



AVALIAÇÃO DE BLOCOS VAZADOS DE SOLO-CIMENTO: RELAÇÃO DA GRANULOMETRIA COM A ABSORÇÃO DE ÁGUA E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

ARTIGO ORIGINAL

LOPES, Matheus de Oliveira¹, CARVALHO, Frank Alison de², BEDOYA, Sandra Patricia Oquendo³, FREITAS, Natália de Souza⁴, CAMBRAIA, Rosana Passos⁵, PRAT, Bernat Vinolas⁶

LOPES, Matheus de Oliveira. Et al. **Avaliação de blocos vazados de solo-cimento: relação da granulometria com a absorção de água e a resistência à compressão.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 05, Vol. 02, pp. 204-221. Maio de 2022. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/blocos-vazados>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/blocos-vazados

RESUMO

A construção civil é uma atividade que promove intervenções significativas no ambiente. Diante desse fato, destaca-se a importância da produção e aplicação de materiais e técnicas que mitiguem os impactos e que busquem a sustentabilidade. O solo-cimento é uma técnica que utiliza o próprio material da escavação (o solo) para produzir blocos. No concreto, uma seleção acurada do tipo de agregado em relação a sua granulometria aumenta o desempenho dele. Deste modo, será que a seleção específica do solo baseado em obter uma granulometria específica aumentará o desempenho nos blocos de solo-cimento da mesma forma que acontece no concreto? Para responder essa pergunta, este trabalho tem como objetivo geral avaliar o desempenho de blocos de solo-cimento com a utilização de solo com seleção específica da granulometria seguindo a metodologia de Bolomey. Após a produção dos blocos, foi iniciada a avaliação da absorção de água e da resistência à compressão, por meio da qual obteve-se a comparação dos blocos sem e com granulometria selecionada. Como resultado, verificou-se que os blocos de solo-cimento que passaram pelo processo de seleção de granulometria apresentavam menor absorção de água (diminuição de 7,54%) e maior resistência à compressão (aumento de 27,16%). Este tipo de bloco é de fácil elaboração, pois compreende a separação granulométrica do material disponível no local, adição proporcional de cimento e água, mistura e prensagem manual, que não apresenta a necessidade de



passar por queima, ou seja, não consome energia e evita a geração de gases efeito estufa, se mostrando um método de alto benefício ambiental.

Palavras-chave: Bloco, Bolomey, granulometria, solo-cimento, sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

Considerada como uma atividade que promove intervenções ambientais, a construção civil deve promover ações que possibilitem a produção e aplicação de materiais e técnicas voltadas à mitigação de impactos e que busquem a sustentabilidade, remetendo ao desenvolvimento de forma econômica, social, ambiental e cultural (ROQUE; PIERRI, 2018).

Em comunidades rurais, o emprego de técnicas construtivas e materiais sustentáveis que marcaram a história se integraram à construção civil. Alguns exemplos práticos desse fato são: o solo-cimento, a taipa de pilão, o pau-a-pique, o adobe e a cobertura verde (THOMA et al., 2016). As técnicas de produção de tijolos prensados de solo-cimento podem ser modificadas de modo a introduzir resíduos na sua composição, como resíduos de concreto. Para isso, a caracterização do solo, dos resíduos de concreto, das composições solo-resíduo, dos traços de solo-cimento e dos tijolos produzidos são usados para mensurar a qualidade do produto final (SOUZA et al., 2008).

O solo-cimento possui inúmeras aplicações, sendo seu uso mais conhecido na fabricação de blocos que podem ser usados na alvenaria. Como exemplo, pode-se citar os *Bungalows*, que fazem parte de um Resort construído na cidade de Luanda, que apresenta um elevado padrão de qualidade (MARTINS, 2010). De maneira análoga, o uso de blocos de solo-cimento em formato de meia-lua na contenção de erosão hídrica se mostrou eficiente (THOMA et al., 2020). Os produtos realizados com solo-cimento podem ter características especiais, como o uso de pigmentos naturais, que proporcionam blocos com coloração resistente ao tempo, infiltração e lavagem, além de não possuírem metais pesados (SILVA et al., 2020).



O uso de solo-cimento em comunidades rurais apresenta grande custo-benefício, especialmente devido a melhoria da qualidade de vida e baixo custo de produção, uma vez que o investimento inicial é baixo e propicia casas de alta qualidade, levando mais conforto, saúde e bem-estar aos habitantes dessas comunidades (SOUSA; CAMBRAIA; VINOLAS PRAT, 2017). Por se tratar de um produto feito de solo, cimento e água, os seus materiais são de fácil acesso, de modo que a mão de obra e o tempo de produção são reduzidos, fazendo com que o preço final dos produtos diminua significativamente e o torne ideal para utilização em construções de comunidades de baixa renda (MOTTA et al., 2014).

