



UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA INDÚSTRIA PAPELEIRA COMO MATÉRIA-PRIMA PARA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS

Leandro Lopes Izidio¹

Gimerson Weigert Subtil²

Alexandre Augusto de Andrade³

RESUMO: Os Resíduos Dregs e a Lama de Cal são gerados nas indústrias papeleiras que utilizam o ciclo de recuperação química em seu processo de fabricação, esses resíduos são destinados, geralmente, em aterros industriais provocando um custo econômico e ambiental para o gerador. Os estudos realizados para minimizar esses impactos envolvem a utilização desses resíduos como parte da matéria prima para fabricação de tijolos. Para o processo de fabricação dos tijolos serão feitas misturas entre os resíduos e a argila, onde passaram pelos testes de perda ao fogo, retração linear, tensão de ruptura, absorção de água e densidade aparente que revelaram a qualidade desses tijolos, mostrando se os mesmos obedecem aos padrões estabelecidos pela ABNT. A partir dos resultados, foi feita comparação entre as porcentagens das misturas e a argila em si, comprovando que é possível a utilização desses resíduos para a fabricação de tijolos.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Química da Faculdade de Telêmaco Borba – FATEB, Telêmaco Borba – Paraná. leandoflopinho@hotmail.com

² Acadêmico do curso de Engenharia Química da Faculdade de Telêmaco Borba – FATEB, Telêmaco Borba – Paraná. Weigert_subtil@hotmail.com

³ Orientador, Professor mestre do Curso de Engenharia Química da Faculdade de Telêmaco Borba – FATEB. aandrade@klabin.com.br



Palavras- chave: Dregs. Lama de Cal. Recuperação Química.

1.1 INTRODUÇÃO

O meio-ambiente sofreu e vem sofrendo alterações significativas ao decorrer dos anos, mas aos poucos isso vem mudando vagarosamente devido a atitudes ambientalmente corretas e a grandes campanhas de conscientização ambientais iniciadas por instituições públicas, privadas e filantrópicas.

A geração de resíduos vem desencadeando preocupação na ordem humana, pois quase todos os setores da economia mundial despejam diariamente toneladas de rejeito ao ambiente, contudo as fábricas de papel e celulose deparam-se com problemas de ordem ambiental devido à grande quantidade de resíduos gerados. Isso tem levado vários países, dentre eles o Brasil, a tornarem suas legislações cada vez mais restritivas no sentido de, por exemplo, estabelecer limites de emissões e de obrigar os geradores a tratar e destinar adequadamente seus resíduos. A opção por aterro sanitário para disposição final destes resíduos passa a ser inviável em função dos altos custos para implantação e manutenção, além da exigência de cuidados especiais no manuseio tendo em vista os riscos de contaminação ambiental.

No caso específico dos resíduos sólidos industriais, várias são as tecnologias empregadas para tratamento e destinação adequada, dentre as quais destaca-se o co-processamento que é definido pela Deliberação Normativa - DN nº 83 de 2005 da Comissão de Política Ambiental de Minas Gerais - COPAM como sendo utilização de resíduos sólidos industriais para recuperação e/ou economia de energia e/ou substituição de matérias-primas.

Na indústria cimenteira, o co-processamento de resíduos é regido pela Resolução nº 264 de 1999 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA que dispõe sobre o licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para utilização dessa técnica. Segundo essa resolução, os resíduos podem ser utilizados como substitutos da matéria-prima desde que apresentem características similares às dos componentes normalmente



empregados na produção de clínquer, incluindo os materiais mineralizadores e fundentes. É excluído o co-processamento de resíduos domiciliares brutos, dos resíduos de serviços de saúde, dos radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins, ressaltando que a quantidade de resíduo gerado ou estocado deve ser suficiente para justificar sua utilização como substituto parcial de matéria-prima e/ou de combustível, no sistema forno de produção de clínquer, após a realização e aprovação de teste de queima. Essa resolução ressalta que o co-processamento de resíduos em fornos de produção de clínquer deve ser feito de modo a garantir a manutenção da qualidade ambiental, evitar danos e riscos à saúde e atender aos padrões de emissão fixados. Ressalta também que o produto final, no caso o cimento, resultante do co-processamento em fornos de clínquer não deve agregar substâncias ou elementos em quantidades tais que possam afetar a saúde humana e o meio ambiente.

Para a indústria de cerâmica vermelhas, embora não exista legislação específica para o co-processamento de resíduos, cuidados e precauções semelhantes devem ser priorizadas para garantir satisfatórias qualidades técnico-ambientais dos materiais cerâmicos produzidos.

