

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO: PROPRIEDADES TÉRMICAS E MECÂNICAS

LIMA, Fabíolla Xavier Rocha Ferreira¹; **BACARJI**, Edgar²; **FERREIRA**, Regis de Castro³

Palavras-chave: Resíduo de argamassa, tijolo de solo-cimento, conforto térmico

1 INTRODUÇÃO (justificativa e objetivos)

O uso da terra como material de construção para moradias remonta há milênios. O seu emprego foi generalizado pela facilidade de obtenção e manuseio. Para a edificação de moradias, o solo-cimento foi pouco pesquisado até o momento, momento este em que o déficit habitacional começou a atingir cifras alarmantes e de onde começaram a surgir trabalhos em várias partes do mundo, financiados inclusive pela Organização das Nações Unidas.

Hoje, o déficit habitacional continua. Por outro lado, grande é o desperdício de material gerado pela construção civil, o que produz um considerável volume de resíduos. Tal fato apresenta-se como um problema nas áreas urbanas, pois a geração e o descarte inadequado destes resíduos causam diversos impactos ambientais, sociais e econômicos.

Diante desse quadro, surgem algumas linhas de pesquisas dentro do setor da construção civil. Uma delas é a valorização e utilização de resíduos industriais no desenvolvimento de materiais de construção (MARGON; ROCHA, 2003 *apud* SIMAS, 2004). Outra é a da valorização, desenvolvimento e utilização de materiais de construção alternativos provenientes de recursos renováveis e de baixos consumos de energia que tenham baixa toxicidade e que não gerem poluentes. (ALVES, 2002 *apud* SIMAS, 2004).

Estas vertentes estão diretamente relacionadas à grande demanda e aptidão que o setor demonstra ao consumir cada vez mais esses tipos de materiais (MARGON; ROCHA, 2003 *apud* SIMAS, 2004) e, a partir delas, a reciclagem de resíduos, sejam eles provenientes de atividades de construção ou de demolição, tem se tornado cada vez mais alvo de constantes pesquisas no Brasil (ÂNGULO, 2000; CARNEIRO *et al.*, 2000; SOUSA, 2001; LEITE, 2001; HABITARE, 2003 *apud* SIMAS, 2004).

Assim, a reciclagem seria a melhor alternativa para reduzir os impactos que o ambiente natural vem sofrendo com o consumo de matéria-prima e a geração desordenada de resíduos.

O solo é um material apropriado para as mais diversas aplicações em construções devido à sua abundância, facilidade de obtenção e manuseio, e baixo custo. A prova da eficiência desse material é que existem construções feitas com materiais derivados do solo que datam de milênios e estão resistindo às intempéries (GRANDE, 2003). Ao mesmo tempo, o uso de alvenaria como sistema construtivo tem forte expressividade cultural, sendo que o tijolo pode ser considerado o componente pré-moldado mais antigo e também o mais empregado pelo homem na história da construção civil.

A partir daí observa-se que o uso de tijolos de solo-cimento produzidos por meio de prensas manuais, com aplicações de técnicas simples e soluções viáveis, está em conformidade com o importante princípio de se tentar estabelecer uma relação saudável entre baixo custo e qualidade das obras sem desprezar a cultura, a realidade de consumo e os limites da mão-de-obra.

¹ Bolsista do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente PPGEMA – UFG, fabiolla@posgrad.ufg.br

² Orientador / Professor Escola de Engenharia Civil – UFG, edgar@eec.ufg.br

³ Co-orientador / Professor Escola de Agronomia – UFG, rcastro@agro.ufg.br

A escolha do tema desta pesquisa justifica-se pela necessidade atual de se encontrar mecanismos que sejam boas alternativas para amenizar grandes problemas da atualidade como o alto custo das edificações, a falta de moradia e a agressão ao meio ambiente; além de contribuir na ampliação de conhecimentos tecnológicos acerca dos estudos sobre a aplicação de resíduos na fabricação de materiais de construção na tentativa de se evitar mais agressões ao meio ambiente.

A relevância da pesquisa está em apontar tendências e sugerir mudanças no cenário da construção civil brasileira rumo à adoção de técnicas de construção sustentáveis e tem como objetivo geral o estudo da viabilidade da aplicação de resíduos de argamassa de cimento gerados na construção civil em tijolos de solo-cimento, sua aplicação como alvenaria de vedação e estrutural, bem como para a melhoria do conforto térmico nas edificações.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Na realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

Solo – foi coletado de uma obra em fase de escavação no Setor Oeste, em Goiânia – GO. Resíduo de argamassa de cimento – foi coletado em caçamba de tira-entulho de um canteiro de obras do Setor Cidade Jardim, também em Goiânia – GO. Após a coleta, o resíduo foi levado até FURNAS Centrais Elétricas S.A, em Aparecida de Goiânia-GO para que pudesse ser triturado e peneirado, a fim de se eliminar os torrões e grãos com diâmetros superiores a 4,8mm. Cimento – O cimento utilizado na dosagem dos corpos-de-prova foi o CP II E 32. A água utilizada na confecção dos corpos-de-prova foi coletada da rede pública de abastecimento da cidade de Goiânia - GO.

