

Avaliação do emprego de um solo arenoso da região Centro-Oeste na produção de tijolos de solo-cimento-RCC

Katia Cristina Zanatta

Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Brasil, katiazanatta@yahoo.com.br

Nelcí Helena Maia Gutierrez

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, nhmgutierrez@gmail.com

RESUMO: Esta pesquisa objetivou investigar a aplicação de resíduos da construção civil – RCC na fabricação de tijolos vazados de solo-cimento. Foram estudados três teores de cimento: 6%, 8% e 10%, combinados com diferentes dosagens de resíduo da construção: 20%, 40% e 60% em massa. O solo utilizado nas misturas foi o arenoso cujas características foram massa específica aparente seca máxima de $1,98 \text{ g/cm}^3$ e teor de umidade ótimo de 10%. O RCC utilizado era composto por restos de material cerâmico, concreto e argamassa, produzidos em uma usina de beneficiamento local, cuja massa específica dos grãos encontrada foi de $2,72 \text{ g/cm}^3$. Após o estudo dos materiais constituintes, foram definidas quatro dosagens para fabricação de tijolos. Os tijolos confeccionados foram avaliados com relação à resistência à compressão e a absorção de água. Problemas de moldagem na dosagem selecionada para fabricação dos tijolos a serem utilizados na confecção dos prismas levaram a necessidade de uma nova dosagem com 50% de solo, 50% de RCC e 10% de cimento. Com esta dosagem foram confeccionados 350 tijolos, visando à execução de prismas para avaliar o comportamento da alvenaria produzida com estes componentes em relação à resistência a compressão, de forma, que o estudo contemplasse não apenas, a análise do material, mas a avaliação do material enquanto componente de um sistema de alvenaria. Para a avaliação dos prismas foram seguidas as recomendações constantes nas NBR-15812:1 Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos. Parte 1: Projeto e 15821:2 Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos Parte 2: Execução e controle de obras. A resistência média do prisma de solo-cimento-RCC foi de 2,30 MPa. A resistência característica da alvenaria foi de 1,4 MPa (método proposto pela ABNT NBR 15812:2). Formulações propostas por outros autores apresentaram valores próximos a este. Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade de uso do material estudado para a finalidade proposta.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência à compressão simples; prismas de tijolos reciclados; resíduos da construção civil; solo-cimento; alvenaria.

1 INTRODUÇÃO

O processo de industrialização representa um dos principais componentes da poluição ambiental, onde subprodutos são descartados na forma de resíduos, podendo representar risco potencial à saúde pública e aos ecossistemas. O reaproveitamento desses resíduos ajuda a promover o crescimento harmônico e sustentável da sociedade.

A construção civil representa uma atividade produtora de grandes impactos ambientais, e seus resíduos representam um problema a ser administrado. Grandes empreendimentos além de promover a alteração da paisagem, produzem, como todas as demais atividades da sociedade, uma elevada carga de resíduos.

Atentas a este fator ambiental, diversas pesquisas apontam a inserção de outros materiais na composição do tijolo de solo-

cimento, como: casca de arroz, resíduos do beneficiamento do granito, resíduos da construção civil entre outros.

Os tijolos de solo-cimento representam uma alternativa para a construção da alvenaria em edificações e sua viabilidade de produção depende da presença de solos adequados à sua confecção. Além disto, a qualidade dos tijolos de solo-cimento prensado depende da compactação dos grãos, que promovem uma alta densidade e baixa porosidade.

Pinheiro e Soares (2010) citam que pesquisas realizadas pelo Banco Nacional de Habitação (BNH) verificaram que a construção com tijolos de solo-cimento apresenta as seguintes vantagens: utilização do solo local, reduzindo ou eliminando o custo de transporte; a regularidade de suas formas as quais garantem um baixo consumo de argamassas de assentamento e revestimento com espessura mínima e uniforme, ou até mesmo, dispensar o uso de revestimento (desde que haja proteção da ação direta da água) e baixo consumo energético na fabricação por dispensar o processo de queima.