A forma do bloco de solo-cimento é mantida, a longo prazo, devido a utilização do Cimento Portland, que reage com a água, viabilizando o enrijecimento do bloco. O bloco não apresenta necessidade de passar por queima, apesar de ter em sua composição a argila, o silte e a areia (os três componentes do solo). Obedecendo aos requisitos do desenvolvimento sustentável, o bloco pode ser produzido sem a utilização de energia calorífica de forma direta, o que remeteria, no mínimo, à utilização de lenha para a realização de sua queima. Além disso, o solo-cimento apresenta a possibilidade de utilização do solo retirado da área de futura ocupação da edificação, o que ajuda a evitar o descarte de volume significativo de solo em áreas que podem estar sendo ocupadas por vegetação e dá ao material uma característica vernacular. Para a produção deste bloco, a técnica adotada é de fácil aplicação. Ela baseia-se numa separação granulométrica do material disponível no local, embora em alguns casos também sejam introduzidos outros materiais, que dá existência a composição granulométrica estudada. Posteriormente, adiciona-se cimento e água e mistura-se até formar uma pasta homogênea. O material resultante é prensado, adotando a forma do bloco. Depois de formado, o bloco passa pelo processo de cura, que dura sete dias, e, por fim, aguarda-se 28 dias para que o mesmo possa atingir a resistência suficiente (GRANDE, 2003).

A facilidade de elaboração do bloco de solo-cimento possibilita a sua produção em ambientes distantes dos centros urbanos (MINKE, 2006), tornando as comunidades autossuficientes na utilização de blocos para a construção de suas edificações, agregando valores aos seus parâmetros sociais e culturais. Desta maneira, buscou-



se, em novos materiais, uma maneira de otimizar os recursos naturais renováveis existentes localmente, de modo a elevar o desempenho e trazer mais eficiência para a produção sustentável dos blocos de solo-cimento. Sendo assim, foi possível observar uma relação saudável entre o baixo custo e a qualidade das obras produzidas com o bloco de solo-cimento, que também respeita a cultura local e os limites de mão de obra.

No concreto, uma seleção acurada do tipo de agregado em relação a sua granulometria aumenta o desempenho do solo-cimento. Entretanto, será que a seleção específica do solo baseado em obter uma granulometria específica aumentará o desempenho nos blocos de solo-cimento da mesma forma que acontece no concreto? Para responder esta pergunta, este trabalho tem como objetivo geral avaliar o desempenho de blocos de solo-cimento com a utilização de solo com seleção específica da granulometria seguindo a metodologia de Bolomey (OLAYA, 1978). Os objetivos específicos são: comparar as curvas granulométricas no caso de solo com e sem seleção da granulometria; avaliar o desempenho de resistência a compressão, comparando os dois tipos de blocos produzidos (com seleção específica da granulometria e sem seleção prévia) e comparar a absorção de água dos dois tipos de blocos produzidos (com seleção específica da granulometria e sem seleção prévia).

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho apresenta um modelo de bloco de solo-cimento com produção selecionada de granulometria, a fim de proporcionar um produto mais resistente e com maior eficiência na absorção de água, se comparado aos demais blocos classificados como convencionais, viabilizando, assim, a sua utilização em alvenarias de vedação de forma aparente ou argamassada. O material utilizado é denominado de bloco pois apresenta volume real inferior a 75% do seu volume aparente (NBR 6136, 2007). Ele apresenta dois furos no sentido da prensagem e é constituído de material homogêneo, sendo dotado de um aglomerante denominado Cimento Portland, o que o faz ser considerado como bloco solo-cimento.



De modo a atender às normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 13.555/2012, foram adotados dois parâmetros para a verificação do atendimento de conformidade mínima, sendo estes a absorção de água e a resistência à compressão. Neste trabalho, utilizou-se da adoção de agregados com granulometria, conforme os estudos de Bolomey (OLAYA, 1978). Este método de dosagem experimental baseia-se em uma curva de granulometria contínua, partindo da constatação de que uma composição de aglomerante, agregados e água, para ser homogênea, tem que ser sustentada em seus grãos graúdos pela presença de uma gama de grãos decrescentes de uma maneira ininterrupta. A curva de granulometria ótima de Bolomey, referente à mistura de cimento e agregado, é uma parábola definida pela equação $P = A + (100 - A) * (d/D)^{0,5}$, na qual P é a porcentagem em peso da mistura que passa na peneira de abertura de malha d(mm), D é a dimensão máxima característica do agregado, A é o coeficiente que varia de acordo com a consistência, natureza e forma dos grãos da mistura, sendo os seus os valores estipulados, e d é o diâmetro das partículas do agregado ou da abertura da malha da peneira, considerado em mm. Entende-se, então, que uma vez que os vazios forem ocupados ao máximo pelos agregados, a absorção de água pelo bloco será reduzida, proporcionando a minimização de sua degradação, causada pela presença direta ou indireta (por capilaridade) da água. Compreende-se, ainda, que quando os vazios são ocupados por agregados de diâmetros diversificados, que são aglutinados pelo aglomerante Cimento Portland, cumprido o prazo estipulado pela lei, que define um período de 28 dias para sua utilização, os blocos passam a atender o quesito de resistência à compressão, pois mesmo após ter força aplicada sob a sua superfície ativa (excluídos os furos), conforme a previsão de ações das forças da alvenaria de vedação, o bloco não apresentou características estruturais. Conforme a tabela 1, adotando-se a NBR 8491, os blocos produzidos e analisados devem apresentar, no mínimo, as seguintes características quanto à resistência à compressão e à absorção de água.