O co-processamento dos resíduos sólidos industriais não é uma prática recente e tem se mostrado viável em vários países de primeiro mundo. As principais razões que tem influenciado a utilização dessa técnica são o esgotamento das reservas de matérias-primas e o crescente volume de resíduos sólidos gerados que põem em risco a saúde pública, ocupam o espaço em aterros e degradam os recursos naturais, além de gerar altos custos para a sociedade como um todo (MENEZES et al. 2002).

A indústria cerâmica se destaca nesse contexto pelo seu potencial em co-processar resíduos em virtude de possuir elevado volume de produção, e também pelo fato de alguns resíduos, aliados às características físico-químicas da matéria-prima (argila) e às particularidades do processo produtivo, poderem possibilitar vantagens à indústria e ao processo, tais como, economia e diversificação da oferta de matérias primas, redução do consumo de energia e, por conseguinte, redução de custos (ALVES; BALDO, 1998).

De acordo com as características e influências sobre as propriedades das massas e materiais cerâmicos, os resíduos sólidos industriais podem ser agrupados em redutores



de plasticidade, fundentes e combustíveis, ressaltando-se que uma classificação sistemática é muito complexa, em virtude da possível variabilidade dos efeitos causados nessas propriedades em função da porcentagem de resíduo co-processado, temperatura e patamar de queima, por exemplo.

O co-processamento de resíduos oriundos de diferentes processos industriais pela indústria cerâmica, tem sido objeto de estudo por diversos pesquisadores que buscam soluções que conciliem os aspectos técnicos e ambientais. Dentre os citados na literatura, destacam-se os da mineração, da indústria de celulose e papel, metalurgia, siderurgia, galvanoplastia e lodos de estações de tratamento de água e de efluentes dentre outros. Sendo assim, o co-processamento de determinados resíduos sólidos industriais em argila para produção de materiais cerâmicos pode ser vantajoso tanto para a indústria geradora quanto para indústria absorvedora. Para esta, cita-se vantagens como o prolongamento da vida útil das jazidas de matéria-prima, possibilidade de redução do consumo de energia e obtenção de melhorias na qualidade final dos materiais cerâmicos. Para os geradores, a minimização de passivos ambientais e de riscos de contaminação do ambiente pelo resíduo, diminuição de custos no tratamento e disposição final do resíduo. Isso contribuirá diretamente para minimização de impactos ambientais negativos que refletirá indiretamente na melhoria da qualidade de vida humana.

As pesquisas na área ambiental tornam-se uma arma importante para a minimização desses problemas por garantirem um novo rumo na disposição dos resíduos e uma maneira inovadora de utilizá-los. Sendo o objetivo do presente trabalho a utilização dos resíduos sólidos da indústria de Celulose e papel para a fabricação de tijolos, visando diminuir a quantidade de resíduos descartados em aterros.

DESENVOLVIMENTO

Foram utilizados para este trabalho lama de cal e dregs provenientes da indústria de celulose e papel e a argila foi retirada dos barreiros do município de Sapopema - PR. Os materiais foram caracterizados em suas propriedades tanto separadamente como em misturas (argila + resíduos), sendo que as amostras preparadas foram analisadas tanto após queima em temperaturas de referência industrial.



Os testes foram realizadas primeiramente para A (argila pura), em seguida B (argila + 5% de dregs), C (argila + 10% de dregs), D (argila + 5% lama de cal) e por fim E (argila + 10% lama de cal). Os corpos de prova com dimensão de 100 x 20 x15 mm foram secos em estufa a 110°C e queimados a temperatura de 850°C e 950°C então foram realizados os testes descritos a seguir para a temperatura de 850°C.

As propriedades cerâmicas obtidas foram: absorção de água, massa específica aparente (ou densidade aparente), resistência mecânica à flexão e retração linear. Essas propriedades de interesse cerâmico são referenciais para a performance do produto que se pretendeu gerar, principalmente quando se compara os resultados obtidos para corpos de prova de argila pura com aqueles obtidos para corpos de prova que receberam a adição de resíduos.

Para absorção de água e densidade aparente foi utilizado o método de ensaio NBR 6220(ABNT, 1997). Sendo dessa forma o corpo de prova após a queima deixada pra resfriar dentro do forno e pesados logo em seguida (M_s). Em seguida foram colocados em um recipiente, ao qual foi adicionado água para ebulição durante 2 horas. Durante a fervura os corpos de prova foram mantidos sempre cobertos pela água e afastados do fundo do recipiente. Após este tempo, o aquecimento foi interrompido e as amostras deixadas resfriar nesse meio até temperatura ambiente. A massa do corpo de prova imerso (M_i) foi determinada suspendendo-se o corpo de prova com um fio preso à balança. Em seguida, os corpos de prova foram retirados do recipiente, eliminando o excesso de água com um pano úmido. Eles foram então pesados (M_{sat}) para determinação da massa do corpo de prova saturado. Foi calculada a absorção de água e densidade aparente pelas seguintes fórmulas:

$$AA(\%) = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

$$DA(g/cm^3) = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \quad (2)$$

Onde:

AA = Absorção de Água (%);

DA= Densidade Aparente (g/cm^3);



Ms = massa do corpo de prova após a queima (g);

Mi = massa do corpo de prova imerso em água (g);

Msat = massa do corpo de prova saturado em água (g).

