

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA FABRICAÇÃO DE TIJOLO SOLO-CIMENTO

Henrique Vianna Salles* e Thamara Braum Pereira**
Graduandos em Engenharia Civil

*Estudante de Engenharia Civil 8º período das Faculdades Integradas de Aracruz

**Estudante de Engenharia Civil 10º período das Faculdades Integradas de Aracruz

RESUMO

Alinhar construção civil e reaproveitamento de resíduos provenientes dos canteiros de obra tornou-se uma realidade urgente. As construtoras precisam se enquadrar nas normas vigente relacionadas a preservação do meio ambiente para continuar desenvolvendo suas atividades. O objetivo desse estudo é, portanto verificar se é viável financeiramente e tecnologicamente a inserção de resíduos provenientes da construção civil na produção dos tijolos solo-cimento. Para que a reutilização de resíduos seja viável, foi realizado o levantamento de dados subdivididos em duas etapas: o conhecimento das características do solo, do resíduo e das novas composições sugeridas nesse estudo através de testes em laboratórios e a avaliação econômica por meio de uma composição de custo simples. Os dados obtidos e analisados indicam que a inserção do resíduo na composição favorece o aumento da resistência à compressão e melhora as características do solo. Portanto, após os resultados dos estudos serem alcançados conclui-se que a composição proposta viabiliza a comercialização do produto (adequação aos valores exigidos pela norma) e que o acréscimo consequente dessa inserção se torna insignificante diante do custo-benefício alcançado.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável; Resíduos; Tijolo solo-cimento; Viabilidade econômica; Construção civil.

ABSTRACT

Align construction and reuse of waste from the construction sites has become an urgent reality. Construction companies need to fit in the existing standards relating to preservation of the environment to continue developing their activities. The aim of this study is therefore verify whether it is feasible financially and technologically the inclusion of waste from the construction in the production of soil-cement bricks. To make this possible survey was carried out two steps in divided data: the knowledge of the characteristics of the soil, the waste and new compositions suggested in this study by testing in laboratories and economy rating by a composition of simple cost. The data obtained and analyzed indicate that the inclusion of residue in the composition promotes increased compressive strength and improves the soil characteristics. So after the results of the studies to be achieved it is concluded that the proposed composition viabiliza marketing the product (adjustment to the values required by the standard) and the consequent increase this insertion becomes insignificant before the achieved value for money.

Keywords: Sustainable development; Waste; Soil-cement brick; Economic feasibility; Construction.

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios enfrentados na atualidade pelos diversos setores constituintes da sociedade é alinhar sustentabilidade e desenvolvimento econômico. A geração e o destino de resíduos sólidos é um dos maiores problemas ambientais existentes. A construção civil contribui de maneira significativa na acentuação dessa realidade por desenvolver atividades geradoras de grandes volumes de resíduos.

O aumento da busca pela sustentabilidade justifica a preocupação com a escassez dos recursos naturais. Por esse motivo, mais tecnologias vem sendo procuradas para que possam substituir essas fontes (MOTTA, et al, 2014).

Um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais é o setor da construção civil. Calcula-se que o mesmo utiliza em torno de 20% a 50% do total dos recursos naturais usados pela sociedade (JOHN, 2001).

Os entulhos oriundos dos canteiros de obra são constituídos, principalmente, por restos de concreto, argamassa, areia, pedra, materiais cerâmicos, pedaços de madeira, plástico e vidro, juntamente com a escassez de locais para ser feito o depósito desses resíduos, podem vir a se tornar um grande e sério problema ambiental (SEGANTINI; WADA, 2011). Na busca de alternativas para minimizar a geração de resíduos esse projeto de pesquisa tem por objetivo verificar a viabilidade econômica da produção de tijolo solo-cimento com a inserção de alguns destes restos de materiais.

O estudo proposto está estruturado da seguinte forma: primeiramente será feita a definição de conceitos fundamentais para o andamento do estudo.

Os conceitos considerados relevantes foram: desenvolvimento sustentável, resíduos, solo-cimento e Política Nacional de Resíduos Sólidos. Após a fundamentação teórica dos aspectos importantes para o estudo, será proposta uma metodologia eficiente para a obtenção de resultados atraentes.

Em seguida, essa metodologia será colocada em prática, a fim de que os objetivos pretendidos possam ser verificados. Posteriormente, será realizada a análise e discussões a respeito dos efeitos da pesquisa.

Por fim, serão expostas as conclusões a respeito do trabalho e a verificação de como esta pesquisa pode contribuir para proporcionar um desenvolvimento sustentável dentro do canteiro de obras que inclua a produção de tijolo solo-cimento com a inserção de RCD.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Desenvolvimento Sustentável

Atualmente, um dos maiores desafios está relacionado a tornar o mundo um lugar mais sustentável, com menos desperdício e, ao mesmo tempo, fazendo com que sejam atendidas todas as necessidades dessa geração e das gerações futuras sem prejudicar o meio ambiente (LOUREIRO; PEREIRA; PACHECO JUNIOR, 2016).

Para obter o desenvolvimento sustentável, é preciso que o uso de energia e matéria diminua, o bem-estar da sociedade aumente e que os recursos naturais sejam usados de uma maneira que não haja esbanjamento (CAVALCANTI, 2012).

O setor da construção civil também teve que se adequar a essas mudanças e se enquadrar em todas as principais modificações propostas visando o desenvolvimento sustentável. A resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu diretrizes e instrumentos que visam sobrepor os problemas originados pelos resíduos da construção e de demolições, determinando responsabilidades e deveres dos geradores (CONAMA, 2002). A resolução impõe, ainda, aos responsáveis pela geração dos resíduos a obrigatoriedade de redução, reutilização e reciclagem (PINTO, 1999).

O gerenciamento desses resíduos é muito importante e tem por objetivo garantir a correta gestão dos mesmos durante as atividades do dia a dia de execução das obras e dos serviços de engenharia. Ele é fundamentado nas estratégias de não geração, minimização, reutilização, reciclagem e descarte adequado dos resíduos sólidos, sendo que a redução da geração de resíduos na fonte seja priorizada. Com isso, as empresas aderiram e implantaram nas obras esses métodos. Alguns exemplos desses métodos são: fazer com que o processo construtivo não requeira embalagens, formas, etc.; conscientizar e capacitar os profissionais através de palestras e reuniões frisando a importância da reutilização de resíduos para o mesmo uso na obra (exemplo: reaproveitamento de formas para concretagem), plantação de árvores e implantação de baias para a separação de resíduos sólidos nos canteiros de obras (NAGALLI, 2016).