Relatos apresentados por Santos, Oliveira e Marques (2012) informam que o reaproveitamento de resíduos cerâmicos se torna bastante oportuno, por se tratar de um material, normalmente, descartado de forma inadequada. Baseado em pesquisas concluem que a incorporação de resíduos cerâmicos possibilita condições técnicas favoráveis para a produção de tijolos de solo-cimento com boa qualidade e adequados às normas vigentes.

Torna-se interessante analisar não apenas o desempenho da unidade produzida, mas, também, avaliar o seu comportamento enquanto sistema construtivo, pois o comportamento da alvenaria pode variar de unidade para unidade e em função dos diferentes tipos de argamassa e graute. Desta forma, o desempenho estrutural de paredes de alvenaria não pode ser avaliado sem a realização de ensaios com prismas, pequenas paredes ou paredes executadas com blocos, argamassas e graute da mesma origem e características dos que serão efetivamente utilizados na estrutura.

Este trabalho teve por objetivo investigar a aplicação de resíduos da construção civil – RCC

na fabricação de tijolos vazados de solo-cimento e avaliar a resistência de prismas confeccionados a partir da avaliação da melhor dosagem dos materiais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia proposta neste é caracterizada pela investigação geotécnica em laboratório, englobando resíduo da construção civil – RCC e solo arenoso proveniente do Mato Grosso do Sul.

2.1 Materiais

2.1.1 Solo Arenoso

O solo utilizado foi coletado no sul do estado do Mato Grosso do Sul. Apresenta características de Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2013), de textura média (teor de argila menor que 30%).

Foi extraído de profundidade superior a um metro, de maneira a evitar a extração de matéria orgânica juntamente com o solo.

2.1.2 Resíduo da Construção Civil - RCC

O resíduo utilizado é proveniente do processo de britagem e peneiramento na malha 4,8 mm, composto por restos de materiais cerâmicos, argamassas e concreto, resultando em um produto de coloração avermelhada. O material coletado ficou ao ar livre e, após peneiramento, foi colocado em lastro de concreto para secagem.

2.2 Caracterização dos Materiais

2.2.1 Solo Arenoso

Os ensaios de caracterização e compactação do solo foram realizados no Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Maringá – UEM, de acordo com as respectivas recomendações normativas. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de caracterização e compactação do solo

Distribuição granulométrica	Material < 4,8 mm – (%)	100
	Material < 0,075 mm – (%)	25
	Pedregulho (>2,0 mm) – (%)	0
	Areia (0,06 – 2,0 mm) – (%)	77
	Silte (0,002 – 0,06 mm) – (%)	5
	Argila (< 0,002 mm) – (%)	18
Limites de consistência	Limite de Liquidez - LL (%)	20
	Limite de Plasticidade - LP (%)	14
	Índice de Plasticidade - IP (%)	6
Massa específica dos grãos	ρ_s (g/cm ³)	2,75
Ensaio de Compactação (Energia = 600 kJ/m ³)	$\rho_{dm\acute{a}x}$ (g/cm ³)	1,98
	$w_{\acute{o}t}$ (%)	10

O solo analisado é classificado, segundo a ABNT NBR 6502 (1995) como Areia Argilosa; segundo a HRB/AASHTO (ASTM D – 3282) como material A-2-4 (0) e em conformidade com a classificação UNIFICADA (ASTM D – 2487) como SC-SM (Areia Argilosa, Siltosa).

2.2.2 Resíduo da Construção Civil - RCC

O resíduo da construção civil foi caracterizado de acordo com as prescrições da ABNT, compreendendo ensaios para determinação da massa específica dos grãos e análise granulométrica.