2.2 Métodos

Foram estudadas misturas compostas por solo natural sem adição de resíduo, com substituição de 10%, 15% e 30% de resíduo em relação à massa do solo, empregando-se em cada composição três teores de cimento: 5%, 10% e 15% em relação à massa da mistura solo e resíduo. Para cada uma destas dosagens foram moldados três corpos-de-prova de tijolos, seguindo-se as recomendações da NBR 8492 e serão moldados três corpos-de-prova cilíndricos, no cilindro de Proctor, seguindo-se as recomendações da NBR 12024.

Visando determinar os valores de umidade ótima e massa específica seca máxima, foram realizados ensaios de compactação, de acordo com as prescrições da NBR 7182. As análises granulométricas do solo e das composições com resíduo, realizadas por peneiramento em combinação com sedimentação, foram efetuadas em conformidade com a NBR 7181. Foi determinado o grau de acidez do solo de acordo com a NBR 9252 (ABNT, 1986c), além da análise química completa, para determinação dos componentes presentes no resíduo, e o ensaio de difratometria (ou difração) de raio-X.

Foram também realizados ensaios para a determinação dos limites de consistência das composições (NBR 7180 e NBR 6459), ensaios para a determinação da massa específica dos grãos que passam na peneira 4,8mm (NBR 6508), ensaios de resistência à compressão simples em corpos de prova cilíndricos (ainda a realizar) (NBR 12025) e ensaios de resistência à compressão simples de tijolos e de absorção dos corpos-de-prova feitos em tijolos e cilindros. Os ensaios de resistência à compressão foram feitos ao 7° e 28° dias da moldagem.

Quanto à confecção dos tijolos, a prensagem foi realizada por prensa manual, onde foram controlados e rigorosamente conferidos os seguintes parâmetros: energia de compactação, massa dos materiais a serem colocados na fôrma e teores de cimento e umidade, a fim de serem uniformizadas as características de todos os corpos-de-prova.

Os corpos-de-prova foram confeccionados e ensaiados de acordo com as prescrições da NBR 8491 e NBR 8492. A cura dos mesmos foi feita com aspersão de água, realizada a cada 2

horas, por 12 horas e durante 6 dias, onde permaneceram úmidos e protegidos do vento e da insolação direta.

A determinação das propriedades termofísicas dos corpos-de-prova será feita a partir do ensaio de condutibilidade térmica pelo método da caixa quente protegida, de acordo com as prescrições da norma NBR 6488 (ABNT, 1980) e do ensaio de calor específico, mediante os procedimentos da ASTM C-351-922b (ASTM, 1999). Esses dois ensaios serão feitos com os tijolos que apresentarem melhores resultados de resistência.

Os resultados experimentais serão analisados por meio de tratamento estatístico, sendo que o planejamento experimental corresponderá a um esquema fatorial 4x3x2, delineado inteiramente casualizado, com três repetições.

Será realizada uma análise de variância para avaliar o efeito da interação entre os fatores sobre as variáveis respostas resistência à compressão simples e capacidade de absorção de água; além das principais propriedades termofísicas (condutibilidade térmica, calor específico, resistência térmica, transmitância térmica, atraso térmico, fator de calor solar) relacionadas com o desempenho térmico de edificações. As médias obtidas serão comparadas pelo teste Tukey a 1% de probabilidade.

3 RESULTADOS PRELIMINARES E DISCUSSÕES

Foram obtidos os seguintes resultados dos ensaios de caracterização do solo e do resíduo:

3.1 Composição granulométrica

A Ilustração 3.1 apresenta as curvas granulométricas do solo, do resíduo e das composições de solo com resíduo.