2.2. Resíduos

Todo produto possui vida útil ou tempo de utilização limitado, ou seja, em determinado período perde suas características e não podem ser mais utilizados em atividades para as quais foram desenvolvidas. É a partir daí que surgem os resíduos de maneira geral. Mesmo os produtos que são muito duráveis em algum momento vão se transformar em pós-consumo (JOHN, 2001).

Durante o processo construtivo, a geração de entulhos e resíduos possui elevados índices dentro de um canteiro de obra e estes são oriundos dos processos de construções, reformas, reparos, demolições e os resultados da preparação e escavação dos terrenos (CONAMA, 2002).

Segundo a NBR 10004 - Resíduos sólidos - Classificação (ABNT, 2004) os resíduos da construção civil são qualificados como pertencentes à classe II A, ou seja, resíduos inertes. A inserção na classe em questão é justificada na medida em que esses dejetos possuam componentes minerais não poluentes em seu arranjo e por serem inertes quimicamente.

Entretanto, Zordan (1994), considera que a classificação dos resíduos originados dos canteiros de obras pode ser enquadrada em diversas outras classes devido à heterogeneidade e a dependência direta de sua procedência e das características gerais da obra em que foi originado o resíduo.

Considerando esses elevados índices envolvendo construção civil e resíduos, se tornou primordial o desenvolvimento de técnicas para minimiza-los. A reciclagem dos resíduos foi uma saída eficiente para alinhar problemas e obter possíveis soluções. Os benefícios gerados pela reciclagem/reutilização dos resíduos provenientes dos canteiros de obras são:

- 1) Preservação das matérias-primas necessárias para fabricação de diversos produtos utilizados nas obras (SOUZA, 2006);
- 2) Diminuição da poluição ocasionada pelo acúmulo de entulho e, conseqüentemente, redução nos números de enchentes e assoreamento de rios (SOUZA, 2006);
- 3) Redução na utilização de produtos considerados não-renováveis quando estes forem substituídos por produtos que podem passar por processos de reciclagem (JOHN, 2001);
- 4) Redução das áreas necessárias para aterro (PINTO, 1999).

2.3. Tijolos Solo-Cimento

De acordo com a NBR 12253 - Solo-cimento — Dosagem para emprego como camada de pavimento — Procedimento (2012), o solo-cimento é definido como o produto resultante da mistura de solo, água e cimento, compactados em proporções previamente definidas. Os procedimentos de execução são detalhados na NBR 10833 - Fabricação de tijolo

e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento (2013).

A utilização do tijolo solo-cimento surgiu para países em desenvolvimento como solução para o problema habitacional. Essa solução de solo compactado não é uma técnica/ideia recente (SILVA, 2011). O solo vem sendo utilizado desde a antiguidade em construções como agregado, intercalado com pedaços de madeira, dando origem a casa de “pau a pique” (CRUZ, 2007). O seu primeiro uso foi em 1929, com diversas utilidades, como: pavimentação, revestimentos de canais, injeções, diques, ladrilhos, etc. A viabilidade de sua utilização como material da construção civil se deu principalmente porque esses agregados (solo e cimento) apresentam boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade (PITTA, 1995).

A alvenaria em solo-cimento caracteriza-se por apresentar um sistema econômico (a baixa proporção de cimento usado na mistura configura em redução dos custos agregados ao produto) e de fácil aplicação durante a etapa de execução. Os estudos dirigidos à construção civil foram capazes de aperfeiçoar os processos construtivos e fazer com que esse método fosse adaptado, principalmente, às construções sustentáveis, que estão em alta nos dias de hoje (PENTEADO; MARINHO, 2011).

A utilização do tijolo solo-cimento também apresentam vantagens se comparado a outros tipos de tijolos, como o caso do tijolo feito em olaria. Durante seu processo de fabricação não é necessário o cozimento da mistura, isso traz por consequência a diminuição drástica no consumo de grandes quantidades de madeiras ou de outros combustíveis (contribuindo diretamente no combate ao desmatamento e poluição do ar). Os tijolos de argila queimada quando quebram não podem ser reaproveitados, os de solo-cimento podem ser moídos e prensados novamente configurando-se, portanto, em outra vantagem econômica quando utilizados (SOUZA, 2006).

Os benefícios desse material empregado na construção civil são muitos e vão desde a sua fabricação até a sua utilização no canteiro de obras. Os equipamentos usados em sua fabricação são simples e apresentam baixo custo. Não é necessário mão-de-obra especializada para operar os equipamentos, a fabricação pode ser feita no próprio canteiro de obras e ainda é possível utilizar como matéria-prima, resíduos constituintes de outros locais (SILVA, 2011). Na sua aplicação eles podem ser montados por encaixe, colocando-se um sobre o outro, facilitando o assentamento e o tempo de execução (MOTTA, 2014).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do tema proposto na presente pesquisa, foi adotada como metodologia de trabalho a caracterização dos materiais que compõe o estudo e a determinação de parâmetros de resistência e absorção do produto obtido. Em laboratório foram realizados ensaios (conforme descrito no item 5.2), que tinham por objetivo a determinação das características do solo usado, do resíduo escolhido, da mistura solo-resíduo, dos traços solo-cimento e dos tijolos que foram produzidos.

3.1. Materiais

A determinação e escolha dos materiais utilizados nessa etapa prática foi o passo inicial do desenvolvimento da pesquisa. A seleção de todas as matérias-primas empregadas foi feita levando em consideração usabilidade, abundância de produto e critérios observados em normas e pesquisas realizadas.

3.1.1. Solo

O solo usado na composição solo-cimento foi obtido na região de Santa Maria de Jetibá - ES e foi selecionado por apresentar características satisfatórias a esse tipo de tijolo, além disso, é um material encontrado em grandes proporções no local onde foi produzido o tijolo solo-cimento vazado. As demais características do solo usado foram conhecidas depois da realização dos ensaios propostos.

3.1.2. Resíduos

Os resíduos utilizados na mistura solo-cimento foram obtidos através da empresa Natureza Viva – Reciclagem de Resíduos Sólidos, localizada na cidade de Vila Velha - ES. Essa indústria tem por finalidade realizar todo o processo de segregação, trituração e finalização dos resíduos sólidos coletados na construção civil para obter diversos produtos (agregados miúdos e graúdos) a serem reutilizados nas obras. O material selecionado para o desenvolvimento da pesquisa (que foi substituído no lugar do solo) trata-se de um composto misto constituído, principalmente, de restos de lajotas, concreto, blocos e argamassa. O critério de escolha desse tipo de agregado deve-se ao fato de se tratar de matéria mais abundante nos entulhos coletados oriundos de demolições e reformas. Todo processo de “fabricação” dos resíduos coletados foram conhecidos durante visita *in loco* na fábrica.

3.1.3. Cimento

Em relação ao cimento, utilizou-se o CPIII RS-40, por apresentar propriedades importantes na confecção dos tijolos. Além disso, esse tipo de cimento é facilmente encontrado no comércio devido à demanda.

