

REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS: TRANSFORMANDO PROBLEMA EM EDUCAÇÃO AMBIENTAL E INOVAÇÃO

Bruno Carlos Alves Pinheiro¹
Sandro Ferreira de Souza²
Rodrigo Bicalho Mendes³
Taís Coutinho de Souza Alves⁴
Clara Batista Severo⁵

RESUMO: O presente trabalho apresenta a problemática relacionada a geração cada vez maior de resíduos industriais que apesar de legislações, ainda não possuem sua logística reversa bem definida pelos seus geradores. O trabalho demonstra os resultados de um estudo no qual a educação ambiental foi aplicada dentro das disciplinas Materiais e Processos de Fabricação, Seleção de Materiais Aplicados ao Design e Seleção de Processos de Fabricação do curso de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade de Ubá. Tal estudo possibilitou ações práticas de fabricação e desenvolvimento de novos materiais cerâmicos ecológicos incorporados com resíduos industriais para serem aplicados na construção civil. A relevância deste trabalho pode se basear no fato de que o mesmo possibilita a divulgação e ampliação do conhecimento por parte da comunidade acadêmica e, principalmente, por parte da sociedade sobre o assunto. Além disso, apresenta a interdisciplinaridade entre a área ambiental, design e a ciência e tecnologia de materiais.

Palavras-chave: Educação Ambiental; Resíduos Industriais; Materiais Cerâmicos; Reaproveitamento

¹ Docente em (Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade de Ubá) – Ubá, MG, Brasil – bruno.pinheiro@uemg.br

² Docente em (Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade de Ubá) – Ubá, MG, Brasil – sandro.ferreira@uemg.br

³ Docente em (Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade de Ubá) – Ubá, MG, Brasil – rodrigo.bicalho@uemg.br

⁴ Docente em (Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade de Ubá) – Ubá, MG, Brasil – tais.alves@uemg.br

⁵ Graduando em (Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade de Ubá) – Ubá, MG, Brasil – clara.0993260@discente.uemg.br

INTRODUÇÃO

O progresso econômico tem contribuído cada vez mais para o aumento do volume de resíduos gerados, principalmente, os resíduos industriais. Esse crescente volume de resíduos causa preocupações relacionadas à sua disposição. Mesmo que esses sejam depositados em locais controlados, adequados, preparados e mantidos, é uma solução cada vez menos atrativa e aceita pela sociedade (ZACCARON, et al., 2019). É importante destacar que tais preocupações se justificam não só pelo crescente aumento na geração dos resíduos, mas também pela reconhecida falta de soluções sanitárias e ambientalmente corretas à disposição final ou reaproveitamento, visto que essas soluções, principalmente, ligadas ao reaproveitamento, são de grande potencial (FARAGE, et al., 2013, p 204).

Promover a destinação adequada dos resíduos, através do reaproveitamento dos mesmos, que atenda não só os requisitos ambientais, econômicos e sociais tem se tornado um desafio a ser superado sendo uma questão de grande importância. De fato, o reaproveitamento passou a ser ainda mais relevante a partir de 2010, quando foi sancionada a Lei nº 12.035/10 que estabelece a criação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Essa Lei determina que os resíduos produzidos/gerados pelas indústrias devam ser destinados a uma adequada forma de reutilização ou reciclagem (SILVA, et al., 2015). Isso se faz necessário pois os impactos ambientais causados pelos resíduos industriais variam de acordo com as suas características físico-químicas. Assim, é necessária uma forma ou programa diferente de tratamento para cada tipo de resíduo (BRITO e CUNHA, 2009, p 23).

A Constituição Federal consagrou o Meio Ambiente ecologicamente equilibrado como um direito de todo cidadão. Ela estabelece um vínculo entre qualidade ambiental e cidadania. Para garantir esse direito, a Carta Magna determina como uma das obrigações do Poder Público a Programação da Educação Ambiental em todos os níveis de ensino e conscientização (MELO, et al., 2020, p 134).

A Educação Ambiental, de maneira simples, são hábitos que as pessoas constroem, como valor social, conhecimento, atitudes e também competências voltadas para as questões ambientais (SILVA, et al., 2014, p 56). No ambiente escolar, a Educação Ambiental vem para assumir uma função primordial na sensibilização dos alunos com relação a conflitos entre o homem e a natureza e entre a natureza e a cultura. Isso é de grande importância já que é por meio da inserção da dimensão ambiental que o indivíduo ou aluno durante o processo educativo toma consciência do meio ambiente de maneira ampla e concisa. Entretanto, essa perspectiva exige abordagens pedagógicas globalizantes, sistêmicas e, principalmente, interdisciplinares (MELO, et al., 2020, p 134).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral, apresentar uma experiência de Educação Ambiental em atividades experimentais, realizadas nas dependências da Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade de Ubá – MG, visando o reaproveitamento e emprego de resíduos provenientes de atividades industriais do município de Ubá – MG para a produção de novos materiais cerâmicos ecológicos para serem utilizados na construção civil através da interdisciplinaridade entre a Educação Ambiental, Design e Ciência e Tecnologia de Materiais.

