

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA A PRODUÇÃO DE ARTEFATOS CIMENTÍCIOS E ARGILOSOS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Denis Lucas*
Cláudia Telles Benatti**

RESUMO: Ecossistemas estão se transformando e, em muitos casos, sendo degradados de forma irreversível. O crescimento da população mundial e o consumo exagerado aumentaram a demanda por recursos naturais, afetando diretamente as diversas formas da vida no planeta. A quantidade de resíduos sólidos gerados pelas atividades industriais também cresceu em importância mundial e ambiental, pois estes são produzidos por vários tipos de processo, representando milhões de toneladas por dia em todo o mundo. A disposição adequada de resíduos passou a ser primordial para a preservação ambiental, surgindo a necessidade de se desenvolverem mecanismos que promovam a conscientização e a busca de soluções para a implantação de tecnologias capazes de minimizar os impactos decorrentes da disposição destes resíduos no ambiente e também reduzir os custos envolvidos nesta atividade. Destarte, a reciclagem de resíduos é fundamental para a preservação, conservação e redução do consumo de recursos naturais não renováveis do planeta, pois satisfaz às necessidades da população presente sem comprometer a sobrevivência das gerações futuras e também do próprio planeta. Nessa busca de soluções que minimizem as agressões ao ambiente, destaca-se o setor da construção civil, que, sendo um ramo da atividade tecnológica consumidor de grande volume de recursos naturais, apresenta grande potencial para o aproveitamento de resíduos sólidos em materiais de construção. Assim, é possível dar um destino ambientalmente correto a estes resíduos, que, de outra forma, tornam-se fontes de poluição das águas, do ar ou do solo. O presente texto apresenta uma revisão focada na utilização desses resíduos na produção de blocos e tijolos de cimento e argilosos, com algumas considerações sobre a importância da construção civil como receptora de resíduos sólidos industriais e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável do planeta.

PALAVRAS CHAVE: Construção Civil; Blocos Cerâmicos; Blocos de Cimento Incorporação; Resíduo Industrial.

* Pós-graduando em Planejamento Ambiental no Centro Universitário de Maringá – CESUMAR. E-mail: dluca2004@yahoo.com.br

** Docente de Pós-graduação em Planejamento Ambiental no Centro Universitário de Maringá – CESUMAR. E-mail: ctbenatti@yahoo.com.br

THE USE OF INDUSTRIAL PRODUCTION WASTE OF CEMENT AND CLAY ARTIFACTS USED IN CIVIL CONSTRUCTION

ABSTRACT: Ecosystems are changing and in many cases, being degraded in irreversible order. The global population growth and the excessive consumption increased the demand for natural resources, affecting directly many forms of life on the planet. The amount of solid waste generated by industrial activities also grew in global importance and environment, they are produced by several ways, representing worldwide millions of tons per day. The proper disposal of waste has become primary for environmental preservation, emerging the need to develop mechanisms to promote the awareness and find solutions to the deployment of capable technologies of minimizing the arising impacts from the disposal of these wastes in the environment and also reduce the involved costs in this activity. Thus, the recycling of waste is essential to the preservation, conservation and reduce of the exhaustible natural resources consumption in the planet, because it goes to the present needs without compromising the future generations and the planet's survival. In this solution search for minimizing the environment damages in the construction sector, in which is a hive in the technology activity and a big consumer of natural resources, presents great potential for the use of solid waste into construction materials. So, it is possible to provide an environmentally correct destination for these wastes, otherwise it would become a source of water air or soil pollution. This paper presents a review focused on the use of such waste in the production of cement and clay bricks and blocks, with some considerations about the importance of construction receiving industrial solid waste and its contribution to the sustainable development of the planet.

KEY WORDS: Ceramic blocks; Cement blocks; Construction; Incorporation; Industrial waste.

