (avanço de 0.5 mm/min e célula de carga de 200 kN - conforme NBR 13818 de 04/1997). O valor da análise obtido no visor da máquina de ensaios universal consiste em um dado bruto e para tal foi processado, considerando cada amostra individualmente. O valor real de resistência à flexão dos CPs após queima foi obtido pelo cálculo da tensão de ruptura à flexão (ver Eq. 1):

$$Rf = (3F\ L) / (2b\ e^2), \qquad (1)$$

Onde: Rf – Tensão de ruptura à flexão, MPa,
F – Carga atingida no momento da ruptura,
L – Distância entre os cutelos do apoio (4,5 cm),
e – espessura dos CPs, cm,
b – largura dos CPs, cm.

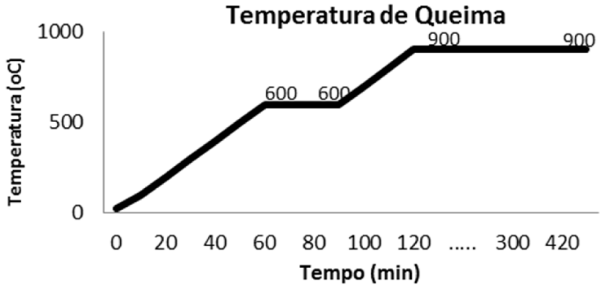


Fig. 1. Representação esquemática da temperatura de queima aplicada as diferentes amostras testadas.

Os CPs testados foram colocados em dispositivo com dois pontos de apoio, conforme indicado na Fig. 2 pelos números 2 e 3, e o ponto 1 o local de aplicação da força (F), via célula de carga. Após a quebra da amostra, o valor F obtido é identificado no visor do próprio equipamento, de onde se faz a leitura para posterior registro da informação obtida.

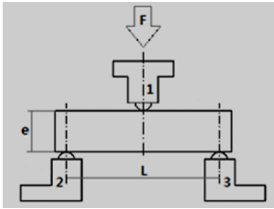


Fig. 2. Representação de realização do ensaio de resistência à flexão, sendo o retângulo representado pela amostra ou CP.

A avaliação posterior consistiu na análise das microestruturas obtidas pelo método de microanálise. Porém, como a cerâmica não apresenta característica condutiva e para a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV – no aparelho da marca Shimadzu – SS5500II operando em 15 kV) essa é uma condição primordial, foi necessário fazer a metalização com ouro da superfície do CP (via equipamento SCD 030 Dalzers Union SL9496 com evaporação catódica à vácuo). Pela análise de microestrutura é possível identificar se o material obtido apresentou aspecto visual uniforme, sem concentrações ou regiões de materiais não vitrificados ou até mesmo aglomerados de materiais cerâmicos não sinterizados. As magnitudes aplicadas estão identificadas em cada figura avaliada. A partir da definição da amostra que apresentou a melhor característica de resistência à flexão, foram realizados os ensaios de solubilização (NBR 10006, 2004) e lixiviação (NBR 10005, 2004) para verificar os elementos químicos presentes na amostra analisada após queima em forno. A Norma Brasileira (NBR 10005, 2004) utilizada para o ensaio de lixiviação define equipamento *jar-test*, de agitação

contínua, velocidade indefinida, proporção resíduo/meio extrator (1:16). Utiliza como meio lixiviante água deionizada e controla o pH com ácido acético 0.5N (pH = 5). São utilizados 100g da amostra com tamanho inferior a 9mm, adiciona-se água deionizada. O frasco contendo o material de análise mais o líquido foi mantido sob agitação durante 18 horas à temperatura de 20ºC, com rotação de 30 vezes por minuto em agitador rotatório.

A etapa seguinte consistiu da filtração do produto e o extrato lixiviado foi analisado via técnica de espectrometria de absorção atômica com atomização em chama. Ensaios de lixiviação são realizados para determinar ou avaliar a estabilidade química dos resíduos e quando em contato com soluções aquosas, permite verificar o grau de imobilização de contaminante. Para o ensaio de solubilização, a Norma Brasileira NBR 10006 (2004) preconiza a utilização de 250g da amostra analisada, triturada com tamanho abaixo de 9mm e misturada com 1000 ml de água destilada, sem correção de pH. A mistura permanece em repouso, sendo agitada manualmente de tempos em tempos, durante período de 7 dias. Após esse período, a amostra foi filtrada e o material obtido foi analisado. Este ensaio apresenta informação sobre a solubilidade dos compostos presentes nas amostras estudadas.