Perda ao fogo que é importante na determinação da massa final do produto, com a massa dos corpos de prova secos em estufa a 110°C (Ms) e após a queima nas temperaturas determinadas anteriormente (Mt), calculou-se a perda ao fogo (PF) pela equação:

$$PF(\%) = \frac{Ms(g) - Mt(g)}{Ms(g)} \times 100. \quad (3)$$

Onde:

PF = Perda ao fogo (%);

Mt = peso corpos secos após queima (850°C);

Ms = peso corpos secos em estufa (110°C).

Retração linear com as medidas do comprimento da amostra após a extrusão (Lu) e do comprimento da amostra após a secagem a 110°C (Ls) calculou-se o valor da retração linear de secagem:

$$RL(\%) = \frac{Lu(cm) - Ls(cm)}{Lu(cm)} \times 100\%. \quad (4)$$

Onde:

RL = Retração Linear (%);

Lu = comprimento após a extrusão;

Ms = comprimento após secagem em estufa (110°C).

Tensão de ruptura a flexão é uma maneira de verificar a resistência mecânica das peças quanto ao manuseio e suporte ao empilhamento da carga no enformamento e



transporte final. O equipamento utilizado para esse ensaio foi a máquina de ensaios à flexão KRATOS, DEK 500/1000. A distância entre os apoios foi de 50 mm e o aumento de carga, conforme Método de ensaio e Procedimento, foi de 3 kgf/s. A equação que determina o valor da tensão de ruptura é:

$$TRF = \frac{1,5.P.L}{a^2.b} \quad (5)$$

Onde:

TRF = tensão de resistência à flexão (MPa);

P = carga máxima atingida no momento da ruptura (N);

L = distância entre os apoios (mm);

a = espessura do corpo de prova (mm);

b = largura do corpo de prova (mm).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados os corpos de prova queimados a 850°C e selecionadas cinco tipos de misturas: A (argila pura), B (argila + 5% de dregs), C (argila + 10% dregs), D (argila + 5% lama de cal) e E (argila + 10% lama de cal). Segue abaixo a Figura 1 com as amostras dos corpos de prova:



Figura1: Amostra dos corpos de prova queimados a 850 e 950°C.



Segundo normas da ABNT perda ao fogo dever ter um percentual inferior a 10%, retração linear inferior a 6%, absorção de água com percentual inferior a 20%, tensão de ruptura superior a 20 Kgf/cm² e densidade aparente superior a 1,7 g/cm³. Os resultados comparativos das misturas sintetizadas a 850°C estão dispostos graficamente na Figura2.