INTRODUÇÃO

Um dos vários problemas enfrentados pela humanidade à entrada do século XXI é o da utilização dos resíduos e seu gerenciamento (DEBAPRIYA; SUKUMAR; ADHIKARI, 1999). Os resíduos gerados pelas atividades industriais crescem em importância no cenário ambiental, uma vez que são produzidos por vários tipos de indústria, tais como a metalúrgica, a química, a petroquímica, a papelreira, a alimentícia, etc. Tais resíduos são bastante variados, podendo ser representados por cinza, lodo, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plástico, papel, madeira, fibras, borracha, metais, escórias, vidro, cerâmica e outros (NAUMOFF; PERES, 2000). Estes representam

uma produção de milhões de toneladas por dia em todo o mundo (CORDOVA, 2007). Assim, a disposição adequada de resíduos passou a ser primordial para a preservação ambiental, surgindo a necessidade de se desenvolverem mecanismos para promover a conscientização e a busca de soluções para a implantação de tecnologias capazes de, a um só tempo, minimizar os impactos decorrentes da disposição destes resíduos no ambiente e reduzir os custos envolvidos nessa atividade.

Nesta visão, a reciclagem de resíduos é fundamental para uma sociedade apoiada no desenvolvimento sustentável (ENBRI, 1994), capaz de satisfazer as necessidades do conjunto da população do presente sem comprometer a capacidade de sobrevivência de gerações futuras. Dessa forma, o desenvolvimento de estudos voltados à reciclagem e/ou reutilização dos resíduos representa uma alternativa capaz de contribuir para a utilização de matérias-primas alternativas e diminuir os custos finais dos setores industriais geradores e consumidores de resíduos, além de preservar o ambiente.

Na busca de soluções que minimizem as agressões ao ambiente, temos o setor da construção civil, um ramo da atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, pode ser largamente indicado para absorver resíduos sólidos. Segundo Jhon (2008), a construção civil é o setor responsável pelo consumo de maior volume de recursos naturais, em estimativas que variam entre 15 e 50% dos recursos extraídos, além de seus produtos serem grandes consumidores de energia, e por estas razões, é de fundamental importância o desenvolvimento de materiais alternativos que atendam a essa atividade.

Dentro da construção civil, a reutilização dos resíduos sólidos pode ajudar a reduzir os custos e prejuízos ambientais relativos ao tratamento e/ou disposição final desses resíduos, e também na redução dos impactos ambientais decorrentes da extração de matéria-prima diretamente do ambiente. Assim, a indústria da construção civil pode ter um papel relevante como receptora de resíduos sólidos no tocante à sua disposição final. A incorporação desses resíduos em matrizes cerâmicas e cimentícias com o objetivo de produção de artefatos para a construção civil, se feita de maneira criteriosa, permite dar um destino ambientalmente correto para resíduos que, de outra forma, seriam fontes de poluição.

Atualmente, um número crescente de publicações tem abordado o estudo da utilização de resíduos industriais na produção de artefatos destinados à construção civil. Destaca-se a aplicação de resíduo industrial na produção de blocos e tijolos cerâmicos e cimentícios, telhas, lajotas para piso e forro, bloquetes para piso e tubos cerâmicos. Os estudos estão focados em alguns resíduos de interesse, como a lama de estações de tratamento de água e efluentes, cinzas de usinas hidrelétricas, areias de fundição, refugos de mineração, escórias de fornos, resíduos de serragem de granito, entre outros.

O presente texto apresenta uma breve revisão focada na utilização desses resíduos na produção de blocos e tijolos cimentícios e argilosos. São tecidas algumas considerações

sobre as características gerais dos resíduos industriais e sobre alguns de seus empregos. Também foram desenvolvidas algumas considerações sobre a importância da construção civil como receptora de resíduos industriais. Acredita-se que estas informações possam servir de embasamento para o desenvolvimento de pesquisas que visem tanto a dar uma destinação ambientalmente segura aos resíduos industriais quanto ao desenvolvimento de matérias de construção com características que permitam sua aceitação no mercado.

2 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES ACERCA DO RESÍDUO INDUSTRIAL

O ramo das atividades industriais vem crescendo rapidamente no mundo todo. Esse crescimento faz com que a poluição ambiental se alastre, causando verdadeiros impactos na qualidade de vida das pessoas e principalmente no ambiente.

Define-se como poluição qualquer alteração física, química ou biológica que produza modificação no ciclo biológico normal, interferindo na composição da fauna e da flora do meio (AGUIAR; NOVAES; GUARINO, 2002). Entre as diversas formas de poluição ambiental está a poluição por resíduos industriais, em que se apresentam graves problemas socioeconômicos e ambientais. Envolvem-se nesse problema a geração, o acondicionamento, o manuseio, a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final (JACOMINO et al., 2002).

