5th International Workshop - Advances in Cleaner Production
São Paulo - Brazil - 20th to 22nd, May - 2015

Incorporation of Industrial Wastes in Bricks

Leandro Wiemes, Urivald Pawlowsky, Vsévolod Mymrin

FIEP SESI SENAI IEL

UFPR UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Academic Work

Fonte: NP EN ISO 14001, 2004

INTRODUÇÃO

- Processos produtivos mais robustos (Wiemes, 2013);
- Empresa: oportunidades para neutralizar ameaças decorrentes de questões ambientais (Barbieri, 2007);
- Vantagens processos menos poluentes (Wiemes e Pawlowsky, 2013);
  - redução na geração de resíduos
  - menores impactos ao meio ambiente
  - maior facilidade obtenção linhas de crédito
  - melhoria da imagem da empresa (entidades fiscalizadoras)
  - redução de custos de manufatura do produto fabricado
  - ações de caráter preventivo

RELEVÂNCIA DO TEMA

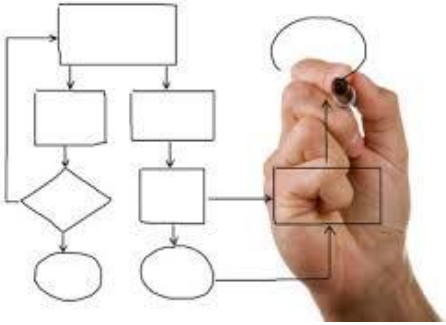
- **Desenvolver tecnologia para reaproveitamento;**
- **Reaproveitar Resíduos Industriais contendo Pb, Ni, Cr, Zn, outros;**
- **Minimizar extração de recursos naturais;**
- **Atribuir melhor valor agregado aos resíduos.**

OBJETIVO GERAL

- Desenvolver nova cerâmica incorporando resíduos industriais como Matéria Prima

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar tipos de resíduos
- Determinar composição da mistura de resíduos
- Escolher regimes, operações e processo



- **Estudo realizado com base em elementos teóricos e práticos (Barros e Lehfeld, 2007);**
- **Construção com base em elementos de hipótese Cervo et al. (2007);**
- **Revisões bibliográficas e publicações**
- **Trabalho fundamentado na metodologia de Produção mais Limpa – P+L (Senai, 2003)**

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tipos de Tratamento de Resíduos – Bergaya *et al.* (2006)

- **Preocupação – Evitar riscos → Disposição Final**

  Conversão Agressivos / Alteração Estrutural / Destruição Química / Encapsular, Solidificar, Inertizar

- **Vitrificação → reduzir periculosidade → tratamento de resíduos – Silva *et al.* (2004), Obrador apud Xu *et al.* (2007);**

- **Técnica inertização → Tempo de mistura, pressão de compactação e temperatura queima – Magalhães *et al.* (2003), Oliveira (2012);**

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

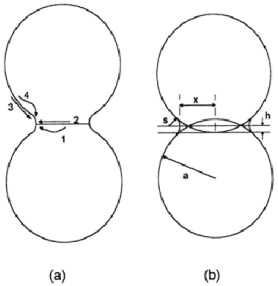
- **Minimização de resíduos - conjunto de medidas → reduzir resíduos gerados pelos processos industriais (Leite e Pawlowsky, 2005);**

- **Adição de vidro → fundente – Bragança e Bergmann (2004), Souza *et al.* (2012), Riella *et al.* (2002), Godinho *et al.* (2004), Luz e Ribeiro (2004);**

- **Vidro → possui elevada estabilidade química e realiza ligações com qualquer elemento – Souza *et al.* (2012)**