3.2. Métodos

Após o processo de escolha dos materiais usados na pesquisa, iniciou a etapa de determinação dos métodos adotados. Para a obtenção dos resultados desse estudo, a metodologia foi dividida em duas etapas distintas: a determinação das propriedades da mistura (verificação se atende ou não as normas existentes) e o estudo de viabilidade econômica.

3.2.1. Propriedades da Mistura

3.2.1.1. Traços

Para dar início a parte experimental deste estudo foi necessário estabelecer os traços a serem adotados. Além do solo natural, foram estabelecidas mais duas composições distintas: solo + 20% de resíduos e solo + 40% de resíduos (em relação à massa do solo total). Para cada uma dessas amostras ainda foi utilizado dois teores distintos de cimento (10% e 15%) que compuseram a mistura, estas porcentagens serão referente à composição solo-resíduo. Apresentam-se na Tabela 1 esses traços detalhados.

TABELA 1 - TRAÇOS SOLO-CIMENTO

Traços solo-cimento
Composição da mistura (Kg)

Traço	Solo	Cimento	Resíduo	Soma
T1 (0% Resíduo + 10% Cimento)	30 Kg	3 Kg	-	33 Kg
T2 (0% Resíduo + 15% Cimento)	30 Kg	4,5 Kg	-	34,5 Kg
T3 (20% Resíduo + 10% Cimento)	24 Kg	3 Kg	6 Kg	33 Kg
T4 (20% Resíduo + 15% Cimento)	24 Kg	4,5 Kg	6 Kg	34,5 Kg
T5 (40% Resíduo + 10% Cimento)	18 Kg	3 Kg	12 Kg	33 Kg
T6 (40% Resíduo + 15% Cimento)	18 Kg	4,5 Kg	12 Kg	34,5 Kg

3.2.1.2. Análise Granulométrica

A determinação da granulometria de uma mistura é importante visto que estas análises possuem influência direta na qualidade e no custo do solo-cimento (SOUZA; SEGANTINI; PEREIRA, 2008). Os ensaios para a determinação da granulometria do solo e das composições propostas foram realizados levando em consideração as prescrições estabelecidas na NBR 7217 - Agregados - Determinação da composição granulométrica (1987).



Figura 1 – Teste Análise Granulométrica

3.2.1.3. Limite de Liquidez

É relevante conhecer o limite de liquidez dos traços em estudo para compreender a trabalhabilidade dos solos, que nesse caso específico estabelece o teor de umidade presente (SOUZA; SEGANTINI; PEREIRA, 2008). A Associação Brasileira de Cimentos Portland (ABCP) recomenda que esse limite, a ser obtido através dos ensaios, seja menor que 45% (ABCP, 1985). Para cada uma das composições foram realizados ensaios de liquidez de acordo com o que estabelece a NBR 6459 - Solo - Determinação do limite de liquidez (ABNT, 2016).



Figura 2 - Teste Limite de Liquidez

3.2.1.4. Limite de Plasticidade

Tendo em vista a necessidade de conhecer também a capacidade das misturas de serem moldadas, foi definido que o teste para determinação do limite de plasticidade seria fundamental para conhecer mais essa propriedade dos solos analisados. Associando os valores dos limites de plasticidade com os de liquidez encontrados é possível analisar melhor os processos de secagem, mistura e destorroamento. A ABCP (1985) recomenda que esse limite a ser obtido através dos ensaios seja menor que 18%. Os ensaios para encontrar os valores do limite de plasticidade foram baseados na NBR 7180 - Solo - Determinação do limite de plasticidade (ABNT, 2016).

3.2.1.5. Retração

A realização do teste de retração nas amostras tem por objetivo identificar a presença de argilas expansivas. Em alguns casos, esse agregado acaba comprometendo o desempenho do material durante o processo de secagem, pois absorvem grandes quantidades de água ocasionando fissuras/trincas. Por isso, é necessário realizar esses testes antes da confecção dos tijolos, pois, caso a retração apresentada seja inapropriada podemos corrigir ou substituir o solo escolhido. Os ensaios foram realizados segundo as orientações do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED, 1984). A primeira etapa desse teste é a obtenção de um material de consistência plástica através da umidificação das amostras. O material é colocado dentro de uma caixa (60,0 cm x 8,5 cm x 3,5cm) e adensado manualmente. Posteriormente, a amostra é colocada em repouso na sombra por um período de 7 dias. Decorrido o tempo proposto é realizada uma leitura da retração em relação ao comprimento da caixa, sendo que esta deve ser inferior a 20 mm e não apresentar fenda transversal na amostra.



Figura 3 - Teste de Retração

3.2.1.6. Corpos de Prova

Os corpos de provas cilíndricos de Próctor ($d=9,6$ cm e $h=12,7$ cm) foram confeccionados para serem submetidos ao teste de resistência à compressão simples. Sua produção seguiu as diretrizes apresentadas na NBR 12024 - Solo-cimento — Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos — Procedimento (ABNT, 2012). Após a sua confecção, os

corpos de provas permaneceram em processo de cura até a data da realização dos ensaios propostos (7 dias, 14 dias e 28 dias). Foram produzidos 3 corpos de prova para cada traço estabelecido.



Figura 4 - Corpos de Provas

3.2.1.7. Produção dos tijolos

Os tijolos que usados no teste de resistência à compressão simples foram confeccionados em uma prensa hidráulica de marca Indústria Eco Máquinas LTDA. Foram obtidos tijolos vazados/furados com 7,0 cm de espessura, 12,5 cm de largura e 25,0 cm de comprimento. Para cada traço estabelecido foram confeccionados 10 tijolos utilizados nos ensaios especificados.



Figura 5 - Tijolos Confeccionados

3.2.1.8. Resistência à Compressão

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão serão obtidos através do rompimento dos corpos de prova confeccionados. Esse ensaio é realizado conforme a norma NBR 10836 - Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio (2013).

3.2.2. Viabilidade Econômica Financeira

Após a análise dos dados provenientes dos ensaios realizados nos corpos de prova, deve-se selecionar os modelos de cálculo de viabilidade econômica para serem aplicados ao projeto. Para essa etapa utilizou-se um sistema simples de comparação dos valores provenientes dos tijolos fabricados apenas com o solo-cimento e o dos tijolos com a inserção do resíduo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análises Granulométricas

Foram desenvolvidas três análises granulométricas distintas para obtenção das características do solo, do resíduo misto e das composições solo-resíduo. Os resultados são mostrados no Gráfico 1 e na Tabela 2.