As formulações avaliadas neste estudo estão identificadas na Tab. 1, na próxima seção.

3. Resultados

Os resultados do ensaio de FRX para os materiais em teste são apresentados abaixo.

Tab. 1. Elementos identificados na análise de FRX em cada tipo de material avaliado (dados em %).

Elemento	Lodo ETE	Argila SC	Vidro	Cinza
Pt Fulgor	44,46	6,95	11,98	1,28
Fe2O3	18,4	10,2	0,22	7,6
P2O5	0,6	0,1		1,9
CaO	25,9		6,9	15
TiO2	1,1	1,6		1,2
SiO2	3,1	56,9	67,82	45,3
MgO	2,1	1	2,99	3,2
MnO	0,1			1,1
Al2O3	1,1	21,9	0,57	13,2
SO3	0,9	0,1	0,27	1,3
K2O	0,1	0,9	0,15	8,1
Na2O	0,4	0,2	9,08	0,3
ZrO2		0,1		
BaO	1,1			0,2
ZnO	0,3			
Ni	0,1			
Pb	0,23			
Total	**99,99**	**99,95**	**99,98**	**99,68**

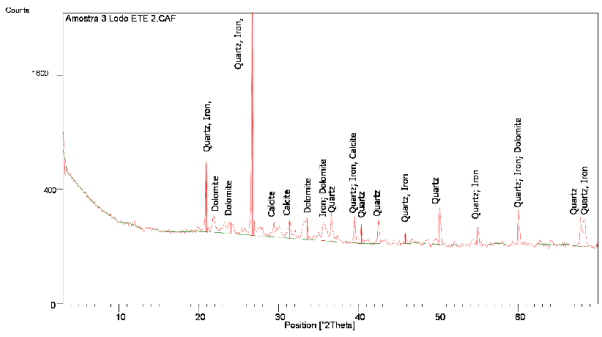
Os resultados dos ensaios de Resistência à Flexão e Retração Linear são apresentados a seguir.

Pelos resultados apresentados na Tabela 2, identifica-se que de maneira geral, com o aumento da temperatura de queima das amostras foram obtidas maiores resistência à flexão assim como maior retração linear.

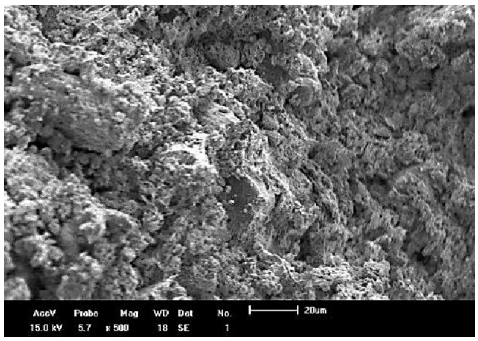
Tab. 2. Composições das amostras e seus resultados de Resistência à Flexão e Retração Linear

Amostra	Composição (%)				Resistência à Flexão (MPa)				Retração Linear (%)			
	Lodo ETE	Argila	Micro Esfera	Cinza	800ºC	850ºC	900ºC	1000ºC	800ºC	850ºC	900ºC	1000ºC
ETE-B1	50	30	20	---	0,81	---	0,96	0,92	9,59	---	10,88	11,13
ETE-B2	40	40	20	---	1,43	1,75	2,00	2,75	7,48	8,00	9,04	8,70
ETE-B3	40	40	10	10	5,77	6,28	6,91	7,26	10,17	11,48	11,78	11,31
ETE-B4	50	30	10	10	3,16	3,84	4,07	5,44	13,59	14,53	15,01	14,75
ETE-B5	4	86	---	10	5,94	5,93	7,60	8,45	8,18	8,80	9,35	11,75
ETE-B6	6	84	---	10	6,09	6,52	7,80	8,14	8,64	8,95	10,45	11,02
Argila	---	100	---	---	6,90	7,55	8,38	10,01	2,41	2,57	2,48	3,17

Na **Fig. 3**, é apresentado o difractograma da análise de DRX da Cerâmica ETE-B3, que constituiu o melhor resultado de Resistência a Flexão, obtido entre as amostras testadas, bem como a análise morfológica realizada em microscópio eletrônico de varredura.