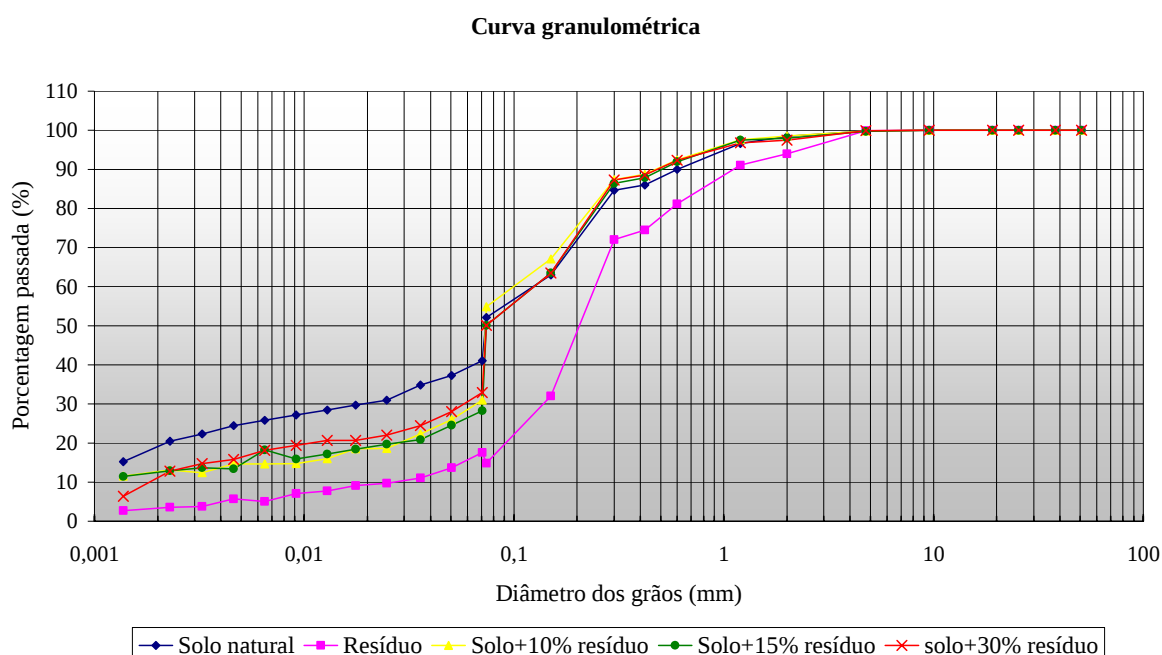


Ilustração 3.1 – Curvas granulométricas do solo e das composições de solo com resíduo

Considera-se adequado para produzir tijolos de solo-cimento solos que possuam, segundo a NBR 10832 (ABNT, 1989a) e NBR 10833 (ABNT, 1989b), 100% dos grãos passando na peneira ABNT 4,8mm e de 10% a 50% dos grãos passando no peneira ABNT 0,075mm.

A Ilustração 3.1 mostra que, para o solo, a porcentagem que passa na peneira de 4,8mm foi de 99,81% e para o resíduo a porcentagem foi de 14,87%, sendo então considerados satisfatórios para a composição de solo-cimento.

A classificação do solo, do resíduo e das misturas de solo com resíduo foi feita de acordo com as recomendações de Pinto (2000), classificado como sendo argiloso de baixa compressibilidade e de granulação fina com 48% de argila, 14% de silte e 38% de areia. O

resíduo apresenta granulação grossa, classificado como areia argilosa. As composições de solo com resíduo ficaram dentro dos limites de solo argiloso de baixa compressibilidade, de granulação fina. Segundo a literatura, os solos mais apropriados para solo-cimento são os que possuem teor de areia entre 45% e 50%, porém, optou-se pela não correção do solo disponível a fim de averiguar se o próprio resíduo possibilitaria esta correção.

3.2 Massa Específica dos Grãos

Os valores obtidos de massa específica dos grãos do solo, do resíduo e das composições de solo com resíduo foram os seguintes: Solo natural: $2,71\text{g/cm}^3$, Resíduo: $2,65\text{g/cm}^3$, Solo com 10% resíduo: $2,70\text{g/cm}^3$, Solo com 15% resíduo: $2,70\text{g/cm}^3$, Solo com 30% resíduo: $2,69\text{g/cm}^3$.

Estes resultados mostram que não houve variação significativa na massa específica quando se misturou o solo e o resíduo nas proporções estudadas. Tal fato valida a comparação entre os resultados de resistência que serão obtidos para uma mesma porcentagem de cimento.

3.3 Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade

Na Tabela 3.1 são apresentados os valores de limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP) do solo e das composições de solo com resíduo.

Tabela 3.1 – LL, LP e IP do solo natural e das composições de solo com resíduo

Material	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo natural	31,70	20,91	10,79
Solo + 10% resíduo	26,81	19,56	7,25
Solo + 15% resíduo	27,90	18,21	9,69
Solo + 30% resíduo	26,36	18,75	7,61

Considera-se adequado para produzir tijolos de solo-cimento, solos que possuam, segundo a NBR 10832 (ABNT, 1989a) e NBR 10833 (ABNT, 1989b), limite de liquidez $\leq 45\%$ e índice de plasticidade $\leq 18\%$, sendo assim, o solo natural e as misturas de solo com resíduo apresentaram valores satisfatórios quanto aos índices físicos, como mostra a Tabela 3.1. Segundo a literatura, quanto maior o índice de plasticidade do solo maior será a dificuldade em estabilizá-lo, já que o material estará mais sujeito às variações dimensionais, resultantes do inchamento do solo, quando úmido, e de sua retração, quando seco. Analogamente, de acordo com Pinto (2000), quanto maior for o limite de liquidez, mais compressível (sujeito a recalques) será o solo. A Tabela 3.1 mostra que, na medida em que o resíduo foi acrescentado à mistura menor foi o limite de liquidez apresentado.