TABELA 2 – CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Curva de Distribuição Granulométrica				
Diâmetro	Solo sem resíduos	Resíduo	Solo + 20% de resíduo	Solo + 40% de resíduo
9,5	100,00%	100,00%	94,49%	99,70%
4,75	99,05%	97,71%	97,68%	98,18%
2,36	94,45%	89,55%	91,74%	91,34%
1,18	83,08%	79,28%	79,02%	77,34%
0,6	58,33%	56,49%	51,37%	50,78%
0,3	25,89%	25,93%	24,11%	31,28%
0,15	9,80%	10,67%	8,35%	9,08%
Fundo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

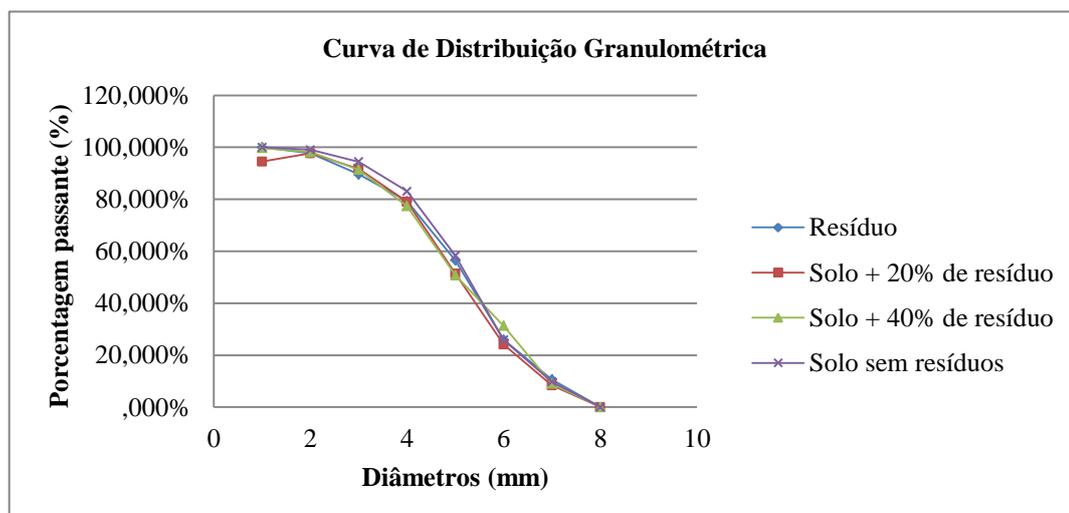


Gráfico 1 – Curva de Distribuição Granulométrica

Fonte: Elaborado pelos autores

Após uma análise inicial das informações obtidas na tabela e no gráfico é possível inferir que as características granulométricas do solo usado, do resíduo misto e das composições analisadas são bastante semelhantes. As curvas que representam os resultados de cada avaliação realizada se encontram bem próximas, justificando essa primeira conclusão obtida através da determinação da composição granulométrica.

Um segundo estudo pode ser realizado através desses dados fornecidos. A caracterização dos solos usados podem ser classificados de acordo com a escala granulométrica adotadas pelas A.S.T.M., A.A.S.H.T.O, M.I.T. e ABNT, conforme figura abaixo.

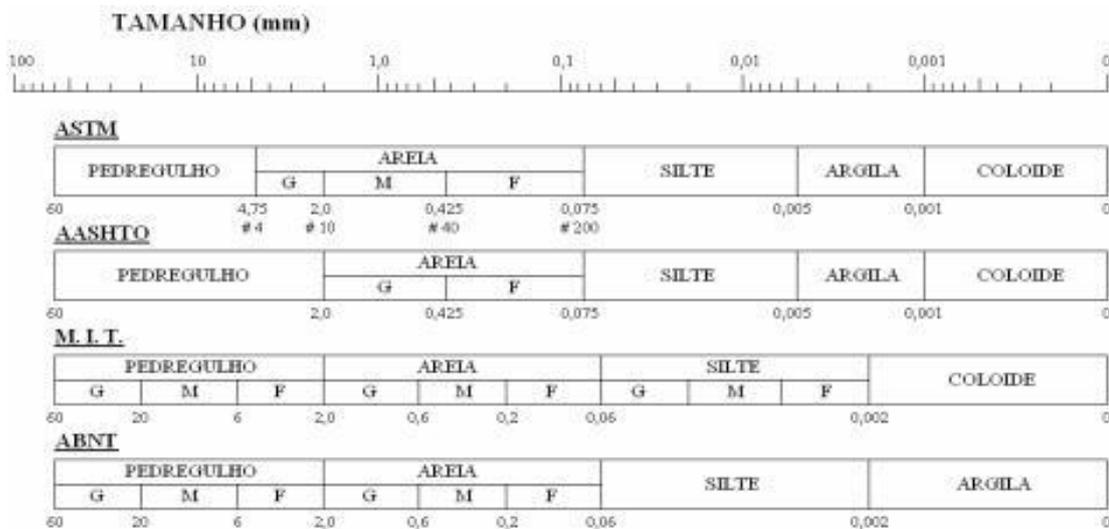


Figura 6 – Classificação dos Solos quanto ao Tamanho dos Grãos
Fonte: Santos (2013)

Através da escala representada na Figura 6 foi possível classificar os solos em pedregulho, areia, silte e argila conforme Tabela 3.

TABELA 3 – CLASSIFICAÇÃO DO SOLO
CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

	Pedregulho	Areia (Fina, Média e Grossa)	Silte e Argila
Solo sem resíduos	5,55%	84,65%	9,80%
Resíduo	10,45%	78,88%	10,67%
Solo + 20% de resíduo	8,26%	83,39%	8,35%
Solo + 40% de resíduo	8,66%	82,26%	9,08%

Através dos valores apresentados na Tabela 3 foi possível identificar que o solo utilizado para a realização dos ensaios e para a confecção dos tijolos trata-se de um solo com características arenosas. A adição de resíduos nas composições não muda significativamente a sua granulometria, mas contribui para que o teor de pedregulho aumente.

O CEPED (1984) sugere que a granulometria ideal para a composição solo-cimento deve conter menos de 20% de argila, 10% a 55% de argila mais silte e de 45% a 90% de areia. Para todas as análises realizadas o valor de areia e de argila encontradas na determinação da granulometria está dentro da faixa considerada ideal. O teor de argila mais silte encontram-se um pouco abaixo do que é estabelecido pela CEPED nas composições e no solo puro.

Diante do que foi observado e dos valores estabelecidos pode-se concluir que o solo e o resíduo utilizado tratam-se de materiais adequados para a confecção dos tijolos. A pequena diferença encontrada no teor de argila e silte em relação à granulometria ideal não apresentam grandes influências sobre o produto final a ser obtido. É importante considerar ainda que esses valores poderiam ser corrigidos através da adição de mais resíduos.