O termo *resíduo* deriva do latim “resíduo” e significa resto. Os resíduos sólidos, uma das formas da poluição industrial, indicam ineficiência do processo produtivo, representando, quase sempre, perdas de matérias-primas e insumos (JACOMINO et al., 2002). No entanto, a geração de resíduos sólidos na atividade industrial não se restringe às etapas do processo produtivo, nas quais ocorrem descartes de subprodutos que não possuem valor econômico. Nessas atividades, os sistemas de tratamento de águas residuárias e emissões atmosféricas são importantes geradores de resíduos sólidos (OLIVEIRA; LANGE, 2005).

A destinação, tratamento e disposição final de resíduos sólidos devem seguir a Norma NBR 10.004 (ABNT, 2004a), que classifica os resíduos quanto à sua periculosidade para o ambiente e a saúde pública. Para a aplicação desta norma é necessário consultar as “Normas Complementares”, das quais fazem parte a lixiviação (ABNT, 2004b), a solubilização (ABNT, 2004c) e a amostragem de resíduos (ABNT, 2004d). Destarte, os resíduos podem ser classificados em perigosos (classe I) e não perigosos (classe II), sendo estes subdivididos em não-inertes (classe IIA) e inertes (classes IIB). Os resíduos perigosos são aqueles que apresentam periculosidade ou uma das características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Os resíduos não-inertes são aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos perigosos nem na de inertes, nos termos da referida norma. Os resíduos não-inertes podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Os resíduos industriais devem ser tratados isolando o componente que apresente uma das características acima descritas, e quanto à disposição final, devem ser isolados com segurança do ambiente, em aterros específicos para esse tipo de resíduo, ou encaminhados para reúso ou reciclagem. Outras formas de tratamento e destinação final de resíduos industriais incluem o co-processamento, a incineração, a estabilização e solidificação e, no caso de resíduos não perigosos, a fertilização ou *landfarming*.

Os impactos causados pela disposição inadequada de resíduos sólidos podem resultar na contaminação das águas, do ar ou do solo. A contaminação do solo pode ocorrer quando a disposição final de resíduos é feita de maneira inadequada, possibilitando que poluentes afetem o ambiente quando arrastados com água, lixiviados ou solubilizados (ZULAUF, 1977).

Duas alternativas, não excludentes, podem ser consideradas quando se busca a redução dos custos de deposição e tratamento de resíduos: a redução do volume de resíduos produzidos e a reciclagem dos resíduos (JOHN, 1997).

A redução do volume de resíduos produzidos apresenta, sempre, limites técnicos difíceis de ultrapassar em uma determinada base tecnológica. A reciclagem ou reutilização dos resíduos não apresenta, *a priori*, nenhum limite desta natureza e é a única maneira de tratá-los que pode gerar recursos financeiros (JOHN, 1997). Além disso, a reciclagem é uma necessidade para a preservação do ambiente, não apenas pelo risco de contaminação ambiental representado pelos resíduos, mas também pela possibilidade de reduzir o consumo de energia e recursos naturais não-renováveis, viabilizando o desenvolvimento sustentável.

Nesse cenário, o setor da indústria da construção civil entra como grande consumidor de materiais, sendo responsável pelo consumo de 15 a 50% dos recursos naturais extraídos (JOHN, 2008). Mesmo uma pequena habitação incorpora grande quantidade de materiais. É também um mercado praticamente universal.

Assim, o processo de incorporação de resíduos sólidos industriais em produtos da construção civil se apresenta como uma realidade aplicável, necessária, viável e econômica, pois contribui de forma direta para a diminuição de recursos naturais não renováveis da natureza, utilizando a reciclagem e aumentando a perspectiva de vida não só das pessoas, mas também do planeta.

3 INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS EM TIJOLOS, BLOCOS CERÂMICOS E EM BLOCOS CIMENTÍCIOS

Durante esta pesquisa, inúmeros estudos e projetos foram encontrados a respeito do tema e merecem destaque no texto. Todos, em sua essência, demonstram a importância e necessidade de aplicação e incorporação de resíduos industriais,

principalmente no setor da construção civil, que consome um volume exagerado de matéria-prima na confecção de seus produtos.