Observou-se, durante a execução dos ensaios que o resíduo se apresentava como um material frágil, pois os grãos resultantes do processo de britagem quebravam com muita facilidade. Em razão deste fator, optou-se pela realização do ensaio granulométrico com e sem uso de dispersão mecânica para avaliar o impacto da quebra dos grãos na granulometria do material. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização do resíduo da construção civil (RCC)

Distribuição granulométrica	RCC com dispersão mecânica (%)	RCC sem dispersão mecânica (%)
Material < 4,8 mm	100	100
Material < 0,075 mm	23	12
Pedregulho (>2,0 mm)	12	14
Areia (0,06 – 2,0 mm)	65	76
Silte (0,002 – 0,06 mm)	16	7
Argila (< 0,002 mm)	7	3
Limites de Consistência	N.P. (Não Plástico)	
Massa específica dos grãos - ρ_s (g/cm ³)	2,72	

Com base nos resultados obtidos na análise granulométrica, o RCC é classificado segundo a ABNT NBR 6502 (1995) como Areia Siltosa com pedregulho.

2.3 Estudo da dosagem dos materiais

Na composição do solo-cimento, foram estudadas dosagens compostas por solo natural, cimento e, ainda, com adições de 20%, 40% e 60% de RCC em relação à massa seca de solo, empregando-se resíduos de materiais cerâmicos, argamassas e concreto. Para cada uma dessas dosagens foram utilizados três teores de cimento (6%, 8% e 10%) em relação à massa seca da mistura solo-RCC.

Com a finalidade de determinar os valores de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima foram realizados ensaios de compactação segundo as recomendações da ABNT NBR 12023 (2012).

A ABNT NBR 10833 (2012) recomenda a preparação de três traços de solo-cimento para fabricação dos tijolos. Com base nos dados de resistência obtidos no rompimento dos corpos de prova dos ensaios de compactação foram escolhidos quatro traços para fabricação de tijolos. Os traços escolhidos foram SC₆R₄₀, SC₈R₄₀, SC₈R₆₀ e SC₁₀R₆₀, sendo que as letras S, C e R designam, respectivamente: solo, cimento e RCC; e, os índices, representam o percentual adotado do respectivo material.

Foi constatado que o teor de umidade da mistura necessário para a obtenção de tijolos com boa qualidade é inferior ao teor de umidade ótima verificado no ensaio de compactação Proctor Normal. Tentativas de se moldar tijolos na umidade ótima resultavam em componentes com trincas e posterior descarte. Esse comportamento pode ser justificado tendo em vista que a quantidade de energia aplicada e os processos de compactação empregados no ensaio de compactação e na prensa são diferentes. Os corpos de prova foram moldados em laboratório com auxílio de soquete aplicando uma energia dinâmica por impacto ou percussão, enquanto que na produção dos tijolos a energia aplicada foi estática por prensagem. Desta forma, optou-se por adicionar menor quantidade de água à mistura, evitando assim a quebra dos tijolos.

Após a prensagem de cada tijolo, o mesmo era retirado e colocado em pallets para o processo de cura. A cura foi realizada após 6 horas da moldagem e durante os 7 primeiros dias. Para que os blocos permanecessem úmidos, durante o processo de cura, a aspersão de água foi realizada a cada 3 horas durante o dia e a noite. Os tijolos ficaram protegidos do vento e da insolação direta, armazenados no local de sua produção.

Decorridos 14 dias de sua fabricação, conforme recomenda a ABNT NBR 8491 (2013), as unidades foram identificadas, embaladas individualmente e transportadas para o Laboratório de Mecânica dos Solos da UEM.

2.4 Estudo das unidades de tijolos solo-cimento-RCC

Os tijolos fabricados foram analisados com base nas seguintes normas técnicas: NBR 8492/13 e NBR 8491/13.

Em relação às características visuais, as amostras apresentaram aspecto homogêneo e arestas vivas livres de trincas e imperfeições.

Para determinação da resistência à compressão simples foram analisadas as idades de 7, 14, 28 e 56 dias, sendo preparados sete tijolos para cada idade. Os tijolos foram cortados ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão e as metades foram superpostas

e ligadas por uma fina pasta de cimento Portland. Após o endurecimento da pasta, os tijolos foram capeados com enxofre e registradas as suas dimensões para o cálculo da resistência à compressão. No dia do rompimento, os corpos de prova ficaram imersos em água por 16 horas e após, foram secos superficialmente com utilização de um pano.