Tabela 01. Limites especificados para tijolos de solo-cimento segundo ABNT.

CARACTERÍSTICA	EXIGÊNCIA NBR 8491
----------------	--------------------



Resistência à compressão	Valor médio $\geq 2,0$ Mpa
	Valor individual $\geq 1,7$ Mpa
Absorção de água	Valor médio $\leq 20\%$
	Valor individual $\leq 22\%$

Fonte: Autores.

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha (UFVJM), Campus JK, no Laboratório Integrado de Pesquisas Multiusuário dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (Lipemvale), no município de Diamantina (Minas Gerais). O agregado adotado trata-se de solo recolhido nas proximidades do laboratório do Programa de Pós-Graduação Profissional Interdisciplinar, mestrado em Saúde Sociedade e Ambiente (SaSA), no interior do Campus II da UFVJM. Este solo foi inicialmente classificado granulometricamente quanto à peneira 4,8 mm, especificada na NM ISO 3310-1, tendo sido reservado somente o material passante. Este solo apresenta 79% de areia, 19% de argila e 2% de silte. Na tabela 2 (coluna 6), encontra-se a composição granulométrica deste solo. Foram produzidos oito (8) blocos sem modificação granulométrica do solo e outros oito (8) blocos com modificação granulométrica do mesmo solo. Para que fosse possível realizar uma comparação entre os dois tipos de blocos (com e sem seleção granulométrica), a porcentagem em peso de cimento e umidade da mistura foi a mesma em todos os casos (12,83%).

Tabela 02. Composição granulométrica do solo/agregado conforme Bolomey.

Abertura da malha da peneira	% em peso do material passante	% material	Amostra 10 kg - solo adaptado a curva de Bolomey (valores em kg)	Amostra 10 kg - solo utilizado para produção blocos tipo II (com granulometria adaptada à curva de Bolomey) - Valores em Kg	Amostra 10 kg - solo sem modificação da granulometria (utilizado para produção bloco tipo I) - Valores em Kg
2,56	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,18	71,10	28,90	2,89	2,47	0,00
0,85	61,86	9,24	0,92	0,88	0,00
0,71	57,40	4,46	0,45	0,34	0,00
0,6	53,57	3,83	0,38	0,33	0,50



0,5	49,77	3,80	0,38	0,28	0,60
0,425	46,67	3,10	0,31	0,26	0,60
0,365	43,98	2,69	0,27	0,27	0,65
0,3	40,81	3,17	0,32	0,23	1,00
0,25	38,13	2,68	0,27	0,23	1,25
0,15	31,79	6,34	0,63	0,51	2,30
0,075	25,40	6,38	0,00	0,00	0,00
0	10,00	15,40	0,00	0,00	0,00
		Quantidade de argila (kg)	2,18	3,19	2,10
		Quantidade de cimento (kg)	1,00	1,00	1,00

Fonte: Autores.

Para a produção dos blocos de solo-cimento, foram adotadas as especificações contidas na NBR 10833, sobre os agregados, aglomerantes, água e aditivos. Não foram utilizados aditivos na produção dos blocos, somente agregados (solo), Cimento Portland e água. A água apresentava-se livre de impurezas nocivas à hidratação do cimento. O Cimento Portland adotado foi o CP-III 40 RS, fabricado por Cimento Cauê, sendo o 40 a classe de resistência (MPa) e o RS a resistência a sulfatos (ver tabela 3). A escolha do cimento CP III se deu pelo fato de ser indicado para a produção do tijolo solo-cimento e de sua disponibilidade no mercado local, que facilita a aquisição do produto para uso em produção em larga escala na região. Além disso, o cimento CP III tem baixo calor de hidratação, o que reduz a temperatura no interior da massa de solo-cimento e, conseqüentemente, evita o aparecimento de fissuras de origem térmica.

Tabela 3. Caracterização física do cimento CP III 40 RS.

PROPRIEDADES FÍSICAS	CP III - 40-RS	LIMITES	NORMA
Massa Específica (g/cm³)	3,00	-	NM 23/01



Finura	Resíduo na peneira 200 mm (%)	0,26	≤ 8	NBR 11579
	Área específica (cm ² /g)	4599	-	NBR 7224
Tempo de pega (min)	Início de pega	191	> 60	NM65/03
	Fim de pega	248	< 7200	NM65/03
Resistência à compressão (Mpa)	3 dias	22,7	> 12	NBR 5737
	7 dias	31,1	> 23	NBR 5737
	28 dias	45,2	> 40	NBR 5737

Fonte: Fabricante Camargo Corrêa Cimentos.