Difractograma da Amostra



Análise morfológica da Amostra – 500x aumento

Fig. 3. Difractograma de DRX e Análise Morfológica da Amostra ETE-B3

Constatou-se que na Amostra ETE-B3, citada na Figura 3 o material obtido apresentou um aspecto homogêneo, sem presença de fases, o que caracteriza a fusão e interação completa dos componentes misturados. A estrutura vitrificada justifica a presença de substância amorfa obtida no ensaio de DRX e explica os bons resultados de resistência à flexão obtida com s respectiva amostra. A estrutura observada apresenta aspecto vítreo e uniforme. Considerando esses aspectos, é possível afirmar que foi obtido um novo material com uma formação de massa adensada e homogênea, característica da fusão dos materiais que compuseram os CPs. Também foi observada a presença de micro trincas (Figura 4 b), característico de material vítreo, que foi submetido à determinada solicitação/esforço físico. A presença de porosidade em ambas as amostras, deve-se ao fato da formação de gases durante a queima de material orgânico, presente na amostra, e que tem origem tanto na argila como no lodo de ETE da Indústria A, assim como pela presença de traços de óleos e graxas presentes no respectivo resíduo.

As Amostras ETE-B1 e ETE-B2 não apresentaram valores que pudessem ser caracterizados como significativos perante a especificação (mínimo 4 MPa). Portanto, essas formulações não podem ser aplicadas para a fabricação de materiais cerâmicos (tijolos) nas temperaturas testadas. A Amostra ETE-B1, testada na temperatura de 850ºC estava danificada (fundida) motivo pelo qual não foi realizada medição de resistência à flexão. Neste mesmo gráfico também foi apresentado o material contendo somente Argila (Zero-Argila). Para esta amostra, os valores obtidos foram consideráveis em relação à resistência à flexão. O que se evidenciou com os ensaios realizados foi que todas as formulações testadas apresentaram resistência à flexão inferior ao valor observado na preparação da amostra somente com Argila, apesar de atenderem o requisito mínimo 4 MPa.

Devido à utilização do vidro moído, as amostras descritas na Tabela 1 apresentaram valores relevantes em relação à resistência à flexão. Para as amostras ETE-B3, ETE-B4, ETE-B5 e ETE-B6, com adição de esfera de vidro moída, proporcionam relativo aumento na resistência à flexão dos corpos de prova avaliados. A Amostra ETE-B4 apresentou elevada quantidade de resíduos (70%) e isso favoreceu a formação de um material mais frágil após a queima em forno. Motivo pelo qual os valores obtidos, principalmente para as amostras queimadas entre 800ºC e 900ºC apresentaram valores intermediários. Já a amostra queimada a temperatura de 1000ºC apresentou um valor mais elevado, pois se identificou ocorrência de material vítreo em função da temperatura a qual foi aplicada.

As amostras ETE-B3 e ETE-B4 também foram formuladas com quantidades importantes de lodo (40 e 50%). Além disso, foram adicionados 10% de cinza e 10 % de esfera de vidro moído (esse último favorece processo de vitrificação). Importante observar que durante os ensaios, foram preparados CPs (Amostras ETE-B5 e ETE-B6) com formulação similar a aplicada ao Lodo de ETE da Indústria A. Verificou-se que Amostra ETE-B5 apresentou bons resultados considerando a formulação proposta, chegando a 5,93 MPa a temperatura de 850ºC.

4. Conclusão

Diante dos resultados apresentados neste estudo, identifica-se que é possível obter tijolos (cerâmica vermelha) por meio da adição de resíduos industriais em quantidades significativas, conforme apresentado no respectivo trabalho.