As principais justificativas que suportam o desenvolvimento do presente trabalho podem ser observadas pelos seguintes pontos destacados a seguir:

- i. uma alternativa interessante e atrativa, é a incorporação dos resíduos de diversas atividades industriais provenientes do município de Ubá – MG em traços cerâmicos para a fabricação de novos materiais cerâmicos ecológicos.
- ii. o estudo da interação entre os resíduos e os demais componentes da formulação dos novos materiais cerâmicos ecológicos é de grande valor acadêmico. Isso permite entender o efeito dos resíduos sobre o processo de cura e sobre as propriedades físico-mecânicas finais dos traços cerâmicos.
- iii. estudar da viabilidade técnico-científica-econômica-ambiental-social de obtenção de novos produtos cerâmicos ecológicos, tipo tijolo solo-cimento, usando como matérias-primas resíduos poluentes gerados em grandes por um município e um dos setores industriais e mais importantes da Zona da Mata Leste Mineira – o município de Ubá – MG e o Polo Moveleiro de Ubá.

Após a introdução, apresentação dos objetivos e justificativas, o presente trabalho traz em suas seções subsequentes o método e desenvolvimento da pesquisa, o qual apresenta a sensibilização dos alunos, levantamento dos problemas, relação entre os problemas e as áreas de estudo, as matérias-primas utilizadas, o beneficiamento das matérias-primas, formulação e preparação dos traços cerâmicos, dosagem das matérias-primas, preparação, secagem e cura dos corpos cimentícios e a determinação das principais propriedades físico-mecânicas. Em seguida, são apresentados os resultados obtidos e da discussão desses resultados. Por fim, a próxima seção apresenta as considerações finais.

MÉTODO E DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O presente trabalho tem caráter exploratório vindo demonstrar, principalmente, que a educação ambiental foi a entrada para a introdução para tais pesquisas. A educação Ambiental possibilitou viabilizar soluções tecnológicas envolvendo as áreas do Design e Ciência e

Tecnologia dos Materiais. O trabalho foi desenvolvido através das etapas apresentadas a seguir. Vale destacar que tais etapas são componentes necessários para que os problemas, principalmente, os ambientais, fossem transformados em uma possível, interessante e atrativa solução.

Sensibilização dos alunos e Levantamento dos impactos (problemas)

Durante a realização das disciplinas Materiais e Processos de Fabricação, Seleção de Materiais e Seleção de Processos de Fabricação do curso de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade de Ubá (UEMG/UBÁ), algumas reflexões críticas acerca de alguns problemas relacionados, principalmente, a materiais e processos de fabricação foram lançadas como “provocação” para os alunos. Essas ditas provocações tiveram como papel principal sensibilizar os alunos no sentido de que eles apontassem alguns problemas relevantes, principalmente, no âmbito ambiental e social.

Relação entre os impactos (problemas) e as áreas de estudo

Diante dos problemas destacados, procurou-se fazer uma espécie de relacionamento (cruzamento de informações) entre tais problemas apontados, a área do design e da ciência e tecnologia dos materiais. Essa relação ou cruzamento de informações teve como função transformar os impactos (problemas) em solução sustentável importante e interessante tomando como base a educação ambiental. Definida a solução, partiu-se para a parte prática, que consiste em apresentar as etapas que foram efetivamente utilizadas para o desenvolvimento efetivo da solução traçada e estruturada nas etapas anteriores. Essas etapas abrangem as matérias-primas utilizadas, o beneficiamento das matérias-primas, a formulação e a preparação dos traços cerâmicos, dosagem das matérias-primas, preparação, secagem e cura e determinação das propriedades físico-mecânicas dos corpos cimentícios.

Matérias-primas

As matérias-primas utilizadas no presente trabalho foram solo arenoso, resíduo da construção e demolição, resíduo de serragem de madeira, resíduo borra de tinta, água e cimento. O solo arenoso foi coletado no município de Ubá – MG. O resíduo borra de tinta e o resíduo de serragem/pó de madeira foram provenientes de indústrias componentes do polo moveleiro de Ubá – MG. O resíduo de construção e demolição também foi proveniente do município de Ubá – MG. O cimento utilizado foi o cimento Portland CPIII 40 – RS, devido a facilidade de encontra-lo, seu baixo custo e por apresentar alta resistência mecânica a compressão. A água utilizada foi água potável coletada a partir da rede de distribuição de água do município de Ubá – MG, fornecida pela COPASA – MG.

Beneficiamento das matérias-primas

O solo foi submetido a um processo de secagem ao ar livre durante 10 dias, e em seguida, a um processo de secagem em estufa de laboratório a 110 °C por um período de 24 h. Após secagem, o solo foi destorroado manualmente até a passagem completa em peneira 4 mesh (4,75 mm ABNT) e armazenado em sacos plásticos para não absorver umidade. O cimento foi submetido apenas a um processo de secagem em estufa de laboratório a 11 °C por 24 h. O resíduo de serragem/pó de madeira foi seco em estufa de laboratório a 110 °C por 24 h e depois passado em peneira 200 mesh (75 µm ABNT). O resíduo de construção e demolição foi submetido a uma separação, na qual buscou a obtenção dos componentes majoritários e de interesse (restos de argamassa, de concreto e de materiais cerâmicos). Após separação, esses componentes foram destorroados manualmente e secos em estufa de laboratório a 110 °C por 24 h. Em seguida, foram passados em peneira 200 mesh (75 µm ABNT), acondicionados em sacos plásticos para não absorverem umidade e para posterior utilização. O resíduo borra de tinta, por se tratar de um resíduo líquido/pastoso, foi acondicionado em recipientes (galões) plásticos para posterior utilização.