De modo a atender a proposta fundamental deste trabalho, o solo (agregado) passou por classificação granulométrica, por meio da adoção do princípio de Bolomey, que visa a composição de distribuição de grãos a partir da adoção da equação $P = A + (100 - A) \cdot (d/D)^{0,5}$, na qual “P” é a porcentagem em peso da mistura que passa na peneira de abertura de malha “d” (mm), “D” é a dimensão máxima característica do agregado, “A” é o coeficiente que varia de acordo com a consistência, natureza e forma dos grãos da mistura, sendo os seus valores estipulados, e “d” é o diâmetro das partículas do agregado ou da abertura da malha da peneira, considerado em mm (OLAYA, 1978). Após se considerar o fato de que o material para a moldagem do bloco não pode ser muito seco nem muito úmido, pois, em ambos os casos, a dificuldade na moldagem/prensagem atrapalha a compressão da massa e a sua retirada do molde, adotou-se 10 para o coeficiente A. Tendo em vista as características gerais do solo/agregado utilizado, adotou-se a dimensão máxima característica de 2,56 mm. Aplicando-se a equação especificada acima, foram obtidos os resultados descritos na coluna 3 da tabela 2 (A % em peso do material, que tem um tamanho de partícula de grão igual à abertura de malha, pode ser encontrado na coluna 1). Na coluna 4 da tabela 2, aparece, em kg, o peso dos materiais que foram utilizados na produção dos blocos com granulometria selecionada segundo a curva de Bolomey. Nesta coluna, foram separados os pesos da areia (com tamanhos de grão compreendidos de 0,15 mm até 2,56 mm), e embaixo da coluna foram anotadas as quantidades de argila e



cimento (sendo que as partículas destes elementos têm uma dimensão menor de 0,15 mm). Inicialmente, foi prevista a produção de 8 blocos da granulometria selecionada com o traço mostrado na coluna 4, entretanto, no momento da desforma, percebeu-se que o bloco estava trincando, devido a uma falta de coesão. Por isso, adicionou-se argila, e os blocos com granulometria selecionada foram realizados com as quantidades mostradas na coluna 5 (dados muito parecidos aos da coluna 4, com certa adição de argila). Para os blocos realizados sem seleção da granulometria, adotou-se os valores da coluna 6. Observa-se que a quantidade de cimento utilizada em todos os casos foi a mesma.

A adição de água, em todos os casos, representou o total de 12,83% da massa total final. Considerando tal informação, infere-se o fator água cimento de 1,47, que representa a proporção de água cimento, sendo este, em comparação com concretos hidráulicos, considerado bem elevado. No entanto, é preciso lembrar que o material em pauta, por se tratar de solo-cimento, costuma ter uma relação a/c bem maior que no concreto hidráulico, pois a quantidade de material fino é bem maior no caso do solo-cimento. Além disso, uma umidade mais alta (maior quantidade de água) permite maior compactação no momento da produção do bloco.

Ao analisar a proporção de agregados, aglomerante e água, verificou-se que os blocos foram produzidos a partir do traço 1:9,0:1,47, que correspondem, respectivamente, em quilograma, às massas de cimento, agregado e água. A massa foi misturada com triturador JAG 2500 kda (Sahara©), e logo em seguida foi utilizada a prensa manual 12,5 x 25. Se esse mesmo traço fosse adotado, proporcionalmente, para um saco de cimento, teríamos uma massa final produzida de 573,83 Kg, capaz de produzir, aproximadamente, 208 blocos, que dispostos um sobre o outro, conforme encaixes proporcionados pela prensa, seriam capazes de vedar uma área de aproximadamente 3,58 m².

Atendendo às normas de produção de blocos de solo-cimento, após as primeiras seis horas a partir da moldagem, os blocos passaram do processo de umidificação para a cura, processo que dura sete dias. Após o período total de cura, os blocos precisam de mais 28 dias para atingir resistência suficiente, sendo assim, eles foram levados à



estufa para desumidificação, a fim de continuar o ensaio de absorção de água, conforme especificações da NBR 13555/2012, e, posteriormente, o ensaio de compressão no sentido paralelo aos furos do bloco. Os resultados de tais ensaios seguem no próximo tópico deste trabalho, com os respectivos comentários. Neste momento, pôde-se verificar que as massas secas dos blocos variaram entre 2,602 Kg e 2,848 Kg, apresentando uma média de 2,705 Kg, bem próximo da massa prevista para a separação do material inicial. Também foi possível verificar, durante o ensaio de absorção de água, após devido encharcamento dos blocos, um volume em torno de 1,410 litros e massas específicas seca de 2,02 Kg/l e úmida de 2,31 Kg/l, bem próximas dos concretos hidráulicos convencionais.