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, o que possibilita o consumo de grandes quantidades de rejeitos. Esse volume de consumo, aliado às características físico-químicas das matérias-primas cerâmicas e às particularidades do processamento cerâmico, faz da indústria cerâmica uma das grandes opções para a reciclagem de resíduos sólidos (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002). Além disso, a incorporação de resíduos na matriz cerâmica traz diversas vantagens para a indústria, como economia de matéria-prima não-renovável, obtenção de produtos com forte apelo ambiental, redução do consumo de energia e outros.

Keller e colaboradores (1997) estudaram a adição de resíduos sólidos de curtumes a massas cerâmicas para a fabricação de corpos de prova cilíndricos de 50mm de diâmetro e 50mm de altura. Os aspectos analisados foram: resistência à compressão, absorção de água, lixiviação e solubilização. Com 6% de aditivo, a resistência mecânica à compressão manteve-se dentro das exigências das normas vigentes.

Balaton, Gonçalves e Ferrer (2002) estudaram a incorporação de resíduos sólidos galvânicos em massas de cerâmica vermelha. Foram avaliados os riscos ambientais da incorporação desta lama mediante testes de lixiviação e solubilização nos produtos cerâmicos. Observou-se que, com a adição de até 2% da lama galvânica na composição da massa, não houve alteração significativa nas propriedades da massa referencial, mas com a adição de proporções superiores a esta, os corpos de prova apresentaram durante o processo de secagem a formação de eflorescência em suas superfícies, sendo tal formação tanto maior quanto mais elevada a proporção de resíduo. Não obstante, uma lavagem do resíduo excluiu o problema da eflorescência e não interferiu nas propriedades cerâmicas. Testes de lixiviação e solubilização realizados em corpos de prova com incorporação de 2% de resíduo lavado apresentaram características e propriedades próximas à massa referencial, mostrando que houve inertização dos metais. Os resultados mostraram que a incorporação do resíduo galvânico em massa de cerâmica vermelha estrutural é uma boa alternativa para a inertização do resíduo.

Basegio e colaboradores (2002) estudaram a incorporação de lodo de curtime em argilas usadas na produção de materiais cerâmicos. Os materiais brutos, lodo de curtime e argila, foram misturados em diferentes proporções. Os aspectos analisados foram: absorção de água, porosidade, retração linear, força de ruptura, lixiviação, solubilização e emissões gasosas durante a queima. A caracterização ambiental dos produtos cerâmicos indicou que um material contendo 10% de lodo de curtime pode ser usado satisfatoriamente para a fabricação de tijolos destinados ao setor da construção civil.

Nuvolari e Coraucci Filho (2003) estudaram a utilização de lodo gerado em estação de tratamento de esgoto em massas cerâmicas para confecção de tijolos. Foi utilizado

como matéria-prima um solo argiloso com dois diferentes tipos de lodo: o primeiro, oriundo de um sistema convencional de lodos ativados e condicionados com cal e cloreto férrico e desaguados em filtro-prensa de placas, e o segundo, oriundo de um reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), desaguado em leito de secagem e sem condicionamento químico. Os lodos foram misturados ao solo nas proporções de 0, 10, 20 e 30% (em peso seco). Foram avaliados os principais parâmetros tecnológicos (massa específica aparente pós-queima, retração, absorção de água e resistência à compressão), e ambientais (solubilização, lixiviação e radioatividade), tendo-se concluído que ambos os lodos podem ser utilizados em massa cerâmica na proporção de até 10%.

Giffone e Lange (2005) estudaram a borra de fosfato, um resíduo gerado em indústrias que possuem em seu processo produtivo a etapa de pintura em superfícies metálicas, como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos. Percentuais de 0, 5, 10 e 20% do resíduo foram misturados à argila para avaliação da melhor composição para a fabricação de tijolos. Com base nos resultados obtidos, chegou-se a uma formulação de 90% da matéria-prima convencional (argila) e de 10% da matéria-prima alternativa (borra de fosfato) para a confecção de tijolo em escala industrial. O tijolo fabricado com 10% do resíduo borra de fosfato atende ao requisito de absorção de água estabelecido para blocos cerâmicos pela norma NBR 7171/92 (não inferior a 8% nem superior a 25%).