Os resultados da resistência à compressão no rompimento dos tijolos são apresentados na Tabela 3, cujos gráficos de evolução da resistência encontram-se na Figura 1.

Tabela 3 - Resistência à compressão simples dos tijolos (MPa) – após imersão em água por 16 horas

Dosagem	7 dias	14 dias	28 dias	56 dias
SC ₆ R ₄₀	1,3	1,6	1,5	1,7
SC ₈ R ₄₀	1,6	2,1	2,1	2,2
SC ₈ R ₆₀	1,8	2,2	2,3	2,5
SC ₁₀ R ₆₀	1,8	2,4	2,4	2,7

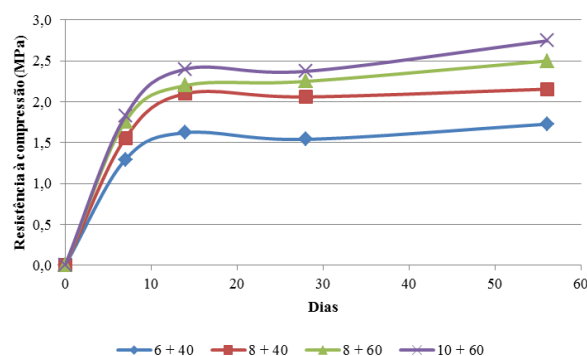


Figura 1 - Evolução da resistência para as diferentes combinações de solo-cimento-RCC

Conhecidas as resistências à compressão dos tijolos para as dosagens escolhidas, houve necessidade de definir uma nova dosagem de maneira a garantir eficiência no processo de produção, evitando perdas excessivas decorrentes de quebras e fissuras nas unidades. Desta forma, optou-se por uma pequena redução na porcentagem de resíduos, de forma a garantir melhor qualidade no produto final. A nova dosagem selecionada foi a de solo com 50% de resíduo e 10% de cimento.

2.5 Estudo dos prismas de tijolos solo-cimento-RCC

Foram confeccionados quinze prismas,

formados pela superposição de dois tijolos, executados pelo mesmo pedreiro, de maneira a evitar vícios decorrentes da mão-de-obra. Os tijolos foram molhados e assentados com uma camada de 5 mm de argamassa de cimento, cal e areia. A argamassa, além de unir os tijolos, quando devidamente aplicada, garante uma adequada transmissão de esforços e permite a regularização das imperfeições dimensionais dos encaixes dos tijolos.

Os prismas foram identificados, mantidos em condição de cura ambiente normal, protegidos das intempéries e no local onde foram assentados.

Parsekian, Hamid e Drysdale (2013) relatam que ensaios de resistência à compressão realizados com capeamento rígido e carregamento em toda a face vertical resultam em um formato de ruptura cônico. No caso de ensaios de tijolos de solo-cimento, a ABNT NBR-8492 indica que o capeamento deve ser feito sobre toda a face do tijolo.

Para realização do ensaio de resistência à compressão, os prismas foram capeados com enxofre de maneira a regularizar a superfície em contato com a prensa e evitar possíveis acúmulos de tensão. Os prismas foram rompidos com idade de 28 dias.



Figura 2 - Prismas preparados para o ensaio de resistência à compressão

Os ensaios foram realizados numa prensa universal de ensaios com carga controlada, medidor analógico com calibração até 20 toneladas, modelo MVE-100, conforme Figura 3.



Figura 3 - Equipamento dos testes em prismas

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão simples podem ser observados na Tabela 4. Conforme recomendação da ABNT NBR 15961:1 (2011) foi utilizada a área bruta do tijolo nos cálculos.