VITRIFICAÇÃO / SINTERIZAÇÃO

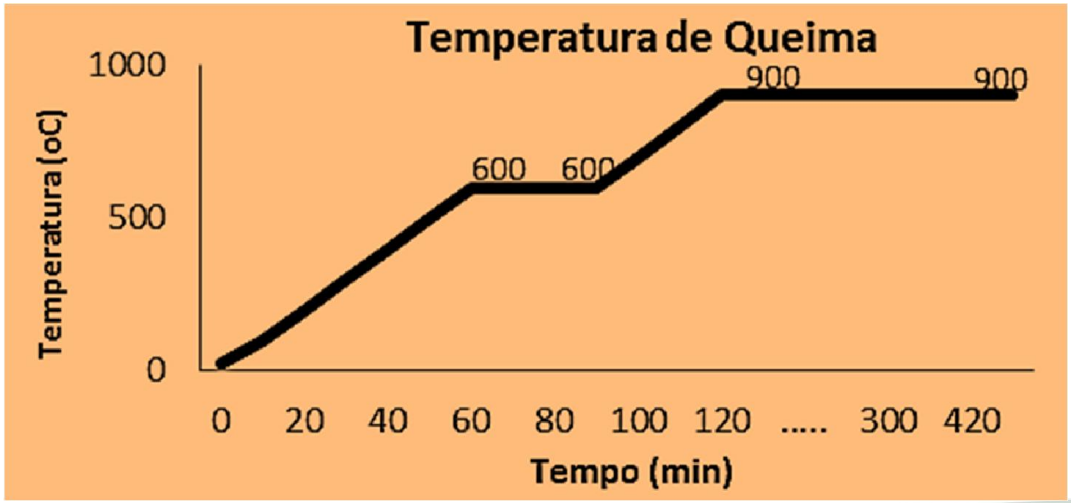
- **Processo Físico e termicamente ativado;**
- **Fundentes: diminuem a temperatura de formação de fase líquida durante o processo de queima;**
- **Fase líquida dissolve algumas partículas sólidas;**



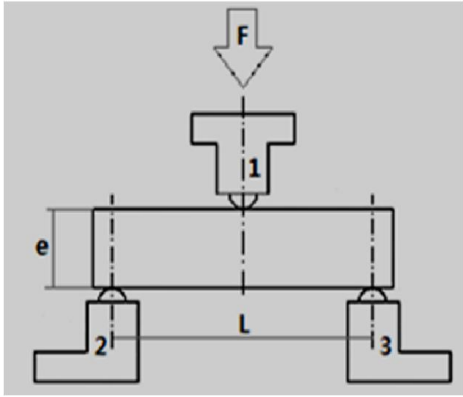
- **Força motora decréscimo da energia superficial livre devido diminuição da superfície total do sistema** (Brito et al., 2007, Starling, 2012);
- **Ocorre diminuição de área superficial das partículas → aumento de densificação e diminuição de porosidade**

VITRIFICAÇÃO

- **Técnica importante no processo** (Cardoso e Tolentino, 2013);
- **Formação de vidro naturais** (Castanho, 2005);
- **Aplicada para processamento resíduos radioativos** (Kim et al., 2005)