4.2. Limites de Liquidez, Limites de Plasticidade e Limite de Consistência

Na tabela abaixo são mostrados os valores do limite de liquidez, plasticidade e consistência (obtido pela diferença dos resultados apresentados entre a liquidez e a plasticidade de cada análise) em relação a amostra de solo, resíduo misto e as composições solo-resíduo.

TABELA 4 – LIMITE DE LIQUIDEZ, PLASTICIDADE E CONSISTÊNCIA
LIMITES DE LIQUIDEZ, PLASTICIDADE E CONSISTÊNCIA

	LL	LP	IP
Solo sem resíduos	30,95%	40,28%	-9,33%
Resíduo	16,62%	0,00%	16,62%
Solo + 20% de resíduo	28,42%	35,84%	-7,42%
Solo + 40% de resíduo	27,05%	30,79%	-3,74%

Os resultados obtidos são decisivos para a melhoria da qualidade do produto final, uma vez que o solo considerado adequado para a produção do solo-cimento deve possuir limite de liquidez menor ou igual a 45% e o limite de plasticidade menor ou igual a 18%. (ABCP, 1985)

Após análises dos dados da Tabela 04, percebe-se que o limite de liquidez após o resíduo ter sido acrescentado, promoveu uma redução considerada adequada em relação ao indicado, sendo assim uma provável melhoria nas condições de trabalhabilidade dos solos.

Entretanto o limite de plasticidade resultou num valor significativamente alto em relação ao que se recomenda, com isso verifica-se que o limite de consistência deu um valor negativo, ou seja, abaixo do que se esperava. Isso pode ter ocorrido devido a porcentagem de resíduos adotada na amostra e também da maneira em que foi executado o ensaio podendo haver algum erro durante a elaboração do mesmo. Observa-se que a adição de resíduo diminui gradativamente índice de plasticidade, mesmo que ainda não se tenha alcançado o valor recomendado.

4.3. Retração

Com relação aos testes de retração, o CEPED (1984) prevê que para que seja viável a confecção dos tijolos solo-cimento a soma da leitura das retrações lineares nas extremidades das amostras seja inferior a 20 mm e não podem ocorrer fissuras na parte central da porção separada para análise.

Foram realizadas amostragem dos 6 traços estabelecidos e verificou-se que nenhum deles apresentou rachaduras ou fendas capazes de serem medidas ou levadas em consideração, conforme figura abaixo.



Figura 7 - Ensaio de Retração Finalizado

Diante disso é possível inferir que quanto à retração os materiais (solo e resíduo) selecionados para a fabricação do tijolo solo-cimento são adequados.

4.4. Resistência à Compressão dos Tijolos

Com o objetivo de se obter a resistência à compressão mais real dos tijolos confeccionados foram realizados testes e os resultados estão apresentados nos Gráficos 2 e 3 e nas Tabelas 5 e 6.

TABELA 5 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (TIJOLOS COM 10% DE CIMENTO)

Resistência à compressão (Tijolos - 10% de Cimento)		
Quantidade de Resíduos	Quantidade de Dias	
	14 Dias	28 Dias
Solo sem resíduos	1,19	1,643
Solo + 20% de resíduo	1,279	1,463
Solo + 40% de resíduo	1,912	2,017

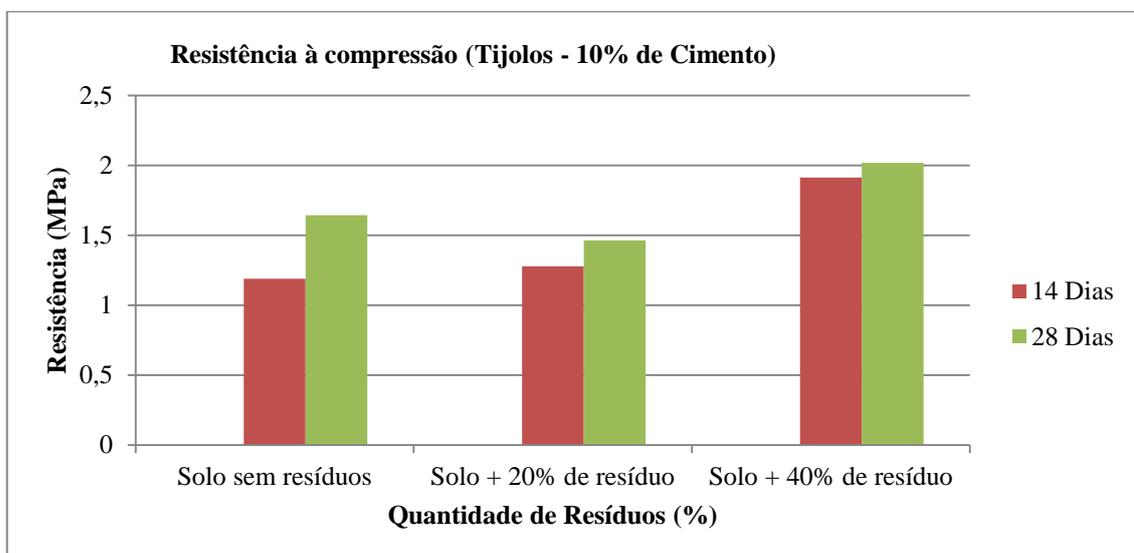


Gráfico 2 - Resistência à Compressão (Tijolos com 10% de Cimento)

Fonte: Elaborados pelos autores

TABELA 06 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (TIJOLOS COM 15% DE CIMENTO)

Resistência à compressão (Tijolos - 15% de Cimento)		
Quantidade de Resíduos	Quantidade de Dias	
	14 Dias	28 Dias
Solo sem resíduos	1,7834	1,9015
Solo + 20% de resíduo	1,885	2,264
Solo + 40% de resíduo	2,0909	2,2745