Formulação e preparação dos traços cerâmicos

Composições de tijolo solo-cimento foram formuladas usando solo arenoso, cimento e os resíduos propostos. As Tabelas 1 apresenta a composição dos traços formulados.

Tabela 1 – Composição dos traços formulados com os resíduos estudados

TRAÇOS CERÂMICOS	SOLO ARENOSO	CIMENTO	RESÍDUOS ESTUDADOS	FORMULAÇÃO
TR10	10	1	0	10/1/0
TRRCD1	9	1	1	9/1/1
TRRSM1	9	1	1	9/1/1
TRRBT1	9	1	1	9/1/1

Fonte: Próprio Autor

Neste estudo, o solo foi substituído parcialmente 1 parte em volume pelos resíduos de serragem de madeira (RSM), pelo resíduo de construção e demolição (RCD) e pelo resíduo borra de tinta (RBT). Como traço de referência foi usado um traço tradicional de tijolo solo-cimento (TR10 - solo-cimento 10/1). TRRCD1 indica traço contendo resíduo de construção e demolição incorporado com 1 parte em volume, TRRSM1 traço contendo o resíduo serragem/pó de madeira incorporado com 1 parte em volume e TRRBT1 traço contendo o resíduo borra de tinta contendo 1 parte em volume.

Dosagem das matérias-primas

As matérias-primas foram dosadas de acordo com as formulações apresentadas na Tabela 1. Logo após, as matérias-primas foram misturadas manualmente até que se atingisse uma coloração uniforme. Em seguida, as misturas foram umidificadas com água em 16 % em massa. O cimento Portland e a proporção de água foram mantidos constantes para excluir o efeito dessas variáveis nas propriedades técnicas.

Preparação dos corpos cimentícios

Corpos cimentícios cilíndricos ($\phi = 30$ mm) foram conformados por prensagem uniaxial utilizando uma prensa hidráulica manual, modelo PHP com capacidade de 15 toneladas. A pressão de compactação foi de 2 toneladas.

Secagem e cura dos corpos cimentícios

Após conformação, os corpos cimentícios foram colocados sobre uma superfície sólida em local coberto. Durante os primeiros 7 dias, foi realizada uma molhagem a cada 3 horas com o auxílio de um borrifador. Em seguida, os corpos cimentícios foram submetidos a secagem por convecção natural (cura) até que se completasse um período de 28 dias. Esse período é o usual adotado na produção industrial do tijolo solo-cimento.

Determinação das propriedades físico-mecânicas dos corpos cimentícios

As seguintes propriedades dos corpos cimentícios curados foram determinadas: massa específica aparente, absorção de água (AA - %) e resistência a compressão (RC – MPa). A massa específica aparente foi determinada acordo com $MEA = m/V$, onde m é a massa dos corpos cimentícios (g) e V é o volume dos corpos cimentícios (cm^3). Os valores de absorção de água e de resistência a compressão foram obtidos de acordo com a norma ABNT NBR 10836/94.

RESULTADOS DA PESQUISA

Como primeiros resultados desse trabalho, apresenta-se uma discussão acerca da sensibilização dos alunos, do levantamento dos impactos (problemas) e da relação entre os impactos (problemas) e as áreas de estudo.

A sensibilização dos alunos se deu ao longo das aulas das disciplinas que envolvem materiais e processos de fabricação, métodos de seleção de materiais e seleção de processos de fabricação para o design. Quando se trata de materiais, alguns aspectos são importantes. Entre eles, os aspectos técnicos (propriedades, composição), aspectos econômicos (custo relativo) e também aspectos ambientais (disponibilidade, facilidade de reciclar/reaproveitar, etc). Em termos de processos de fabricação, tem-se também aspectos importantes que devem ser levados em consideração, como por exemplo: custo de ferramental, custos de produção,

nível tecnológico, capacidade de produzir de forma mais limpa, etc. Diante disso, foi percebido que os aspectos ambientais geravam mais discussão. Isso foi a motivação para a inserção da educação ambiental como propulsora no sentido de apresentar alternativas para que problemas fossem transformados em possíveis soluções.

Após algumas aulas discutindo sobre os aspectos ambientais foi levantado um impacto ambiental bastante significativo, o qual foi o crescimento e o acúmulo de resíduos gerados, principalmente, os resíduos industriais. O município de Ubá – MG compõe um dos polos moveleiros mais importantes do país. Sendo assim, é um grande gerador de resíduos industriais. Além disso, o município não gera somente resíduos ligados ao polo moveleiro, mas também há a geração de resíduos provenientes de outras atividades industriais, tais como: a construção civil, confecção e indústria alimentícia.