MATERIAIS E MÉTODOS



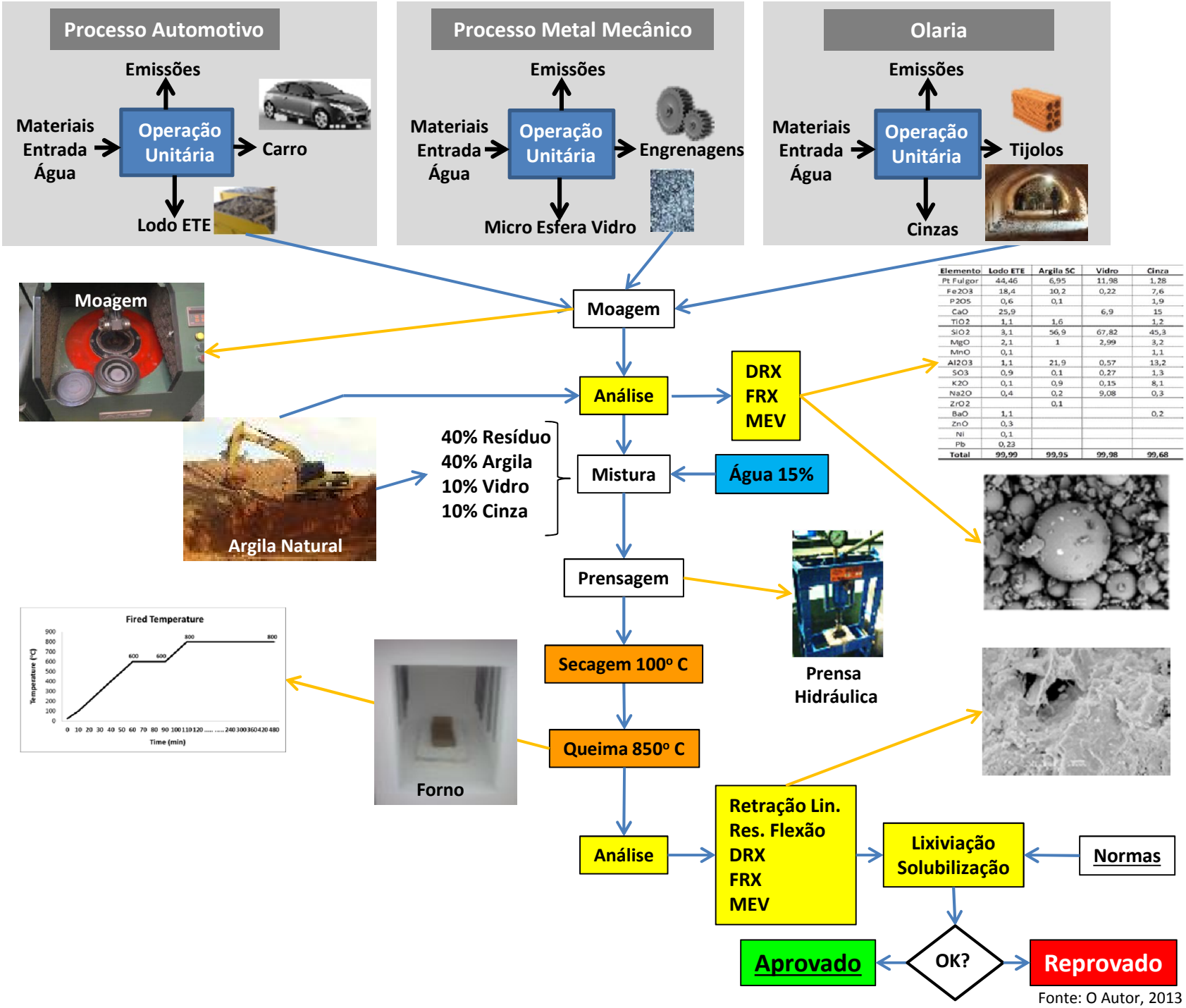
- Argila
- Resíduos: Lodo ETE / Esfera Vidro / Cinza

- DRX (Difração de Raio X) marca PANalytical
  - Software análise mineralógica qualitativa (X'Pert Highscore Plus)
- FRX (Fluorescência de Raio X) – Pérola fundida
  - Software análise química qualitativa (Super Q5.0L)
- MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura)

MATERIAIS E MÉTODOS

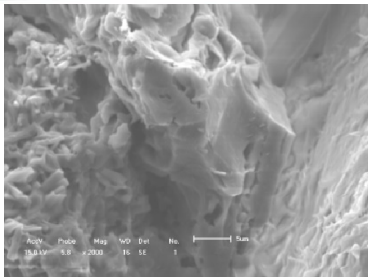
- Perda ao Fogo (PF) – forno mufla
- Forno de laboratório (Linn Elektro-Therm)
- Resistência a Flexão
- Máquina Universal de Ensaio EMIC – (Modelo DL10000)
- Dilatação
- Lixiviação (NBR 10005, 2004) e Solubilização (NBR 10006, 2004)

Resíduos Industriais para Produzir Cerâmica Vermelha pelo Processo de Inertização



Elemento	Lodo ETE	Argila SC	Vidro	Cinza
Pt Fulgor	44,46	6,95	11,98	1,28
Fe_2O_3	18,4	10,2	0,22	7,6
P_2O_5	0,6	0,1		1,9
CaO	25,9		6,9	15
TiO_2	1,1	1,6		1,2
SiO_2	3,1	56,9	67,82	45,3
MgO	2,1	1	2,99	3,2
MnO	0,1			1,1
Al_2O_3	1,1	21,9	0,57	13,2
SO_3	0,9	0,1	0,27	1,3
K_2O	0,1	0,9	0,15	8,1
Na_2O	0,4	0,2	9,08	0,3
ZrO_2		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

Fonte: O Autor, 2013



RESULTADOS

- **Vitrificação obtida pela presença de SiO_2 e Na_2O - Kavouras *et al.* (2003);**
- **Vidro como fundente (presença de K_2O, Na_2O e CaO) – Luz e Ribeiro (2004);**
- **Mistura, pressão de compressão alta e temperatura de queima Magalhães *et al.* (2003);**
- **Comentário:**
  - **Umidade: importante na preparação das amostras;**
  - **Amostra com problema mistura e umidificação;**
- **Compostos vítreos formados durante queima: estáveis frente à lixiviação – Encapsulam metais (Pb, Cd, Ni, Cr e outros)**