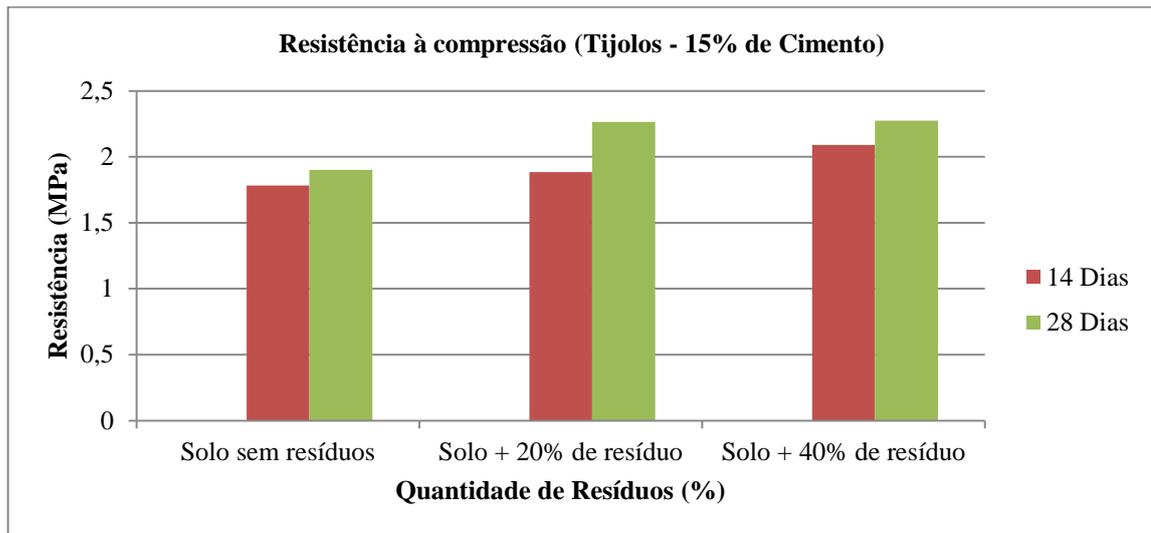


Gráfico 3 - Resistência à Compressão (Tijolos com 15% de Cimento)

Fonte: Elaborado pelos autores

Nota-se que a adição de resíduo na fabricação do tijolo solo-cimento é um ponto positivo, pois, com a mesma quantidade de cimento e aumentando apenas a proporção de resíduo, a resistência vai aumentando gradativamente com o passar do tempo, ou seja, há uma elevação nos valores de resistência à compressão simples do material.

Segundo a NBR 10834(2013), a média dos valores de resistência à compressão devem ser igual ou superior a 2,0 MPa. De acordo com os dados da Tabela 5 e o Gráfico 2 para os tijolos fabricados com 10% de cimento, constata-se que apenas a composição de solo com mais 40% de resíduo com a cura de 28 dias atingiu o que a norma estabelece.

Em uma segunda análise, foi possível verificar na Tabela 6 e o Gráfico 3 para os tijolos com 15% de cimento, que os valores da composição de solo com mais 20% de resíduo e com a cura de 28 dias, bem como composição de solo com mais 40% de resíduo independente da idade de cura, conseguiram alcançar o que a norma prescreve.

Levando em consideração o comportamento do material ao longo do tempo, a probabilidade da resistência à compressão aumentar é muito grande. E tendo isso em vista, é possível concluir que os tijolos confeccionados com 15% de cimento + 20% de resíduo podem atingir a média de 2,0 MPa estabelecida pela NBR 10834(2013).

Outra análise que se pode realizar é que todos os tijolos que não receberam nenhuma porcentagem de resíduo não conseguiram atingir o valor médio de 2,0 MPa, portanto torna-se inviável sua comercialização com essas características.

Diante de tudo o que foi apresentado nessa análise, fica evidente que o uso do resíduo na fabricação do tijolo solo-cimento ajuda a elevar os valores de resistência à compressão do material, pois em sua composição existem pedaços diversos de concreto que por sua vez

possuem o cimento como uma de sua matéria-prima. Dessa forma, evidencia-se para trabalhos futuros a possibilidade de estudar composições de solo-cimento com um teor maior de resíduo que propicie um menor uso da quantidade de cimento.

4.5. Resistência à Compressão dos Corpos Cilíndricos

A resistência à compressão é uma propriedade importante para a análise do solo-cimento utilizado, pois se relaciona diretamente com o desempenho das paredes da edificação planejada. As Tabelas 7 e 8 e os Gráficos 4 e 5 apresentam a resistência dos corpos cilíndricos (de acordo com os traços estabelecidos) em função do tempo de cura.

TABELA 7 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (CORPOS DE PROVA COM 10% DE CIMENTO)

Resistência à compressão (Corpos de Prova - 10% de Cimento)			
Quantidade de Resíduos	Quantidade de Dias		
	7 Dias	14 Dias	28 Dias
Solo sem resíduos	1,53	2,15	2,53
Solo + 20% de resíduo	2,07	2,19	2,53
Solo + 40% de resíduo	2,35	2,46	2,6

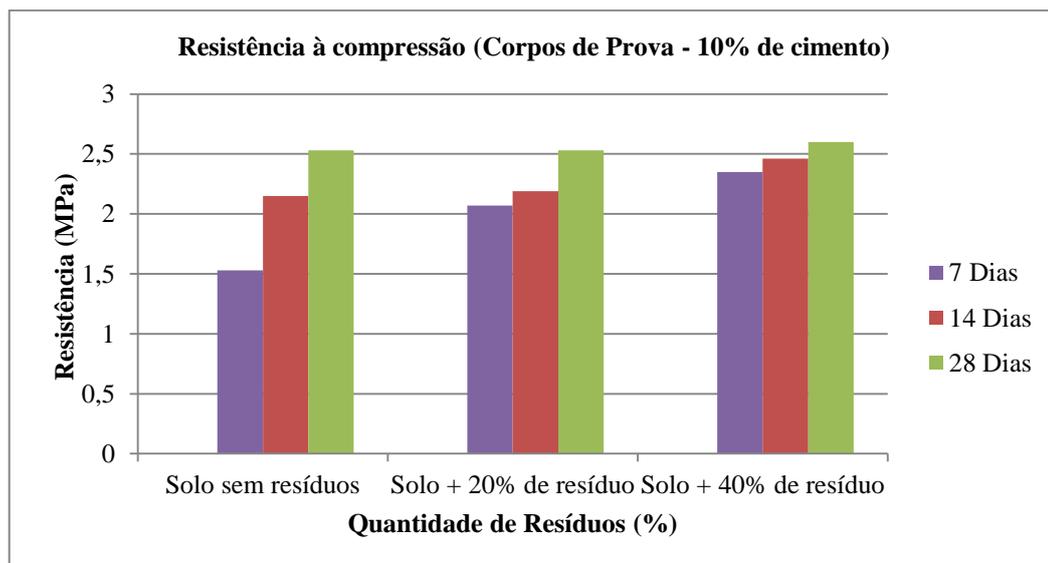


Gráfico 4 - Resistência à Compressão (Corpos de Prova com 10% de Cimento)

Fonte: Elaborado pelos autores

TABELA 8 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (CORPOS DE PROVA COM 15% DE CIMENTO)

Resistência à compressão (Corpos de Prova - 15% de Cimento)			
Quantidade de Resíduos	Quantidade de Dias		
	7 Dias	14 Dias	28 Dias
Solo sem resíduos	1,73	2,33	2,63
Solo + 20% de resíduo	2,28	2,72	3,26
Solo + 40% de resíduo	3,13	3,21	3,27