Com base no que foi apontado até aqui, procurou-se buscar uma solução que deveria consistir em reaproveitar os resíduos de modo que eles se tornassem matéria-prima para o desenvolvimento de novos materiais. Primeiramente, esses materiais deveriam absorver o volume dos resíduos gerados. Aqui é importante destacar que o reaproveitamento dos resíduos além de propiciar o desenvolvimento de novos materiais, pode também contribuir para a redução do consumo de recursos naturais. Uma outra questão a ser respondida foi sobre a aplicação dos novos materiais desenvolvidos e produzidos. Assim, procurou-se verificar sobre problemas sociais.

Com relação aos problemas sociais, foi levantado a questão do déficit habitacional. O município de Ubá – MG não é muito diferente dos municípios de seu porte no que se refere ao déficit habitacional. De acordo com o Plano Local de Habitação de Interesse Social (PLHIS, 2018), que é um diagnóstico da questão habitacional em Ubá, existe um déficit habitacional de 1592 unidades. Somado a isso tem-se a necessidade de realocação de 640 moradias situadas em áreas de risco. Com isso, os novos materiais cerâmicos desenvolvidos, além de cumprir o que foi dito anteriormente, deveriam contribuir para a diminuição do déficit habitacional.

Diante do que foi verificado até aqui, a indústria cerâmica foi selecionada. As razões que contribuíram para a seleção da indústria cerâmica foram: i) estudos já demonstraram com sucesso que ela pode atuar como grande consumidora (absorvedora) de vários tipos de resíduos, principalmente, os resíduos industriais; ii) outros fatores que tornam a indústria cerâmica atrativa ou qualificada para este fim são: a) a indústria cerâmica utiliza grandes volumes de matérias-primas naturais; b) as matérias-primas utilizadas na fabricação dos produtos cerâmicos, principalmente, os produtos empregados na construção civil, apresentam

larga variabilidade do ponto de vista químico e mineralógico; c) o processo de fabricação não sofre alterações com a utilização dos resíduos; e d) a matriz cerâmica, seja ela de base argilosa ou cimentícia, promovida durante a etapa de sinterização para os produtos de base argilosa ou aquela promovida durante a etapa de cura para os produtos de base cimentícia, é capaz de promover o encapsulamentos dos compostos poluentes presentes nos resíduos (PINHEIRO, 2009 p. 1).

Assim, pode ser observado claramente que a indústria cerâmica através de seus produtos ou materiais é uma solução bastante atrativa e interessante. Ela vai de encontro com os aspectos ambientais e sociais envolvidos no presente trabalho.

Dentre os materiais cerâmicos, optou-se por se trabalhar com o tijolo ecológico do tipo solo-cimento. São muitas as razões pelas quais esse material foi selecionado. Entre elas pode-se destacar: i) o tijolo solo-cimento tem sido considerado como um importante material de construção, principalmente, em países em desenvolvimento. Neste caso, ele é muito utilizado em habitações de interesse social; ii) ele apresenta vantagens do ponto de vista técnico e econômico em relação ao tijolo de base argilosa sinterizado. Por exemplo: o baixo custo, propriedades técnicas melhoradas, a eliminação da etapa de queima (sinterização), a qual apresenta alto consumo de energia, daí a designação de tijolo ecológico (SIQUEIRA, et. al., 2016 p. 237); iii) não permite a instalação e proliferação de insetos nocivos à saúde pública, atendendo as condições mínimas de habitualidade; iv) proporciona uma construção mais limpa e gerando menor quantidade de resíduos e entulhos devido a sua estrutura de encaixe; e v) aumenta a resistência estrutural e funciona como um sistema térmico e acústico que contribui para a redução da umidade nas paredes (OLIVEIRA, et al., p. 54, 2014).

Com relação aos resíduos escolhidos, procurou-se trabalhar com resíduos que fossem provenientes do Polo Moveleiro de Ubá como foi o caso do resíduo de serragem/pó de madeira e o resíduo de borra de tinta. E também com resíduos gerados pela indústria da construção civil. Aqui optou-se pelo resíduo da construção civil e demolição propriamente dito (entulho). A seguir são apresentadas algumas razões importantes de cada resíduo, as quais contribuíram de maneira significativa para a seleção de tais.

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, p. 19, 2010), o resíduo da construção civil e demolição (RCCD) é aquele gerado nas construções, reformas, reparos e demolições de obras da construção civil. Podendo incluir restos da preparação e escavação de terrenos para obras civis. Ele é constituído por restos de argamassa, concreto, materiais cerâmicos, os quais são responsáveis por 62 % da composição total desse resíduo. Além disso, também fazem parte da composição desse resíduo metais, plásticos, madeiras, papéis e

vidros. Nesse ponto é importante destacar um fator de grande importância que contribuiu diretamente para a seleção desse resíduo. Tal fator está ligado aos componentes majoritários (restos de argamassa, de concreto e de materiais cerâmicos). Esses componentes são amplamente compatíveis e utilizados em matrizes de solo-cimento. E ainda, os componentes secundários podem ser separados e reciclados (POSSA e ANTUNES, 2016, p. 149).