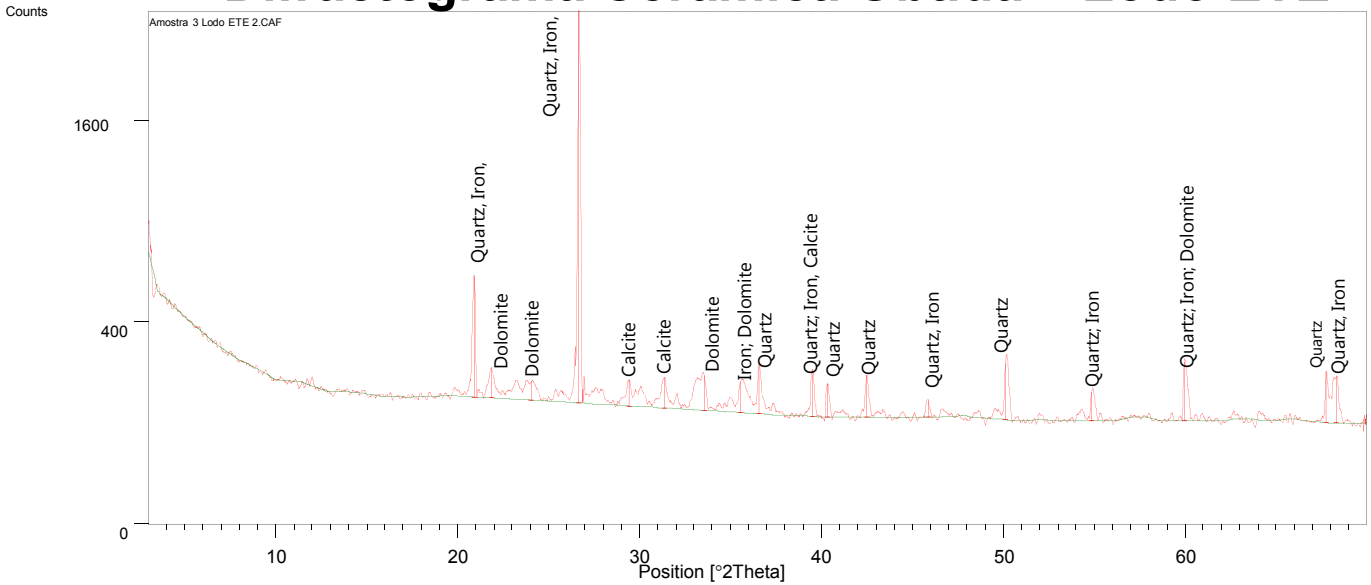
RESISTÊNCIA A FLEXÃO (MPa)

Amostra	Composição (%)				Resistência à Flexão (MPa)			
	Lodo ETE	Argila	Micro Esfera	Cinza	800°C	850°C	900°C	1000°C
ETE-B1	50	30	20	---	0,81	---	0,96	0,92
ETE-B2	40	40	20	---	1,43	1,75	2	2,75
ETE-B3	40	40	10	10	5,77	6,28	6,91	7,26
ETE-B4	50	30	10	10	3,16	3,84	4,07	5,44
ETE-B5	4	86	---	10	5,94	5,93	7,6	8,45
ETE-B6	6	84	---	10	6,09	6,52	7,8	8,14
Argila	---	100	---	---	6,9	7,55	8,38	10,01

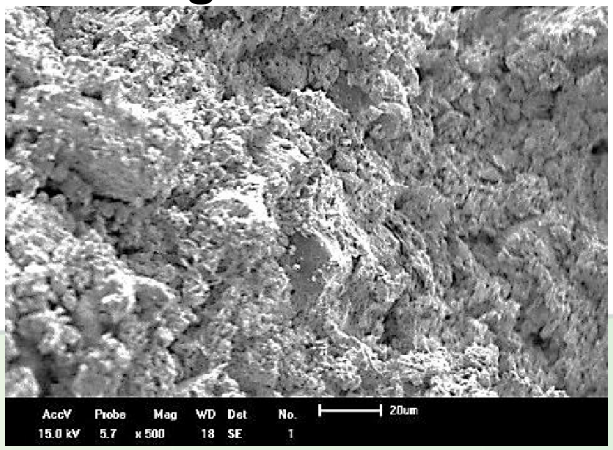
RETRAÇÃO LINEAR (%)