Para a realização de ensaios de compressão, foi produzida argamassa de Cimento Portland (proporção de 1:1 na relação areia:cimento), que foi aplicada sobre as duas faces que receberam esforços de forma tangencial à mesma. Esse procedimento recebe o nome de “capeamento das faces”. A argamassa se fez necessária, considerando a irregularidade natural dos blocos e a necessidade de aplicação. Desse modo, ela foi devidamente distribuída sobre as áreas de interesse dos esforços. Após a cura da argamassa, os conjuntos foram levados para o tanque de umidificação, de modo a atender as especificações da norma 13.555/2013 e simular as piores condições de admissões de esforços. O rompimento dos blocos se deu em prensa simples, dotada de macaco hidráulico e manômetro analógico. Foram adotadas, ainda, chapas móveis, para o devido descarregamento dos esforços.

Após a produção e preparação, os blocos passaram pelos ensaios de absorção de água e de resistência à compressão no sentido paralelo dos furos, referente à seção que normalmente absorve cargas verticais de alvenaria. Os blocos sem seleção de granulometria apresentarão sigla inicial de GN, seguido do número de cada unidade amostrada, e para os blocos com alteração granulométrica segundo Bolomey, apresentarão sigla inicial GE, também seguida de número ordenado conforme amostra.

Os ensaios de absorção de água permitem determinar, a partir da diferença entre massa seca e massa úmida dos tijolos de solo-cimento, a capacidade do material em



reter água, o que reflete, posteriormente, na sua durabilidade. Os valores médios de absorção, de acordo com as prescrições da NBR 10.834 (ABNT, 2012), devem ser inferiores a 20%. Os resultados de absorção de água individual foram obtidos a partir dos cálculos para a absorção individual, (ver equação 1) e a absorção média, a partir da média aritmética das 8 repetições.

[Equação 1]

$$A = \frac{M_1 - M_2}{M_1} 100, \text{ valorem\%}$$

Onde:

M_1 = Massa do tijolo solo-cimento seco em estufa (g)

M_2 = Massa do tijolo solo-cimento saturado (g)

A = Absorção de água (%)

Os ensaios de resistência à compressão baseiam-se na aplicação de carga distribuída sobre a área do bloco que sofrerá cargas normais de sua utilização, sendo estas paralelas aos eixos dos furos. A resistência à compressão de cada bloco de solo-cimento, expressa em MPa, foi obtida dividindo-se a carga máxima, em N, pela média das áreas das duas faces de trabalho, em mm² (ver equação 2), sendo a área em questão uma média de 30.776,8mm, correspondente ao produto do comprimento pela largura do bloco. A resistência média dos blocos de solo-cimento é obtida pela média das tensões de ruptura, de modo que, de acordo com as prescrições da NBR 10.834 (ABNT, 2012), os valores individuais de tensão máxima admitida devem ser superiores a 1,7 MPa e a resistência característica superior a 2,0 MPa. Os resultados de resistência à compressão foram analisados após o 28º dia de produção dos blocos, visando a obtenção de resistência à compressão dentro dos padrões estipulados pela normativa, ou seja, os blocos podem ser utilizados somente após o 28º dia de produção, no mínimo.



[Equação 2]

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Sendo:

F = Força máxima aplicada para rompimento do bloco (N).

A = Área de seção do bloco para aplicação de força (mm²).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os blocos de solo-cimento, após a realização dos ensaios, apresentaram os resultados que podem ser observados na tabela 4. Ao analisar os resultados dos ensaios, referente à absorção de água e à resistência à compressão, verificou-se que os blocos produzidos a partir da alteração granulométrica do solo/agregado que o compõe apresentaram resultados médios melhores do que os blocos sem seleção granulométrica. Em relação à melhoria da absorção média de água, houve uma redução de 7,5% (diminuiu de 13,40% para 12,39%). Em relação à resistência média, a compressão foi bem significativa, alcançando um aumento de 27% (aumentou de 3,35 MPa para 4,26 MPa).

Tabela 4. Resultados dos ensaios de absorção de água e resistência à compressão dos blocos.

Amostra	Massa seca	Massa úmida	% Absorção	Resistência à Compressão	Rendimento
---	(g)	(g)	(%)	(MPa)	MPa/Kg/m ³
GN1	2616,50	3060,80	14,52	3,20	0,017
GM2	2602,00	3000,40	13,28	2,91	0,016
GN3	2688,00	3107,10	13,49	3,80	0,020
GN4	2602,40	3024,70	13,96	3,14	0,017
GN5	2726,20	3104,50	12,19	3,41	0,018



GN6	2680,70	3050,60	12,13	3,67	0,019
GN7	2678,80	3136,40	14,59	3,47	0,018
GN8	2642,00	3037,90	13,03	3,19	0,017
GE1	2768,40	3184,00	13,05	4,17	0,021
GE2	2652,00	3095,90	14,34	3,41	0,018
GE3	2772,20	3141,70	11,76	4,03	0,020
GE4	2815,70	3155,70	10,77	5,05	0,025
GE5	2791,40	3192,00	12,55	4,71	0,024
GE6	2847,80	3242,00	12,16	4,30	0,021
GE7	2777,33	3172,57	12,45	4,23	0,021
GE8	2771,83	3164,53	12,42	4,25	0,022
Valores médios					
Blocos GN – sem seleção granulométrica:			13,40 %	3,35 MPa	0,018
Blocos GE – com seleção granulométrica:			12,39 %	4,26 Mpa	0,022

Fonte: Autores.