Tabela 4 - Resistência à compressão simples individual e carga de ruptura nos prismas aos 28 dias

Prisma	Resistência à compressão individual (MPa)	Carga de ruptura (N)
01	2,3	70240
02	2,2	68290
03	2,3	71020
04	2,7	81750
05	2,2	68490
06	2,2	67900
Média (MPa)	2,3	71282
Desvio padrão (MPa)	0,2	5271
CV (%)	8,4	7,4

Como não existe normativa para aplicação à alvenaria executada com tijolos de solo-cimento foram utilizadas as recomendações da ABNT NBR 15961-2: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto (2011) e da ABNT NBR 15812-2: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos (2010).

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O estudo dos materiais (solo e RCC) permitiu avaliar as suas propriedades e verificar a compatibilidade existente entre esses materiais, tornando viável a sua mistura em diferentes combinações, visando à fabricação de tijolos de solo-cimento-RCC.

A adição de RCC na confecção de tijolos de solo-cimento-RCC contribui para elevar sua resistência, porém é possível observar um limite para a utilização deste resíduo, visto que sua granulometria, formada por elementos inertes, não propicia a coesão inicial necessária ao processo de produção dos tijolos. À medida que o percentual de resíduo aumenta, a fração argila do solo natural diminui, dificultando a desmoldagem e o manuseio dos tijolos após prensagem. Os resultados sugerem, para os materiais estudados, que esse percentual de argila necessária está em torno de 9%.

No ensaio de granulometria, o uso de dispersão mecânica provocou alterações significativas na curva granulométrica, o que demonstra certa fragilidade dos grãos de RCC. Esta fragilidade pode ser atribuída ao processo de produção, visto que o RCC é obtido por trituração e alguns grãos podem apresentar linhas de fraturas internas sem completa desagregação.

Assim como outros pesquisadores, durante a produção, constatou-se que a umidade ótima não garantia a produção de tijolos com qualidade, provocando rachaduras e quebras de componentes, sendo necessária a redução no seu teor em três pontos percentuais (3%). Esse comportamento pode ser justificado pelas diferenças existentes entre os processos de compactação empregados em corpos de prova no laboratório e na fabricação dos tijolos por prensagem (uso de prensa), principalmente quanto ao tipo de energia aplicada e sua magnitude.

A falta de normalização para avaliação de alvenaria constituída por tijolos de solo-cimento levou a utilização de normas aplicadas a blocos cerâmicos e blocos de concreto para a realização de ensaios de resistência à compressão e determinação do módulo de deformação.

A resistência média do prisma de solo-cimento-RCC foi de 2,30 MPa.

A resistência característica da alvenaria foi de 1,4 MPa (método proposto pela ABNT NBR 15961:2 e 15812:2).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Maringá - UEM pelo apoio técnico e infraestrutura.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D2487: *Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified soil classification system)*. Philadelphia, 2000.

_____. ASTM D3282: *Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*. Philadelphia, 2015.

Associação brasileira de normas técnicas. NBR 6502: *Rochas e solos*. Rio de Janeiro, 1995.

_____. ABNT NBR 8491: *Tijolo de solo-cimento – requisitos*. Rio de Janeiro, 2012.

_____. ABNT NBR 8492: *Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 10833: *Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 12023: *Solo-cimento – Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 15812-1: *Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos. Parte 1: Projeto*. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15812-2: *Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos. Parte 2: Execução e controle de obras*. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15961-1: *Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 1: Projeto*. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 15961-2: *Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras*. Rio de Janeiro, 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação dos solos*. 3ª ed. Brasília: Embrapa, 2013.

Parsekian, G.A.; Hamid, A. A.; Drysdale, R.G. (2013) *Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural*. EdUFSCAR, São Carlos, 2nd ed.

Pinheiro, R. J. B.; soares, J. M. D. (2010) *Utilização de solos arenosos para obtenção de tijolos de solo-cimento*. Cerâmica Industrial, São Carlos, v. 15, n. 5-6, p. 30-36.

Santos, K. ; Oliviera, F. K. G.; Marques, S. K. J. (2012) *Avaliação das Propriedades Mecânicas dos Tijolos Ecológicos Formulados com Resíduos Cerâmicos*. In: VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. ISBN 978-85-62830-10-5, 7 p.