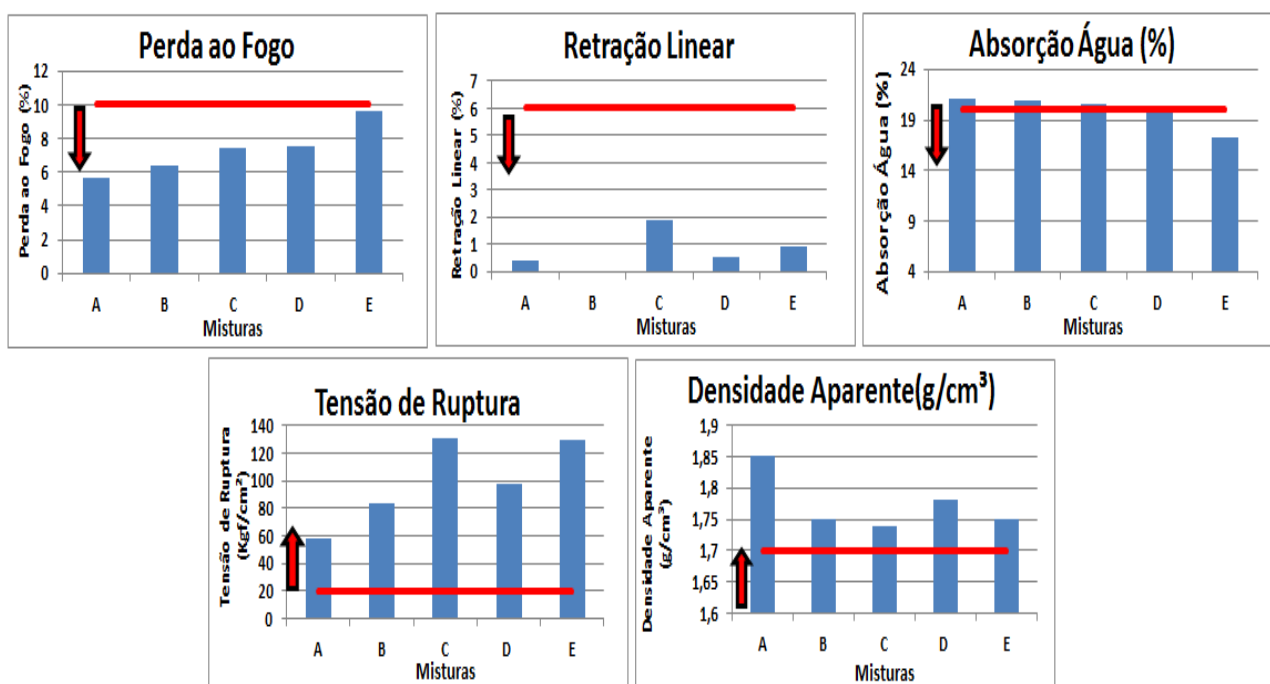


Figura2: Avaliação comparativa das misturas queimadas a 850 °C.

De acordo com os resultados percebe-se que as misturas atendem aos valores de referência para a perda ao fogo ($PF \leq 10\%$) apenas a mistura E ficou próximo do limite especificado, à retração linear ($RL \leq 6\%$) e tensão de ruptura à flexão ($TRF \geq 20 \text{ kgf/cm}^2$) todas atenderam aos limites. No ensaio de Absorção de Água ($AA \leq 20\%$) a mistura A ficou acima do desejado e Densidade Aparente ($DA \geq 1,7 \text{ g/cm}^3$) todas as amostras atenderam as especificações.

CONCLUSÃO



A partir dos resultados obtidos em bancada, foram comprovadas as reais melhorias dos testes físicos, a formação de fases cristalinas responsáveis pela maior resistência mecânica à flexão do material cerâmico podendo ser utilizado parte do resíduo substituindo a argila nas indústrias de cerâmica minimizando a quantidade de resíduo descartado para aterro.

As análises dos resultados obtidos neste estudo permitem concluir que é possível a incorporação de resíduos do tipo dregs e lama de cal proveniente da fabricação de celulose, em argilas comuns utilizadas em indústria cerâmicas para a fabricação de produtos de cerâmica vermelha ou estrutural, tais como tijolos, blocos e telhas cerâmicas.

A cor pós-queima dos corpos de prova com esse percentual de resíduo praticamente não se alterou. Assim, por conterem elevados teores de elementos fundentes (particularmente cálcio) e teores pequenos de outros metais (inclusive ferro), os resíduos estudados apresentam potencial para incorporação a outros tipos de massas cerâmicas, podendo inclusive resultar em melhorias na qualidade dos produtos e principalmente numa diminuição na temperatura de queima (economia de energia na produção).

A produção de materiais cerâmicos para a construção civil (especialmente tijolos) a custos menores, pode estimular a substituição da madeira empregada nas habitações locais, predominantes hoje na região. Tal substituição poderia auxiliar na desejada diminuição do desmatamento na região. O ensaio de solubilização com as amostras queimadas contendo resíduos mostrou que a introdução do dregs e da lama de cal, classificados pela atual legislação como “não inertes”, à massa cerâmica, resultou em produto de estabilidade química atraente, inertizando quimicamente os resíduos. Esse fato é importante porque no caso do descarte de peças cerâmicas contendo os resíduos, na própria fabricação ou pós-consumo, os cacos e fragmentos gerados constituirão novos resíduos, mas desta vez de baixa agressividade ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS CERAMICAS. Informações Técnicas dos Processos de Fabricação de Tijolos. Disponível em: <www.abceram.org.br>. Acesso em: 03 de julho de 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459 – Solo - Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984a. 6 p.

_____. NBR 6220 – Materiais refratários densos conformados - Determinação da densidade de massa aparente, porosidade aparente, absorção e densidade aparente da parte sólida Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 2 p.

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Apresenta dados do setor em: <<http://www.anicer.com.br>>. Acesso em 10 de agosto de 2013.

ALVES, W. A.; BALDO, J. B. – O potencial da utilização de um resíduo argiloso na fabricação de revestimento cerâmico – Parte II. Cerâmica Industrial, São Paulo, v.3, n.1-2, p.34-36, 1998. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v03n12/v3n12_5.pdf>. Acesso em 28 de junho de 2013.

CENIBRA – CELULOSE NIPO-BRASILEIRA S/A. Relatórios técnicos da ETA CENIBRA no ano de 2006 e 2007. Belo Oriente. 2006.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 264 de 1999. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=262>>. Acesso em 25 de junho de 2013.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. 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. v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662002000200020&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em 28 de junho de 2013.