Outro fator relevante para a seleção do resíduo da construção e demolição foi o grande volume no qual é gerado (disponibilidade). Em média, esse resíduo é responsável por cerca de 50 % da massa dos resíduos sólidos urbanos gerados em todo mundo. Em termos do índice médio de geração per capita, o RCCD apresenta um valor de 500 Kg/habitante por ano. Vale destacar que esse valor pode variar de acordo com índice de desenvolvimento humano (IDH) (GASPARETO e TEIXEIRA, 2017, p. 40). Assim, considerando o valor de 500 Kg/habitante por ano de RCCD e uma população, segundo IBGE, estimada para o município de Ubá – MG, em 2021, de 117.995 pessoas, tem-se uma geração de aproximadamente 58.997,500 ton/ano. Isso mostra o elevado volume no qual esse resíduo é gerado. Vale comentar aqui que grande parte desse elevado volume produzido é depositada de forma totalmente irregular. Isso provoca entre outras coisas o desperdício de materiais nobres como é o caso dos componentes majoritários desse resíduo.

O resíduo de madeira (RSM) estudado no presente trabalho está na forma de serragem e pó de madeira. De acordo com suas características morfológicas, esse resíduo apresenta partículas com dimensões de no máximo 2,5 mm a partículas menores que 0,5 mm (CAETANO, et al., 2017, p. 384).

Esse resíduo é proveniente, principalmente, das indústrias de desdobro primário, secundário e beneficiamento, componentes do Polo Moveleiro de Ubá – MG. É um resíduo gerado também em grandes quantidades. Em 11 fábricas de móveis, de cerca das 400 fábricas componentes do Polo Moveleiro de Ubá, é gerada mensalmente, uma média de 1.699 toneladas de resíduo de madeira. Isso corresponde a uma geração média diária de 77 toneladas, considerando um período de produção de 22 dias/mês. Dessa média total, na forma de serragem e pó de madeira tem-se uma geração média mensal de 326 toneladas/mês (FARAGE, et al., 2013, p. 208). Assim, o fator volume de resíduo gerado (disponibilidade) foi considerado para sua seleção.

Outros fatores extremamente importantes foram: i) por apresentar baixa densidade aparente (LIMA, et al., 2017, p. 1), pode contribuir no sentido de produzir materiais mais leves; ii) esse resíduo também pode contribuir para o desenvolvimento de materiais com características desejáveis como durabilidade, estabilidade dimensional e resistência contra a

biodegradação, apresentando ainda vantagens econômicas. De fato, muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas atualmente utilizando o resíduo de serragem de madeira para a fabricação de compósitos cimentícios denominados cimento-madeira. Cada vez mais esses compósitos vêm sendo desenvolvidos com as características mencionadas anteriormente (GARCEZ, et al., 2018, p. 608); e iii) esse resíduo apresenta baixa condutividade térmica. Isso mostra que os materiais desenvolvidos podem melhorar o isolamento térmico da estrutura ou da obra (GARCEZ, et al., 2018, p. 608).

É muito importante destacar até aqui que a incorporação do resíduo de serragem/pó de madeira pode ser uma alternativa econômica significativa para a produção de materiais que satisfaçam uma importante variável no desenvolvimento de materiais para a construção civil, a qual é a redução de peso. E ainda, a incorporação desse resíduo em materiais cerâmicos para a construção civil é um uso racional já que ele pode fornecer uma solução energética eficiente podendo contribuir para melhorar o isolamento térmico da estrutura ou da obra. Além disso, quase não se tem na literatura estudos que tratam da incorporação desse resíduo proveniente do Polo Moveleiro de Ubá, para a fabricação de novos materiais cerâmicos ecológicos para a construção civil. De fato, (FARAGE, et al., 2013, p 204) dentre as formas mais usuais de reaproveitamento verificadas para os resíduos de madeira provenientes do Polo Moveleiro de Ubá foram a sua utilização como forração de cama de frango em granjas, queima em fornos e caldeiras e ainda como condicionador de solo.

Nota-se que as formas de reaproveitamento mais usuais para esse não levam em consideração o potencial energético desse tipo de resíduo. Uma aplicação indicada que pode fazer isso é o reaproveitamento através da produção de briquetes (BRITO e CUNHA, 2009, p 25; FARAGE, et al., 2013, p 203; SILVA, et al., 2015). Assim, a aplicação que foi proposta no presente trabalho para o resíduo de serragem/pó de madeira é muito atrativa, pois leva em consideração não somente o aspecto energético, mas também propriedades importantes como a baixa densidade aparente. Isso é de grande relevância já que o resíduo de serragem/pó de madeira passa a ter uma utilização mais nobre como sendo matéria-prima componente para a fabricação de materiais cerâmicos ecológicos para a construção civil.