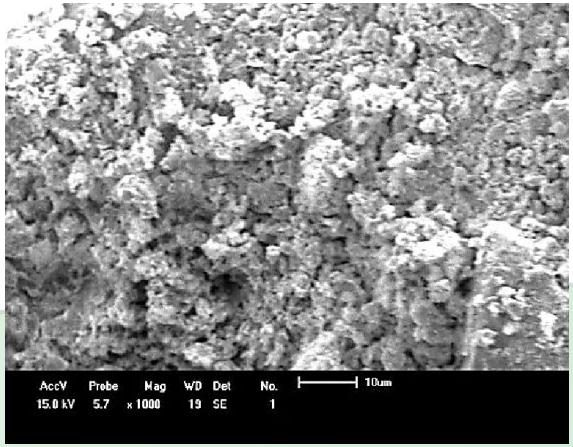
Amostra	Composição (%)				Retração Linear (%)			
	Lodo ETE	Argila	Micro Esfera	Cinza	800°C	850°C	900°C	1000°C
ETE-B1	50	30	20	---	9,59	---	10,88	11,13
ETE-B2	40	40	20	---	7,48	8	9,04	8,7
ETE-B3	40	40	10	10	10,17	11,48	11,78	11,31
ETE-B4	50	30	10	10	13,59	14,53	15,01	14,75
ETE-B5	4	86	---	10	8,18	8,8	9,35	11,75
ETE-B6	6	84	---	10	8,64	8,95	10,45	11,02
Argila	---	100	---	---	2,41	2,57	2,48	3,17

Difractograma Cerâmica Obtida – Lodo ETE



Micrografias da Cerâmica Obtida – Lodo ETE





Ensaio de Solubilizado

Elemento	Amostra 3 (Lodo ETE B) – mg/L	ABNT NBR 10004/2004 Anexo – F – mg/L
Alumínio	NC	0,2
Arsênio	NC	0,01
Bário	<0,01	0,7
Cádmio	<0,001	0,005
Chumbo	<0,01	0,01
Cobre	NC	2,0
Cromo Total	<0,01	0,05
Ferro	NC	0,3
Manganês	NC	0,1
Mercúrio	<0,002	0,001
Prata	<0,01	0,05
Selênio	<0,001	0,01
Sódio	NC	200,0
Zinco	<0,01	5,0
Magnésio	31,5	NC
Zinco	<0,02	NC

Ensaio de Lixiviado

Elemento	Amostra 3 (Lodo ETE 2) – mg/L	ABNT NBR 10004:2004 Anexo – G – mg/L
Arsênio	NC	1,0
Bário	2,0	70,0
Cádmio	<0,001	0,5
Chumbo	<0,01	1,0
Cromo Total	<0,01	5,0
Mercúrio	NC	0,1
Prata	NC	5,0
Selênio	NC	1,0
Alumínio	<0,01	NC
Cobre	<0,01	NC
Ferro	<0,05	NC
Manganês	<0,01	NC
Zinco	<0,01	NC
Magnésio	31,5	NC

AGRADECIMENTOS

- **Laboratório de Engenharia Ambiental Francisco Borsari Netto (LABEAM);**
- **Laboratório de Tecnologia Ambiental (LTA);**
- **Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR);**
- **Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC);**
- **Laboratório DIMAT da Renault do Brasil;**
- **Laboratório de Engenharia Civil da UTFPR ;**
- **Laboratório de Engenharia Química da UFPR**

Pois permitiram a realização dos testes laboratoriais nas suas dependências.

TRABALHOS FUTUROS

1. **Utilizar argila em combinação com lodo da Indústria B para desenvolver material cerâmico refratário, sem adição de vidro;**

2. **Aplicar conceitos e formulações de lodos de Indústria B, no processo de fabricação de uma olaria;**

3. **Desenvolver estudo jurídico para propor as indústrias regras no sentido de promover e estimular a utilização de materiais residuais, estabelecendo vantagem competitiva via redução da incidência de impostos sobre os produtos industrializados – IPI.**

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.