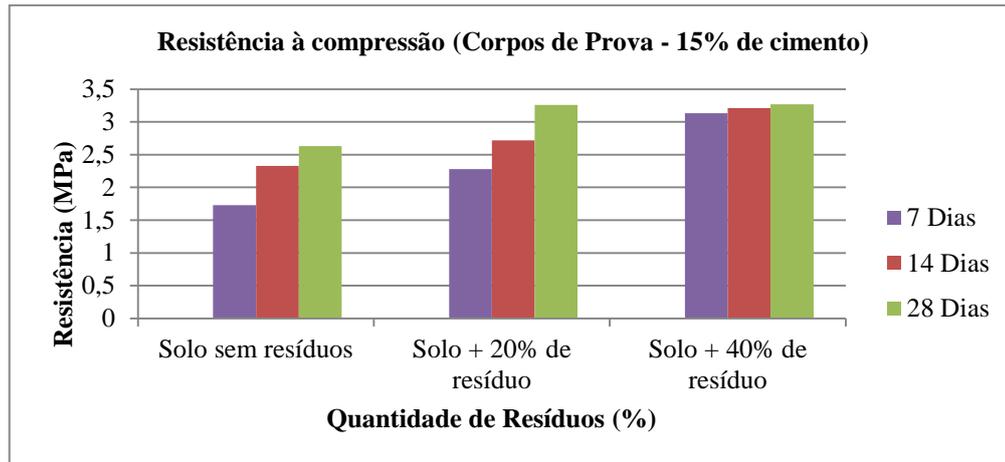


Gráfico 5 - Resistência à Compressão (Corpos de Prova com 15% de Cimento)

Fonte: Elaborado pelos autores

Após análise dos dados fornecidos nas Tabelas 7 e 8 e os Gráficos 4 e 5 para as misturas com 10% e 15% de cimento na composição dos corpos de prova confeccionados e tendo como referência a norma NBR 12025(2012), verifica-se que apenas o resultado de solo sem resíduo com sete dias de cura não atingiu a média de 2,0 MPa que essa norma prescreve.

Nota-se que os valores da resistência obtidos nos corpos de prova foram superiores aos valores da resistência obtidos nos tijolos. Isso se deve porque vários fatores influenciaram nesses resultados. Em primeira análise chega-se a conclusão que o fato do tijolo ser furado diminui os valores de resistência.

Os corpos de prova conservam mais as características originais do material, pois em sua confecção são utilizados procedimentos que acabam por resultar em um menor número de variáveis. Já na confecção dos tijolos esse número de variáveis aumenta, pois, a sua confecção é feita manualmente por uma prensa hidráulica, houve manipulação (corte e lixamento da superfície) para fazer o capeamento, aderência entre a parte manipulada e o neopreme (capeamento), entre outros.

4.7. Análise da Viabilidade Econômica

A análise da viabilidade econômica para confecção dos tijolos foi feita através da composição de custos considerando apenas os insumos utilizados, tendo em vista que o valor da mão de obra não se alterará se alguma matéria prima for substituída.

Os valores e quantitativos apresentados nas análises a seguir foram obtidos através de uma pesquisa de mercado e de levantamentos realizados durante a confecção dos tijolos utilizados nos testes de resistência à compressão.

TABELA 9 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO PARA TIJOLOS COM 10% DE CIMENTO

SOLO PURO + 10% DE CIMENTO				
Item	Material	Qtd. p/ 15 tijolos	Valor (\$/Kg)	Valor Tijolo
01	Solo	30 Kg	0,0038	0,1076
02	Cimento	3 Kg	0,5	
SOLO + 20% DE RESÍDUOS + 10% DE CIMENTO				
Item	Material	Qtd. p/ 15 tijolos	Valor (\$/Kg)	Valor Total
01	Solo	24 Kg	0,0038	0,110785882
02	Cimento	3 Kg	0,5	
03	Resíduo	6 Kg	0,011764706	

SOLO + 40% DE RESÍDUOS + 10% DE CIMENTO				
Item	Material	Qtd. p/ 15 tijolos	Valor (\$/Kg)	Valor Total
01	Solo	18 Kg	0,0038	0,113971765
02	Cimento	3 Kg	0,5	
03	Resíduo	12 Kg	0,011764706	

TABELA 10 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO PARA TIJOLOS COM 15% DE CIMENTO

SOLO PURO + 15% DE CIMENTO				
Item	Material	Qtd. p/ 15 tijolos	Valor (\$/Kg)	Valor Tijolo
01	Solo	30 Kg	0,0038	0,1576
02	Cimento	4,5 Kg	0,5	
SOLO + 20% DE RESÍDUOS + 15% DE CIMENTO				
Item	Material	Qtd. p/ 15 tijolos	Valor (\$/Kg)	Valor Total
01	Solo	24 Kg	0,0038	0,160785882
02	Cimento	4,5 Kg	0,5	
03	Resíduo	6 Kg	0,011764706	
SOLO + 40% DE RESÍDUOS + 15% DE CIMENTO				
Item	Material	Qtd. p/ 15 tijolos	Valor (\$/Kg)	Valor Total
01	Solo	18 Kg	0,0038	0,163971765
02	Cimento	4,5 Kg	0,5	
03	Resíduo	12 Kg	0,011764706	

Verifica-se através da composição dos insumos apresentados nas Tabelas 9 e 10 que a adição de resíduos caracteriza um aumento no custo dos tijolos. É possível concluir ainda que a mudança na porcentagem do cimento utilizado também contribuirá para que o custo final do produto apresente uma elevação a ser considerada.

Diante de uma análise mais criteriosa observa-se que o aumento ocasionado pelo uso do resíduo torna-se insignificante se levado em consideração o custo benefício que esse insumo traz ao produto em estudo. A inserção do resíduo e a quantidade adequada de cimento faz com que os tijolos estejam de acordo com a norma que os regem relacionado a resistência. É importante considerar ainda que a comercialização dos tijolos confeccionados apenas com solo ou com baixa porcentagem de resíduo apesar de serem economicamente mais lucrativos não possuem resistência adequada.

Nota-se que o cimento contribui significativamente na elevação da capacidade do tijolo a resistir aos esforços de compressão simples (observado nos ensaios realizados). Portanto uma alternativa para que o produto em estudo consiga atingir valores considerados pertinentes ao que é exigido na NBR 10834:2012 seria elevar ainda mais as porcentagens de cimento a ser utilizado. Contudo diante da composição de custo apresentada conclui-se que é mais viável economicamente inserir mais resíduos do que o próprio cimento, pois a proporção reais/Kg do resíduo é 43 vezes mais barato a proporção encontrada para o cimento.