O resíduo chamado de borra de tinta utilizado neste trabalho é um resíduo com consistência líquida. Ele é gerado nas etapas de acabamento, principalmente, na etapa de pintura dos móveis (SILVA, et al., 2015). Essa borra é separada do solvente por um processo de destilação com a utilização de temperatura acima de 150 °C. Com relação a esse resíduo é importante destacar o seguinte fator considerado para a sua seleção: i) existem poucos trabalhos na literatura que tratam do reaproveitamento dessa borra de tinta gerada no Polo

Moveleiro de Ubá; ii) quando se trata do reaproveitamento de forma a incorporar esse resíduo em massas cerâmicas para a fabricação de materiais que possam ser utilizados na construção civil essa lacuna é maior ainda. Assim, tomando como base esses pontos, é observado que a proposta de utilização da borra de tinta realizada no presente trabalho foi importante no sentido de valorizar o resíduo e ao mesmo tempo contribuir para o preenchimento de uma lacuna existente na literatura.

Após a apresentação dos resíduos e as razões da escolha de tais, são apresentados a seguir os resultados das propriedades físico-mecânicas dos corpos cimentícios curados.

A Tabela 2 mostra os resultados da densidade aparente (g/m³). A Figura 1 apresenta os resultados da absorção de água (AA - %) e a Figura 2 apresenta os resultados da resistência a compressão (RC – MPa) dos corpos curados após 28 dias.

Tabela 2 – Densidade aparente (g/cm³) dos corpos cimentícios

TRAÇOS CERÂMICOS	DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)
TR10	1,68 ± 0,04
TRRCD1	1,74 ± 0,04
TRRSM1	1,56 ± 0,03
TRRBT1	1,63 ± 0,02

Fonte: Próprio Autor

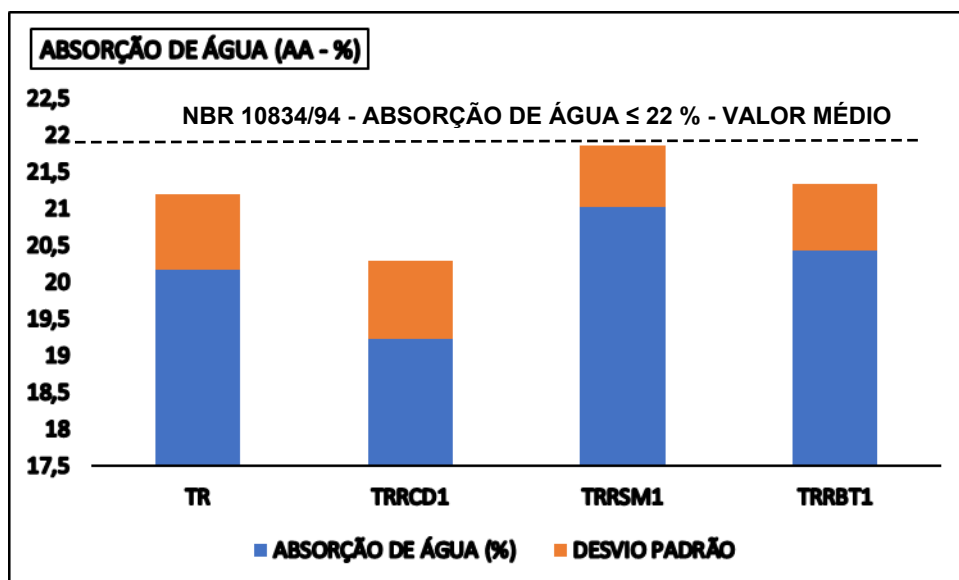


FIG. 1 – Absorção de Água (%) dos corpos cimentícios

Pode ser observado a partir da Tabela 2 que a densidade aparente é fortemente influenciada pelos resíduos incorporados. O resíduo de construção e demolição tende a

aumentar a densidade aparente. A incorporação do resíduo de serragem/pó de madeira e do resíduo de borra de tinta tendem a diminuir a densidade aparente dos corpos cimentícios. O resíduo de construção e demolição contribui para um maior empacotamento das partículas, aumentando a densificação dos corpos cimentícios.

A Figura 1 apresenta os resultados de absorção de água dos corpos cimentícios. A absorção de água é uma propriedade que está relacionada a microestrutura e com o nível de porosidade aberta dos corpos cimentícios. É apresentado também o valor máximo médio de absorção de água de acordo com a norma NBR 10834/94.

Pode ser observado que a absorção de água tende a diminuir com a incorporação de 1 parte em volume do resíduo de construção e demolição. A incorporação de 1 parte em volume do resíduo de serragem/pó de madeira e do resíduo borra de tinta tendem a aumentar a absorção de água dos corpos cimentícios. A incorporação do resíduo de construção e demolição pode ter influenciado no sentido de ter promovido um maior grau de empacotamento das partículas. Isso leva a uma estrutura menos porosa e conseqüentemente mais densa. De fato, os corpos cimentícios do traço TRRCD1 são mais densos do que os corpos de referência TR e do que os corpos pertencentes aos traços TRRSM1 e TRRBT1. Esses resultados corroboram com os resultados apresentados na Tabela 1.