Os valores de resistência à compressão, obtidos nos estudos dos blocos de solo-cimento (3,35 MPa e 4,26 Mpa), estão próximos dos parâmetros propostos por Dallacort et al. (2002). Neste estudo específico, foram obtidas resistências à compressão de 3,30 MPa para blocos produzidos com umidade de 13,8% e 10% de cimento. No estudo de Santana et al. (2019), foram feitos corpos de prova de solo-cimento com quantidades parecidas de cimento (15%) e processo de adensamento mediante vibração e compactação. Os valores de resistência à compressão obtidos também foram similares aos apresentados neste estudo (3,52 MPa em média). Referente a análise de absorção de água, os resultados obtidos neste estudo foram de 13,4% e 12,39%, resultados abaixo do valor máximo permitido de 20%. Estes



valores ficaram próximos aos valores coletados por Pinheiro et al. (2013), de 14% e 15%.

Levando em consideração a proporção de Cimento Portland utilizada para a produção dos blocos, constatou-se que a razão entre os resultados de resistência à compressão e o consumo médio de cimento por metro cúbico de material base para a produção dos blocos verifica o resultado denominado rendimento (ver última coluna da tabela 4). A formulação utilizada para calcular os valores da última coluna da tabela 4 são os mostrados na equação 3:

[Equação 3]

$$\text{Rendimento} = \frac{\text{Resistencia(MPa)}}{\frac{\text{Kg-de-cimento}}{\text{m}^3 \text{ dematerial}}}$$

Sendo:

Kg-de-cimento = Peso tijolo seco x 0,1 (10% da massa total é cimento – veja tabela 02– traço).

m³ dematerial= 1,41 litros / 1000 = 0,00141 m³.

Os blocos produzidos com a modificação granulométrica têm valores maiores referentes ao rendimento de 1 kg de cimento por Mpa de resistência atingida (valores da última coluna da tabela 4). Isto significa que se obtém maior resistência à compressão com menor quantidade de Cimento Portland como aglomerante. Infere-se, portanto, que, a adoção de uma menor quantidade de aglomerante implicará em uma menor redução de impactos, principalmente no que tange à emissão de poluentes para a produção de matéria prima em questão, que requer grande massa para a produção de energia térmica, com o carvão mineral ou vegetal.

Em uma análise comparativa, foi calculado o parâmetro denominado f_{bk} (ver equação 4), que se trata do valor característico mínimo de tensão de ruptura por compressão de um conjunto de blocos de concreto ensaiados conforme NBRs 6136 e 12025. Os



valores obtidos não apresentam o objetivo de produção de blocos estruturais, que requerem resistência mínima à compressão superior a 4,5 MPa. Ao adotar a fórmula descrita abaixo, teve-se os seguintes resultados: resistência característica dos blocos de prova classificados como comuns (sem granulometria selecionada) em 2,96 MPa e de 3,56 MPa para os blocos com granulometria selecionada. A equação utilizada para o cálculo do valor de f_{bk} foi:

[Equação 4]

$$F_{bk} = 2[(fb (1) + fb (2) + \dots + fb (i-1)) / (i-1) + fb (i)]$$

Sendo que:

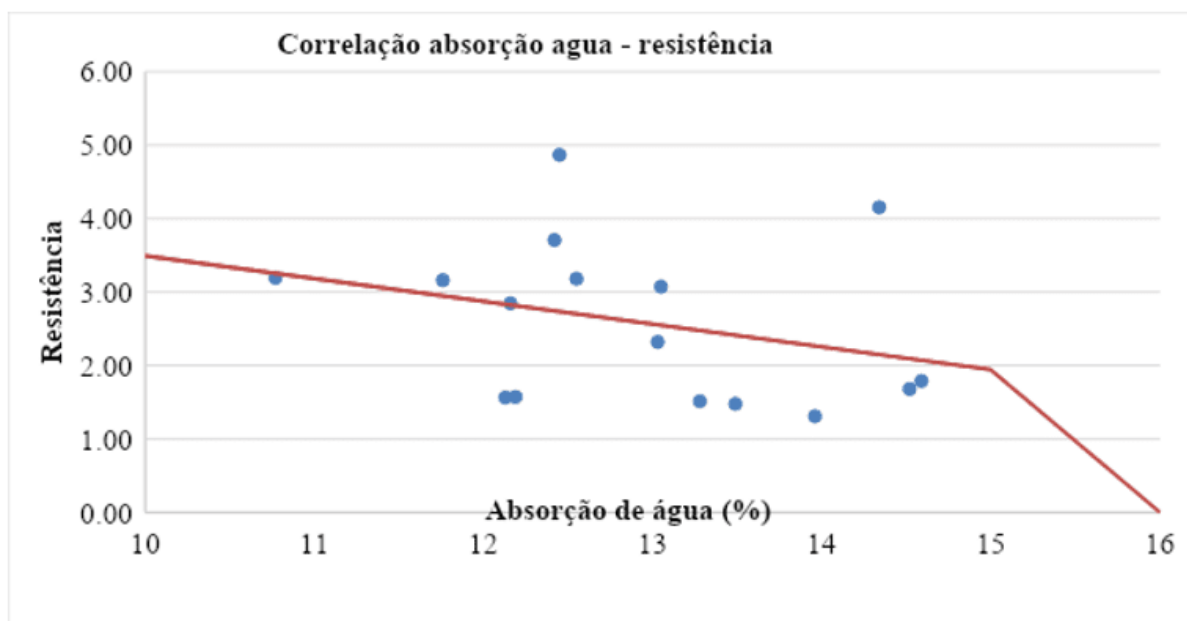
F_{bk} = Resistência Característica do Concreto à Compressão.