Atenção especial deve ser dada a preparação inicial das amostras (mistura de materiais), seguida de sua compactação, pois assim se obtém um produto homogêneo, e isento de aglomerados, o que prejudica o resultado do produto final.

A ideia proposta consiste em uma ação pontual, porém que pode ser desenvolvida em caráter nacional, favorecendo o desenvolvimento de produto ecologicamente correto, com a diminuição da exploração de minas de argila, redução no consumo de energia elétrica e com menor impacto sobre os custos de produção associados.

Agradecimentos

Ao autores do trabalho agradecem aos Laboratórios da UFPR: Laboratório de Engenharia Ambiental Francisco Borsari Netto (LABEAM), Laboratório de Tecnologia Ambiental (LTA) e Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR), Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), ao Laboratório DIMAT da Renault do Brasil e aos Laboratórios de Engenharia Civil da UTFPR e de Engenharia Química da UFPR que permitiram a realização dos testes laboratoriais nas suas dependências. Ao SENAI-PR pelo apoio financeiro para divulgação do trabalho realizado e ao IEL - Faculdades da Indústria.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 9.000:2000: sistemas de gestão da qualidade: fundamentos e vocabulário.

———. NBR 10.005:2004: procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

———. NBR 10.006:2004: procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

———. NBR 13.818:1997: placas cerâmicas para revestimento: classificação. Rio de Janeiro, 1997.

———. NBR 14.001:2004: Implementação de Sistemas de Gestão Ambiental, Rio de Janeiro, 2004.

Barbieri, José Carlos, Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos, 2ª edição, Editora Saraiva, São Paulo, 2007.

Barros, A. J. S. e Lehfeld, N. A. S., 2007. Fundamentos de metodologia científica, 3ª ed. São Paulo, Pearson Prentice Hall.

Castanho, R.H.M. Ipen cria método para transformar resíduo tóxico em vidro. Disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia>. Acesso: maio, 2005.

Cardoso, Antônio Valadão, e TOLENTINO, Evandro, Ciência dos Materiais, disponível em: http://www.cienciadosmateriais.org/index.php?acao=projeto , acesso fevereiro de 2013

Cervo, A. L., Bervian, P. A. e Silva, R, 2007. Metodologia científica, 6ª ed., São Paulo, Pearson Prentice Hall.

Kim, Y., Kim, J.H., Lee, K.G. e Kang, S.G., 2005. Recycling of dust wastes as lightweight aggregates, Journal of Ceramic Processing Research. Vol. 6, No. 2.

Erol, M., Küçükbayrak, A., Ersoy-Meriçboyu, A., 2007. Production of glass-ceramics obtained from industrial wastes by means of controlled nucleation and crystallization, Chemical Engineering Journal.

Senai - Serviço Nacional de Indústria, 2003. Implementação de Programas de Produção mais Limpa, Centro Nacional de Tecnologias Limpas – SENAI-RS/UNIDO/INEP, Porto Alegre, RS.

Mymrin, V, Ribeiro, R. A. C., Alekseev, K, Zelinskaya, E., Tolmacheva, N. and Catai, R., 2014, Environment friendly ceramics from hazardous industrial wastes, Ceramics International, Volume 40, Issue 7, Part A, p 9427 – 9437.

Pisciella, P, Crisucci, S., Karamanov, A. e Pelino, M., Chemical durability of glasses obtained by vitrification of industrial wastes, Waste Management 21, Elsevier Science Ltd. 2000.

Wiemes, L. (2013) Utilização de lodos da indústria automobilística como componente de valor para fabricação de materiais cerâmicos. Tese de Doutorado, Curitiba, Brasil, 165pp.

Wiemes, L. e Pawlowsky, U. (2009) - Minimizando resíduos no processo de pintura automobilística, Revista Banas Qualidade, Número 200, Ano/Vol: 18 – BQ_200/18, ISSN: 1676-7845, Editora EPSE de Produtos e Serviços Ltda, São Paulo.

Wiemes, L, Mymrine, V e Pawlowsky, U, 2014. Utilização de lodos de indústria automobilística no processo de fabricação de tijolos, XXXIV AIDIS – Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental, Monterrey - México.