É importante observar também que os corpos cimentícios contendo 1 parte em volume dos resíduos estudados no presente trabalho atingiram a especificação por norma, em termos de absorção de água, para serem classificados com tijolos do tipo solo-cimento. Conforme pode ser visto na Figura 1 os corpos cimentícios apresentaram valores médios de absorção de água inferiores ao valor máximo recomendado pela norma NBR 10834/94.

A resistência mecânica dos corpos cimentícios foi determinada pela resistência a compressão (Figura 2).

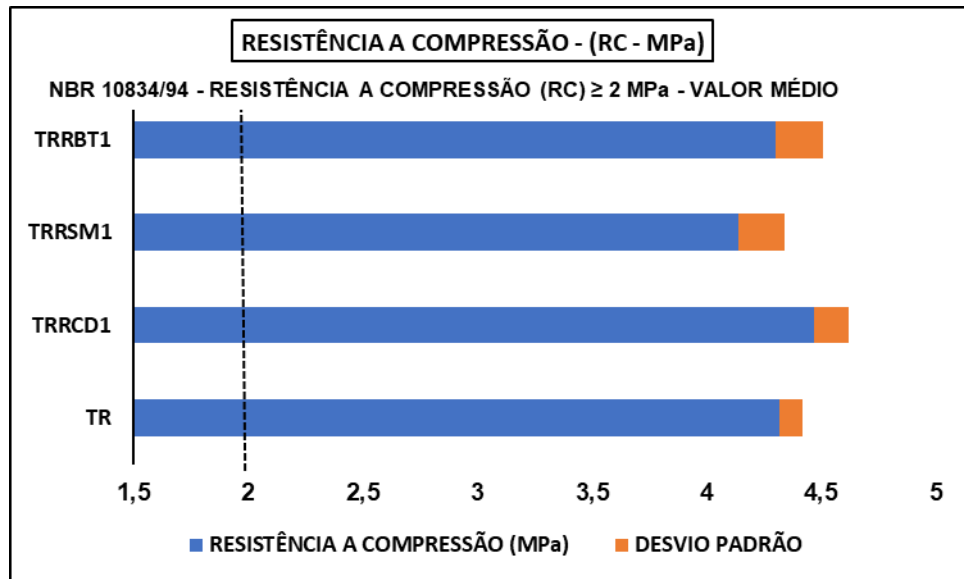


Figura 2 – Resistência a Compressão (MPa) dos corpos cimentícios

A resistência a compressão é considerada uma das mais importantes propriedades para os materiais cerâmicos utilizados na construção civil. Pode ser observado na Figura 2 que a resistência a compressão dos corpos cimentícios incorporados com o resíduo de construção e demolição (TRRCD1) leva a um aumento da resistência a compressão. Já os corpos cimentícios incorporados com 1 parte em volume dos resíduos de serragem/pó de madeira (TRRSM1) e resíduo borra de tinta (TRRBT1) tendem a diminuir ligeiramente a resistência a compressão dos corpos cimentícios. O aumento provocado pela incorporação do resíduo de construção civil e demolição pode estar associado ao maior empacotamento das partículas. Isso leva a um menor nível de porosidade aberta, a uma estrutura mais densa e, conseqüentemente, mais resistente mecanicamente.

É importante destacar também que todos os traços cerâmicos formulados no presente trabalho apresentaram valores médios de resistência a compressão superiores ao valor mínimo estabelecido por norma conforme Figura 2. Isso é resultado importante pois mostra que os novos materiais cerâmicos ecológicos desenvolvidos neste trabalho apresentaram especificações mecânicas para serem classificados como tijolo do tipo solo-cimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A oportunidade de desenvolver uma solução técnica e sustentável tendo como base a educação ambiental como propulsora foi de grande importância. Isso mostra que a educação ambiental pode deixar de ser apenas conteúdo informativo e se torne fator importante contribuindo com a colocação do aluno como agente que possa participar de importantes

mudanças. E ainda, pode ser prática, contribuir na mudança de hábitos e estar junto de atividades de pesquisa, extensão e inovação para cada vez mais se ter soluções técnico-científicas ambientais, inteligentes, sustentáveis e que possa estar entrelaçada com questões sociais.

A Educação Ambiental pode fornecer ao aluno a capacidade de pensar de forma mais abrangente sobre o meio ambiente e de como preservá-lo para as gerações futuras. Vale destacar também que a participação dos alunos e a interdisciplinaridade promovida entre a educação ambiental, design e ciência e tecnologia dos materiais foram fatores determinantes para a realização do trabalho.

A relevância do presente trabalho se dá, visto que os resíduos industriais propostos são potenciais poluentes, são gerados em grandes volumes, sendo descartados muitas vezes de formas irregulares. Quando são reaproveitados pode-se notar uma utilização que não leva em consideração todas as suas características principais, como componentes nobres, potencial energético, baixa massa densidade aparente e baixa condutividade térmica. A produção de novos materiais cerâmicos ecológicos para serem utilizados na construção civil que utilizam resíduos industriais como matérias-primas alternativas é de grande importância do ponto de vista técnico, científico/acadêmico, econômico, social e, principalmente, ambiental. É um avanço na área da reciclagem e da cadeia produtiva de materiais cerâmicos utilizados na construção civil.