5. CONCLUSÃO

Depois da realização de todo o estudo baseado em referências bibliográficas que serviram de apoio para o desenvolvimento inicial do conteúdo teórico necessário para compreender o cenário da pesquisa proposta e após a execução de todos dos testes considerados essenciais para fundamentação das análises no âmbito tecnológico e econômico foi possível chegar a conclusões importantes acerca do assunto.

O solo-cimento configura-se uma excelente matriz para receber o reaproveitamento do resíduo misto em sua composição. Essa mudança contribuiu para que os índices de plasticidade, liquidez e resistência á compressão simples fossem melhorados.

Em uma segunda análise é possível verificar que somente com a adição de resíduo faz com que os tijolos estejam adequados para serem comercializados se for levado em conta os requisitos mínimos exigidos pela norma.

Verifica-se ainda que a resistência dos tijolos fabricados aumenta gradativamente com o passar do tempo. Sugere-se que em estudos futuros sejam realizados testes com maior intervalo de tempo para comprovar esse aumento e contribuir com a obtenção de resultados mais precisos e próximos do valor real (possível estabilidade da resistência à compressão em determinado tempo).

Em uma última análise do que foi proposto verificou-se que os resíduos elevam os custos do produto final. Porém esse aumento no valor do agregado se torna irrisório quando é levado em consideração os benefícios oriundos dessa composição e quando se compara as outras análises possíveis (como o aumento da porcentagem de cimento).

Diante de tudo o que foi analisado, pesquisado e concluído sugere-se como continuação/contribuição do estudo realizado a inserção de novos testes para melhor caracterização do solo e do resíduo utilizado, mudança nos traços estabelecidos considerando um aumento na porcentagem da substituição do resíduo e uma análise econômica mais criteriosa.

REFERÊNCIAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Dosagem das misturas de solo-cimento:** normas de dosagem. São Paulo: ABCP, Estudo Técnico ET-35, 1986. 51p.

_____. **Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com utilização de prensas manuais.** São Paulo: ABCP, Boletim Técnico BT-111, 1985, 5p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004:** resíduos sólidos. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 2004.

_____. **NBR 6459:** Solo: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro (RJ):ABNT, 2016.

_____. **NBR 7180:** solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro (RJ):ABNT, 2016.

_____. **NBR 7217:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 1987.

_____. **NBR 12025:** solo-cimento: ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos- Método de Ensaio. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 2012a.

_____. **NBR 12024:** solo-cimento: moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos- Procedimento. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 2012b.

_____. **NBR 12253:** solo-cimento: dosagem para emprego como camada de pavimento: procedimento. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 2012c.

_____. **NBR 10833**: fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica: procedimento. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 2013a. 3 p.

_____. **NBR 10836**: bloco de solo-cimento sem função estrutural – Análise dimensional, determinação da resistência a compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 2013b.

_____. **NBR 10834**: bloco de solo-cimento sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 2013c.

CAVALCANTI, C. Sustentabilidade: mantra ou escolha moral? Uma abordagem ecológico-econômica. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 35-50, 2012.

CEPED. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento. **Manual de construção com solo-cimento**. Camaçari: CEPED, 1984. 116p.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução 307, de 5 de julho de 2002. **Diário Oficial de União (DOU)**, Brasília (DF), 5 jul. 2002.

CRUZ, T. F. S. **A arquitetura e o urbanismo de uma Vila Ferroviária**. 2007. 219 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo (USP), São Carlos (SP), 2007.

FERRAZ, A. L. N. **Análise da adição de resíduos de argamassa de cimento em tijolos prensados de solo-cimento**. 2004. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira (SP), 2004.

GIAROLA, E.; DINIZ P.C. O. C. Política Nacional de resíduos sólidos, lei 12.305/2010: estudo de caso do município de Uberlândia, Minas Gerais. **Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 44, 2012.

GRIMBERG, E. **A Política Nacional de Resíduos Sólidos: a responsabilidade das empresas e a inclusão social**. Rio Claro, 2005.

JACOBI, P. R.; GINA R. B. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar**. São Paulo, 2001. Disponível em:
<<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/apres1.htm>>. Acesso em: 17 maio 2016.

_____. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 102 f. Tese (Livre – Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2000.

_____. **Aproveitamento de resíduos como materiais de construção**: reciclagem de entulho para produção de materiais de construção. Salvador: EDUFBA, 2001. p. 28-45.

- _____. **A construção e o meio ambiente**. 2004. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho.ind.ccivil.htm>>. Acesso em: 15 maio 2016.
- LOPES, W. G. R. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas**. 2002. 158 f. Dissertação (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas (SP), 2002.
- LOUREIRO, S. M.; PEREIRA, V. L. D. V.; PACHECO JUNIOR, W. A sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável na educação em engenharia. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, 2016.
- MOTTA, J. C. S. S. et al. Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **E-xacta**, v. 7, n. 1, 2014.
- NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- NEVES, C. M. M. **Tijolos de solo-cimento: dez alternativas tecnológicas para habitação**. Brasília: MINTER/PNUD, 1989. p. 14-166.
- PENTEADO, P. T.; MARINHO, R. C. **Análise comparativa de custo e produtividade dos sistemas construtivos: alvenaria de solo-cimento, alvenaria com blocos cerâmicos e alvenaria estrutural com blocos de concreto na construção de uma residência popular**. 2011. 64 f. Monografia (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2011.
- PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 1999.
- PITTA, M. R. Estabilização com solo-cimento. **Revista Techne**, São Paulo (SP), n. 17, jul./ago. 1995.
- PRESA, M. B. **Resistência à compressão e absorção de água em tijolos de solo cimento**. 2011. 51 f. Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília (UnB), Brasília (DF), 2011.
- SEBRAE. Sistema Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. 2011. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br>>. Acesso em: 08 maio 2016.
- SEGANTINI, A. A. S.; WADA, P. H. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 2, p. 179-183, 2011.
- SILVA, M. V. **Desenvolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de estação de tratamento de água**. 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo (SP), 2011.
- SILVA, S. R. **Tijolos de solo cimento reforçado com serragem de madeira**. 2005. 219 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte (MG), 2005.

SILVA, V. M. et al. Incorporation of ceramic waste into binary and ternary soil-cement formulations for the production of solid bricks. **Materials Research**, v. 17, n. 2, p. 326-331, 2014.

SOUSA, M.; ORSINI, C. Política Nacional dos Resíduos Sólidos: uma busca pela a redução dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). **InterfacEHS-Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 7, n. 3, 2013.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento**. 2006. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho (UNESP), Ilha Solteira (SP), 2006.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 205-212, 2008.

ZORDAN, S. E. **A Utilização do entulho como agregado na confecção do concreto**. 1997.140 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 1997.

_____. **Entulho da indústria da construção civil**. 2004. Disponível em:
<<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho.ind.ccivil.htm>>. Acesso em: 16maio 2016.