$i = n/2$, se n for par.

$i = (n-1) /2$, se n for ímpar.

A seguir, o gráfico correlaciona a absorção de água (abscissas) e a resistência (ordenadas) à compressão simples dos blocos detalhados acima. Observa-se que aquele que apresenta menor absorção de água compreende os maiores valores de resistência à compressão, e em contrapartida, aquele que apresenta maior absorção conta com os menores valores para a resistência à compressão. O fator de correlação encontrado entre estas duas variáveis é de 0,30 (indicando que existe uma correlação moderada entre a absorção de água e a resistência atingida pelo bloco).

Gráfico 1. Plotagem da correlação entre a resistência e a absorção de água.



Fonte: Autores.

Como observado no gráfico 1, quanto menor é a absorção de água, maior é a resistência à compressão atingida pelo bloco de solo-cimento. Uma estratégia para obter blocos de solo-cimento mais econômicos e com menor impacto ambiental é diminuir a quantidade de cimento necessária. Uma das formas de conseguir diminuir esta quantidade é modificar aqueles parâmetros que permitem diminuir a absorção de água. Os resultados obtidos por este estudo mostram que uma melhora na seleção granulométrica do solo permite esta diminuição da absorção de água e, conseqüentemente, um aumento da resistência à compressão do bloco de solo-cimento.

CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado, pode-se responder afirmativamente à pergunta de pesquisa realizada no início do estudo. A seleção específica do solo, que se propõe a obter uma granulometria específica, aumenta sim o desempenho nos blocos de solo-cimento. O bloco de solo-cimento, produzido com o solo onde foi realizada seleção da sua granulometria atendendo a curva granulométrica de Bolomey, teve um aumento



de resistência de 27,16%, comparado a outro bloco produzido sem a seleção granulométrica. Já a absorção de água teve uma diminuição de 7,54%. Diante dos resultados apresentados, conclui-se que o bloco proposto, com modificação granulométrica, conforme os estudos de Bolomey, mostrou resultados esperados, apresentando-se mais compactos, evitando a absorção de água e, ainda, apresentando resistência superior ao determinado pela normativa, mesmo com percentual de aglomerante (Cimento Portland) considerado como baixo.

O bloco produzido neste estudo apresenta-se dentro das tendências propostas para a construção civil, que visa a adoção de matérias primas e de processos que causem o menor impacto possível no ambiente. Este aprimoramento no processo produtivo do bloco possibilita o desenvolvimento de ações sociais, econômicas e culturais em regiões como o Vale do Jequitinhonha, que necessita de materiais e processos mais acessíveis, que não demandem produtos e serviços de centros urbanos que se encontram distantes, pois isso inviabiliza o processo de desenvolvimento local.

Verifica-se, no entanto, que ainda há necessidade de futuros procedimentos para o desenvolvimento de novos traços. Desse modo, propõe-se, neste momento, a alteração de proporções granulares dos materiais componentes, a fim de obter melhores resultados nos ensaios de absorção de água e resistência à compressão. Entende-se que este tipo de bloco (aumentando um pouco os percentuais de cimento) poderia atingir valores de f_{bk} de 4,5 Mpa, e estes valores, no caso de blocos de concretos, são considerados suficientes para utilização do bloco como estrutural.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação, Mestrado Profissional Interdisciplinar em Saúde, Sociedade e Ambiente da UFVJM, onde foi realizado este trabalho de pesquisa. Também agradecemos a CAPES que, através do Programa de Atração de Jovens Talentos – Bolsas Jovens Doutores (Ciências sem Fronteiras), fomentou o projeto de pesquisa de habitações saudáveis e análise multicritério mediante o edital 08/2014 de Ciência sem Fronteiras, e o apoio da Fundação de



Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, Edital Fapemig 14/2014 Demanda Universal, Processo CSA APQ 002294-14.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, Boletim Técnico n.111, 1985, 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 07181. Solo: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 08.491. Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1984b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 08.492. Tijolo maciço de solo-cimento. Determinação da resistência à compressão e absorção de água. Rio de Janeiro, 1984c. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10.833 - Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Rio de Janeiro, 1989. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 12.025. Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 11.578. Cimento Portland CII-E-32. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 12.024. Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1992. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 12.253. Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento. Rio de Janeiro, 1992. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10.834 - Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1994. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10.836 - Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro, 1994. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8.491 – Tijolo de solo-cimento. Rio de Janeiro, 2012.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 8.492 – Tijolo de solo-cimento- Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 13.555 – Solo-cimento – Determinação de absorção de água e resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10.833 – Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimentos. Rio de Janeiro. 2013.