Essa relevância e importância se confirmam com os resultados obtidos. No presente trabalho considerando as principais propriedades físico-mecânicas (densidade aparente, absorção de água e resistência a compressão) e a norma NBR ABNT 10834/94, foi possível avaliar o potencial de utilização dos traços cerâmicos formulados e estudados para a fabricação de tijolo do tipo solo-cimento. Pode ser observado que os traços cerâmicos formulados atingiram as especificações para tijolo solo-cimento para os três tipos de resíduos estudados na proporção de 1 parte por volume de resíduo incorporado. Isso mostra que tais resíduos podem ser utilizados como matérias-primas alternativas em formulações cerâmicas para a fabricação de tijolo solo-cimento.

Como trabalhos futuros pode-se tentar desenvolver a partir dos mesmos e até de outros tipos de resíduos, outras tipologias de materiais construtivos que possam, assim como o tijolo solo-cimento, serem utilizados para obras dentro do próprio município de Ubá – MG e seu entorno. Elementos tais como: variações de formas do próprio tijolo solo-cimento, pavimento intertravado solo-cimento, pavimento intertravado de concreto, blocos de concreto, piso antiderrapante, etc. Isso seria de extrema importância para difundir ainda mais o

conhecimento, oferecer novas opções de reaproveitamento de resíduos e contribuir para o desenvolvimento municipal e regional.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10834: **Tijolo solo-cimento – especificações**. Rio de Janeiro. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10836: **Tijolo solo-cimento – determinação da resistência a compressão e absorção de água**. Rio de Janeiro. 1994.

BRASIL. Lei n. 12.305 de 02 agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providencias. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF. 2010

BRITO, L. S.; CUNHA, M. E. T. Reaproveitamento de resíduos da indústria moveleira. **Unopar Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, PR, v. 8, n. 1, p. 23-26, nov. 2009

CAETANO, M. D. D. E. et. al. Análise do gerenciamento de resíduos sólidos e proposição de melhorias: estudo de caso em uma marcenaria de Cariacica, ES. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, SP, v. 24, n. 2, p. 382-394. 2017.

FARAGE, et. al. Avaliação do potencial de aproveitamento de aproveitamento energético dos resíduos de madeira e derivados gerados em fábricas do polo moveleiro de Ubá – MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 23, n. 1, p. 203-212, jan/mar. 2013

GARCEZ, M. R. et. al. Tijolos leves para alvenaria produzidos a partir de resíduos da indústria madeireira. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, RJ, v. 23, n. 3, p. 607-614, maio/jun. 2018.

GASPARETO, M. G. T.; TEIXEIRA, S. R. Utilização de resíduo de construção civil e demolição (RCD) como material não plástico para a produção de tijolos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, Criciúma, SC, v. 22, n. 2, p. 40-46, mar./abr. 2017.

LIMA, T. C. S. V. et. al. Caracterização do resíduo de serragem da madeira para utilização como agregado na construção civil em Salgueiro-PE. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 69., 2017, Belo Horizonte. **Anais da 69ª Reunião Anual da SBPC**. Belo Horizonte – 16 a 22 de julho de 2017.

MELO, J. R. et. al. Educação ambiental: reciclagem do lixo no contexto escolar. **Revista Multidebates**, Palmas, TO, v. 4, n. 2, p. 133-141, jun. 2020.

OLIVEIRA, J. R. et. al. Incorporação de resíduos sólidos de tornearias mecânicas na fabricação de tijolos solo-cimento. **Nativa Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Sinop, MT, v. 02, n. 01, p. 53-57, jan./mar. 2014.

PINHEIRO, B. C. A. **Processamento e caracterização de massas cerâmicas incorporadas com o resíduo borra de petróleo encapsulada para a fabricação de grês porcelanato**. 2009. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2009.

POSSA, S. A.; ANTUNES, E. G. P. Proposta de reutilização do resíduo de cerâmica vermelha proveniente da construção civil e demolições no município de Criciúma, SC. **Revista Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, SC, v. 22, p. 147-161, 2016.

SILVA, L. P. et al. Educação ambiental e reciclagem dos resíduos sólidos gerados no campus IV da UEPB em Catolé do Rocha – PB. **Revista Terceiro Incluído – Transdisciplinaridade e Educação Ambiental**, Goiânia, GO, v. 4, n. 2, p. 54-71, jul/dez. 2014.

SILVA, C. M. S, et. al. Métodos de controle e reaproveitamento dos resíduos gerados pela indústria moveleira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 2., 2015, Belo Horizonte. **Anais do II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira**. Belo Horizonte - 20 a 22 de setembro de 2015.

SIQUEIRA, F. B. et. al. Influence of industrial solid waste addition on properties of soil-cement bricks. **Revista Cerâmica**, São Paulo, SP, v. 262, n. 363, p. 237-241, jul./set. 2016.
ZACCARON, A. et. al. Efeito da adição de resíduo de vidro em massa de cerâmica de alvenaria. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, RJ, v. 24, n. 4, 2019.