Vieira e Monteiro (2006) pesquisaram a incorporação de resíduo oleoso proveniente do setor petrolífero em cerâmica argilosa. O resíduo utilizado se constituiu de uma borra pastosa obtida no processo de separação de água e óleo realizado na plataforma marítima após a extração do petróleo. Antes de sua incorporação, esta borra foi submetida a um processo de tratamento de inertização. Observou-se uma redução da absorção de água com o incremento do teor de resíduo, havendo uma melhora na *performance* técnica da cerâmica. Esta redução foi aproximadamente de 15% para 10% de resíduo incorporado. Observou-se também uma melhora na resistência mecânica do material cerâmico, com incremento na densidade aparente a seco e de queima e de redução da absorção de água.

Moreira, Oliveira e Lima (2001) avaliaram a adição do lodo de águas residuais da indústria têxtil para a fabricação de materiais de construção (cerâmica vermelha). O lodo utilizado era constituído basicamente do corante CI VAT BLUE1 (Índigo Bann 30), utilizado como tintura do tecido, e dos compostos sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) e polieletrólito catiônico D-140, que são usados como agentes flocculantes na estação de tratamento de efluentes. Concluiu-se que é possível a utilização dos lodos de águas residuais para a fabricação de materiais de construção (cerâmica vermelha), desde que se utilize a proporção adequada de argila-lodo e argilas de natureza adequada e se aplique o tratamento térmico apropriado.

Herek e colaboradores (2005) estudaram a incorporação do lodo da indústria têxtil em material cerâmico. O processo de solidificação/estabilização foi utilizado na

construção dos corpos de prova lodo/argila (tijolos) nas dosagens de 0, 10 e 20% em relação à argila. Foram realizados testes de resistência à compressão de absorção de água e as análises de lixiviação e solubilização. Os resultados permitiram concluir que a incorporação atende às normas da ABNT para os blocos confeccionados com 10% de lodo. Aplicando-se esta percentagem e técnica utilizada no referido trabalho, é possível a utilização desses blocos como material de construção, diminuindo o impacto ambiental causado por resíduos provenientes de tratamento de efluentes têxteis.

Menezes, Neves e Ferreira (2002) avaliaram a incorporação de resíduo do beneficiamento do caulim na produção de blocos e telhas cerâmicos. A partir dos resultados obtidos pôde-se concluir que a incorporação é uma excelente alternativa para a reciclagem do resíduo de caulim, sendo possível a incorporação de até 50% de resíduo em formulações cerâmicas para a produção de tijolos e telhas. A incorporação do resíduo do beneficiamento do caulim em matriz cerâmica, portanto, representa uma significativa economia de matéria-prima para os produtores cerâmicos, mostrando-se uma alternativa economicamente viável, devido ao seu grande volume de produção, tanto para os mineradores quanto para os beneficiadores de caulim.

O cimento, atualmente, é um dos materiais mais usados no Brasil, com um consumo aparente registrado no ano de 2000 de 39.179.754 t e um consumo aparente projetado de 53.899.670 t para 2010. O consumo está distribuído entre revendedores (76,5%), concreteiras (11%), fibrocimento, pré-moldados e artefatos (7,8%), construtores (4,5%) e outros (0,1%) (COSTA ROBERTO, 2001). Portanto, a argamassa pode ser considerada como uma matriz promissora para agregar determinados resíduos industriais.

Zardo e colaboradores (2004) estudaram a utilização da cinza resultante da pirólise do bagaço de cana-de-açúcar, um resíduo sólido composto de lignina e celulose proveniente da extração do caldo da cana-de-açúcar, como adição mineral em compósitos de matriz cimentícia. A cinza moída foi incorporada em matriz de cimento juntamente com fibras vegetais e sintéticas, para produção de placas prensadas de fibrocimento em escala laboratorial. Os compósitos foram submetidos a ensaios físicos e mecânicos aos 28 dias de idade e após 50 ciclos de envelhecimento acelerado por imersão-secagem. A composição química da cinza e o ensaio de difração de raios-X indicaram teor de SiO_2 igual a 77% na forma cristalina. Os compósitos com cinza moída apresentaram resultados de resistência à tração na flexão superiores aos dos compósitos com cinza não moída. A resistência mecânica dos tratamentos manteve-se praticamente inalterada depois dos 50 ciclos de imersão-secagem. Após o ensaio de envelhecimento, observou-se queda dos valores de tenacidade e de absorção de água do compósito e aumento dos valores do módulo elástico, o que pode ser explicado principalmente pela hidratação continuada da matriz.