3.4 Análise Química

A análise química do resíduo de argamassa de cimento e areia realizada em Furnas, determinou que este é inerte, podendo ser utilizado como substituição parcial ao solo. Como não há qualquer reação no que diz respeito à hidratação do cimento, este resíduo não pode ser utilizado como substituição parcial ao cimento.

3.5 Difratometria de Raios-X

3.5.1 Amostra 1 - Amostra integral

A análise realizada com a amostra 1 – amostra integral permitiu a identificação do mineral principal: quartzo e os minerais subordinados: calcita, feldspatos e muscovita.

3.5.2 Amostra 1 – Análises acumuladas

As três análises realizadas com a fração argila da amostra 1 (natural, glicolada e calcinada) permitiram a identificação do mineral principal: Calcita e os minerais traço: quartzo e muscovita.

Estes resultados comprovam que o resíduo possui os mesmos minerais encontrados nos elementos que o compõem: cimento, areia e cal.

4 RESULTADOS ESPERADOS

Segundo a NBR 8491 (ABNT, 1984f) as amostras ensaiadas conforme a NBR 8492 (ABNT, 1984e) não devem apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor do que

2,0MPa, nem valores individuais inferiores a 1,7MPa, com idade mínima de 7 dias. Em relação à absorção de água, não devem apresentar a média dos valores maior que 20%, nem valores individuais superiores a 22%.

Os resultados finais serão apresentados por meio de tabelas e gráficos. Estes trarão dados relativos a cada um dos demais ensaios realizados. Espera-se obter um produto final que atenda aos critérios de resistência, durabilidade e conforto térmico necessários ao bom desempenho das edificações.

5 CONCLUSÕES

Com a elaboração deste trabalho e a partir dos resultados obtidos pretende-se responder às seguintes questões:

O resíduo de argamassa de cimento pode ser uma alternativa para melhorar as propriedades de certos tipos de solo a fim de serem fabricados tijolos de solo-cimento?

Estes mesmos tijolos de solo-cimento podem contribuir para a melhoria do conforto térmico nas obras em que forem utilizados?

A adição de resíduos na fabricação dos tijolos de solo-cimento pode significar redução de custos, mantendo-se as condições técnicas apropriadas?

Os tijolos produzidos com a adição do resíduo podem ter suas propriedades mecânicas melhoradas?

Com este estudo espera-se ainda comprovar e reafirmar a idéia de que os tijolos fabricados com a utilização de resíduos de argamassa contribuem para a preservação do meio ambiente em, pelo menos, dois importantes aspectos:

- Sua fabricação dispensa o processo de cozimento, ou seja, não há consumo e queima de grandes quantidades de madeira ou de outros combustíveis;

- Como o aproveitamento dos resíduos evita-se que o mesmo seja lançado e descartado de forma inadequada, não contribuindo assim com a formação dos chamados “lixões”, assoreamentos, entupimentos das redes de água pluvial, alagamentos, etc.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. São Paulo, 2001. In: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil - materiais reciclados e suas aplicações. CT206 - IBRACON. São Paulo - SP. 2001.

ÂNGULO, S.C.; KAHN, H.; JOHN, V. M.; ULSEN, C. **Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição**. In: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil - materiais reciclados e suas aplicações. CT206 - IBRACON. São Paulo - SP. 2001.

FERRAZ, A. L. N.; SEGATINI, A. A. S. **Estudo da aplicação de resíduo de argamassa de cimento nas propriedades de tijolos de solo-cimento**. In: Holos Environment – Revista Científica do Centro de Estudos Ambientais CEA/UNESP. São Paulo, 2003.

FERREIRA, R. C. **Desempenho físico-mecânico e propriedades termofísicas de tijolos e mini-painéis de terra crua tratada com aditivos químicos**. Tese de Doutorado Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos molares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. Dissertação de Mestrado EESC-USP. São Paulo, 2003.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção – Estudo em argamassas**. São Carlos, 1986. Dissertação (Mestrado) EESC – USP.

SIMAS, J. **Avaliação do desempenho de blocos de concreto para alvenaria com e sem função estrutural produzidos com resíduos de concreto compactado com rolo**. Goiânia, 2004. Dissertação de Mestrado EEC-UFG.

FONTE DE FINANCIAMENTO – FUNAPE