Hoppen e colaboradores (2005) realizaram um estudo da incorporação do lodo de estação de tratamento de água em matriz de concreto, em substituição parcial à areia. O

resíduo apresentava alto teor de umidade (88%), além da presença de sílica, alumínio e ferro. Pôde-se concluir que uma proporção inferior a 7% resulta em um concreto de melhor desempenho. Por meio da análise conjunta de fatores como trabalhabilidade, resistência mecânica, massa específica, absorção da água e consumo de matéria-prima, pôde-se concluir que, apesar de a incorporação do lodo em teores inferiores a 10% diminuir a qualidade do concreto, esta ainda continua dentro dos padrões aceitáveis por Norma pela construção civil. Outro ponto destacado foi a redução do consumo de matéria-prima, que, além de reduzir os impactos ambientais causados pela extração, reduz a quantidade de resíduos lançados indiscriminadamente no ambiente.

Paschoalino e colaboradores (2006) estudaram a incorporação de CuSO_4 residual gerado em escolas de ensino médio em argamassa, como método de disposição final. Os resultados mostraram que a proporção de 0,50% de CuSO_4 incorporado foi a mais indicada para o preparo da argamassa, devido à sua melhor relação resistência/porosidade. Esta proporção equivale a adicionar 5 kg de CuSO_4 em cada tonelada de massa para preparo de argamassa. Tal proporção deve ser usada para preparo de objetos não estruturais, como mourões e bases para calçamentos. Nas condições estudadas concluiu-se que a taxa de lixiviação do resíduo incorporado foi desprezível para o cobre que se desejava imobilizar.

Rolim (2007) estudou a viabilidade da incorporação de resíduos de EVA (poliacetato de etileno vinil ou copolímero de etileno-acetato de vinila) da indústria calçadista no concreto. O EVA é um polímero microporoso e de difícil reprocessamento, constituído por resina de EVA, agente de expansão, agente reticulante e cargas, ativadores e auxiliares de processo, além de outros polímeros, como a borracha. O resíduo de EVA é composto pelos retalhos que sobram do processo de corte mecânico das chapas no formato da sola, entressola ou palmilha de calçados. Como o EVA tem uma massa unitária baixa, o volume gerado é muito grande e as áreas para a sua armazenagem (aterros) começam a ficar escassas. Além disso, o EVA, por não ser biodegradável, acumula-se ao longo do tempo nos aterros. O produto obtido a partir deste resíduo é um agregado sintético para a construção civil empregado na fabricação de blocos para a alvenaria, painéis moduláveis, enchimento de lajes, etc. Blocos de concreto produzidos pela incorporação deste resíduo apresentaram algumas vantagens em relação aos convencionais fabricados com concreto puro, como menor peso por m^2 ; maior uniformidade, leveza de dimensões maiores que as convencionais; excelente capacidade de aderência à argamassa de reboco e outros tipos de acabamento, permitindo uma economia nos acabamentos; e ainda menor custo de transporte, devido à relação peso/volume do produto. De acordo com o estudo, foi possível obter uma solução viável economicamente para um problema ambiental, trazendo benefícios para a sociedade, por meio da redução do volume de resíduos enviados para aterros e geração de novos empregos.

Paiva (2007) estudou a utilização de lodo gerado na estação de tratamento de efluentes da indústria de papel na produção de compósitos cimentícios para a construção civil. Foi estudada a indiluição de diferentes teores da adição do lodo de ETE (0, 5, 10, 20 e 30% em massa) em argamassa de cimento e areia, com relação água-cimento de 0,65. Foram analisados a massa específica aparente, a absorção de água por capilaridade e imersão, a retratibilidade, o isolamento acústico, a resistência à compressão e a microestrutura. Determinou-se 12% como ponto ótimo de incorporação, garantindo a resistência mínima à compressão de 2,5 MPa exigida para blocos sem função estrutural.

Zattera e colaboradores (2007) estudaram o reúso de resíduos de laminados de fibra de vidro em matrizes cimentícias. A utilização de resíduos de laminados de fibra de vidro na construção civil se deve às suas propriedades mecânicas, leveza e resistência à corrosão e ao fogo. A partir dos resultados obtidos observou-se que, à medida que aumenta o teor de resíduo nos compósitos cimento/areia/resíduo, diminui a resistência à compressão. Quanto à resistência à flexão, a adição do resíduo na argamassa teve um comportamento semelhante ao material contendo cimento e areia, mantendo-se praticamente constante ao longo do período de cura. No entanto, a adição de resíduo acima de 15% não apresenta resultados satisfatórios, mostrando, acima desta porcentagem, comportamento de resistência mecânica muito baixa em relação ao corpo de prova-padrão. O comportamento da resistência mecânica tanto em solução alcalina como em condições ambientes praticamente tiveram os mesmos resultados. Nos testes de absorção de água, os valores mantiveram-se praticamente constantes em relação ao tempo de cura - de 7 e 60 dias. O corpo de prova-padrão apresentou, no tempo de 60 dias, uma diminuição significativa da absorção de água, com resultados inferiores em comparação aos obtidos pela mistura argamassa/resíduo.

4 TENDÊNCIAS FUTURAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O resultado do crescimento das atividades industriais é uma enorme quantidade de resíduos, que são gerados após a confecção dos seus produtos. Assim, a responsabilidade de destinação final dos resíduos também é da empresa, havendo a necessidade de se ter um plano de gerenciamento desses resíduos, buscando-se soluções por meio da implantação de tecnologias capazes de minimizar os impactos causados pela disposição desses resíduos no ambiente e de reduzir os custos envolvidos nesta atividade. Dessa forma, a disposição final de resíduos passa a ser essencial para a preservação ambiental.

O reúso e a reciclagem de resíduos têm um potencial de crescimento muito grande, principalmente nos países em desenvolvimento. Neste cenário, a reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade, seja atenuando o impacto ambiental gerado pelo setor seja reduzindo os custos.

O setor da construção civil, sendo um grande consumidor de recursos naturais, representa uma alternativa econômica e necessária para a disposição final de resíduos industriais, através da incorporação em produtos cerâmicos e cimentícios, pois promove o desenvolvimento sustentável, baseando-se na conservação e preservação ambiental. No entanto, é de extrema importância considerar na avaliação de produtos reciclados, além das características físicas do material, o risco à saúde dos usuários do novo material e dos próprios trabalhadores da indústria recicladora, devido à lixiviação de frações solúveis ou até mesmo à evaporação de frações voláteis.

5 CONCLUSÕES

A importância da destinação correta de resíduos é hoje plenamente reconhecida, sendo que o seu desenvolvimento metodológico apresentou, na última década, um progresso bastante significativo. Entre as alternativas de tratamento e disposição final de resíduos industriais disponíveis, a incorporação desses resíduos em materiais de construção apresenta-se como uma solução técnica viável e de grande potencial de crescimento, possibilitando, ainda, redução nos custos dos produtos obtidos. Esta alternativa para a disposição final de resíduos industriais pode, ainda, contribuir para a sustentabilidade do país, por meio da redução do uso de recursos naturais não-renováveis e do consumo de energia, aumento da vida útil dos aterros sanitários, geração de novos empregos e diminuição de impactos ambientais, gerando mais qualidade de vida para os cidadãos e para o planeta.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu irmão, Afrísio Lucas Júnior, por colaborar na confecção deste artigo de revisão, e aos meus pais, por terem me dado o prazer de viver.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Classificação de Resíduos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005: Lixiviação de Resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006: Solubilização de Resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004c.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007: Amostragem de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004d.

AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C.; GUARINO, A. W. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Quim. Nova**, v. 25, n. 6B, p. 1145-1154, 2002.

BALATON, V. T.; GONÇALVES, P. S.; FERRER, L. M. Incorporação de Resíduos Sólidos Galvânicos em Massas de Cerâmica Vermelha. **Cerâmica Industrial**, v. 7, n. 6, nov./dez. 2002. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v07n06/v7n6_07.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2007.

BASEGIO, T. et al. Environmental and technical aspects of the utilization of tannery sludge as a raw material for clay products. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 22, p. 2251-2259, 2002.

DEBAPRIYA, D.; SUKUMAR, M.; ADHIKARI, B. Reclaiming of rubber by a renewable resource material (RRM). II. Comparative evaluation of reclaiming process of NR vulcanizate by RRM and diallyl disulfide. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 73, n. 14, p. 2951-2958, 1999.

ENBRI. Development of a framework for environmental assessment of building materials and components (ENBRI Proposal to European Community BRITE EURAM Program). [S. l.]: ENBRI, 1994.

GIFFONE, P. O.; LANGE, L. C. **A utilização de borra de fosfato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos**. Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, v. 10, n. 2, abr./jun. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522005000200006&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 18 dez. 2007.

JACOMINO, V. M. F. et al. **Controle Ambiental das Indústrias de Ferro-Gussa em Altos-Fornos a Carvão Vegetal**. Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente, 2002. p. 181-197.

JOHN, V. M. **A construção, o meio ambiente e a reciclagem**. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a_construcao_e.htm> Acesso em: 14 jan. 2008.

_____. Pesquisa e Desenvolvimento de Mercado para Resíduos. In: **RECICLAGEM e reutilização de resíduos como materiais de construção civil**. São Paulo, 1996. São Paulo: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1997. p. 21-30.

KELER, W. et al. O cromo nos resíduos sólidos de curtumes - Imobilização em materiais cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997, Foz do Iguaçu. **Anais Eletrônico...** Disponível em: <<http://www.geocities.com/profberti/8.htm>>. Acesso em: 18 fev. 2008.

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.

MOREIRA, A. H.; OLIVEIRA, R. M.; LIMA, P. D. S. Efeito da adição do lodo de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção. **Cerâmica**, v. 47, n. 303, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v47n303/6596.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2007.

NAUMOFF, A.F.; PERES, C.S. Reciclagem de matéria orgânica. In: PANOSSIAN, Z. Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas. São Paulo: IPT, 2000. v. 2.

NUVOLARI, A.; CORAUCCI FILHO, B. Utilização de Lodos de Esgoto Sanitário em Tijolos Cerâmicos Maciços: Aspectos Tecnológicos e Ambientais, In: FÓRUM DAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS PAULISTAS - CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS, 1, 2003, São Pedro - S. P. **Anais...** São Pedro: ICTR, 18-20 maio 2003. p. 729-743.

OLIVEIRA, G. A. G.; LANGE, L. C. Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Industriais na Área Mineira da Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. In: ABES. **Saneamento ambiental Brasileiro: Utopia ou realidade?**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitaria e Ambiental – ABES, 2005. p. 1-13. Disponível em:<<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-195.pdf> >. Acesso em: 14 jan. 2008.

PAIVA, S.N. **Compósito cimento-lodo de ETE de indústria de papel para aplicação na construção civil**. Piracicaba, 2007, 110 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

PASCHOALINO, M. P. Incorporação de CuSO₄ residual em argamassa, como método de disposição final. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 29, n. 4, jul./ago. 2006. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2006/vol29n4/13-AR05177.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2007.

RICHTER, C. A. **Tratamento de Lodo de Estação de Tratamento de Água**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2001.

ROLIM, A. M. **A reciclagem de resíduos de EVA da indústria calçadista**. Porto Alegre: UFRGS, [s.d.] 10 p. Disponível em:<http://globalsus.net/acervo/art/gr_art_03.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2007.

ZARDO, A. M. et al. Utilização da cinza de bagaço cana-de-açúcar como filler em compostos de fibrocimento. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1, 18-21 jul. 2004. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 18-21 jul. 2004, São Paulo. **Anais Eletrônico...** Disponível em:<http://www.fzea.usp.br/constrambi/producao_arquivos/utilizacao_da_cinza_de_bagaco.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2007.

ZATTERA, A. J. et al. **Reuso de Resíduos de Laminados de Fibra de Vidro na Construção Civil**. 12 maio 2006. Disponível em: <<http://200.223.40.100/bolsa/bolsa.nsf/visao2?OpenForm&vis=pubext&flt=Artigo>>. Acesso em: 18 dez. 2007.

ZULAUF, W. E. Resíduos Sólidos Industriais. In: SEMINÁRIO DE UTILIDADES, 2, 1977, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CETESB-ABLP, 1977. p. 7.