DALLACORT, Rivanildo; LIMA JÚNIOR, Humberto C.; WILLRICH, Fábio L.; BARBOSA, Normando P. Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, volume 6, nº 3, p. 511-518, 2002.

GONZALEZ. G. M. Teoria e problemas de materiais de construção. Tradução de Celso Paciornik, p.50-55, São Paulo, 1978.

GRANDE, F. M. Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2003.

MARTINS, Vítor Manuel Vieira. Alvenaria em solo-cimento: para moradias unifamiliares em Angola. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto. 2010.

MINKE, G. Manual de construção em terra. Desenho e tecnologia de uma arquitetura sustentável. Traduzido a partir da edição inglesa de 2006 por António Moura, p. 151, 2012.

MOTTA, Jessica Campos Soares Silva; MORAIS, Paola Waleska Pereira; Da COSTA TAVARES, Glauce Nayara Rocha, Joicimara; GONÇALVES, Gabrielle; CHAGAS, Marcela Aleixo; MAGESTE, Jalson Luiz e BARROSO LUCAS, Taiza de Pinho. Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **e-Xacta**, Volume 7, nº 1, p. 1-14, 2014.

OLAYA, M. Aplicación del método de mínimos cuadrados al ajuste de curvas granulométricas de áridos. *Materiales de Construcción*, v.28, n.170, p.45-50, 1978.

PINHEIRO, Márcia Lana; ALVARENGA, Rita de Cássia Silva Sant'Anna; RIBEIRO, Benício Costa; SILVA JÚNIOR, Paulo Rogério; SARMET, Márcio Sampaio e FASSONI. Avaliação experimental de blocos prensados de solo-cimento com adição de Grits. **Ambiente Construído**, Volume 13, nº 2, p. 29-46, 2013.



ROQUE, Rodrigo Alexander Lombardi; PIERRI, Alexandre Coan. Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. **Research, Society and Development**, volume 8, nº 2, p. 1-18, 2018.

SANTANA, Patric Souza; CARVALHO, Frank Alison de; VINOLAS PRAT, Bernat e VIEIRA, Flaviana Tavares. Influência da vibração na moldagem de corpos de prova de solo-cimento: Sob os resultados de ensaios de absorção de água e resistência à compressão simples. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 04, Ed. 12, Vol. 02, pp. 102-116. 2019.

SILVA, Haily Ribeiro; SANTANA, Patric Souza; COSTA, Ricardo de Oliveira Brasil e VINOLAS PRAT, Bernat. Avaliação de pigmentos naturais para coloração de produtos realizados com solo-cimento. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 05, Ed. 10, Vol. 20, pp. 121-134, 2020.

SOUSA, Jean Carlo Laughton de; CAMBRAIA, Rosana Passos; PRAT, Bernat Vinolas. Método de evaluación de la calidad de vida de los quilombolos en Brasil. **Economía, sociedad y territorio**, Volume 17, nº 55, p. 649-68, 2017.

SOUZA, Márcia I. B.; SEGANTINI, Antônio A. S. e PEREIRA, Joelma A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 12.2: p. 205-212, 2008.

THOMA, Andréa Cristina; Da CONCEIÇÃO AGUIAR, Nilza; VINOLAS PRAT, Bernat; PASSOS CAMBRAIA, Rosana. Palmeiras nativas indicadas para uso em construções. **Revista Vozes dos Vales**, v. 10, p. 1-13, 2016.

THOMA, Andréa Cristina; FERNANDES, Eduardo Paranhos; RODRIGUES, Edson Fernandes; SANTOS, Lauana Lopes dos; SILVA, Alexandre Christófaros; VINOLAS PRAT, Bernat. Blocos de solo-cimento para contenção de erosão hídrica. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, Volume 7, nº 16, p. 1057-1070, 2020.

Enviado: Outubro, 2021.

Aprovado: Maio, 2022.

¹ Mestrado em Ciências Florestais, Engenheiro Florestal. ORCID: 0000-0001-7870-7696.

² Mestre em Saúde Sociedade e Ambiente pela UFVJM no programa SaSA - Graduado em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. ORCID: 0000-0003-1382-7309.

³ Mestrado em Saúde, Sociedade e Ambiente, especialista em Gestão Ambiental, administradora em saúde com ênfase em saúde e gestão ambiental. ORCID: 0000-0001-8734-7821.

⁴ Graduanda no curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. ORCID: 0000-0002-9940-8748.

⁵ Doutorado e Mestrado em Psicobiologia pela Universidade de São Paulo (USP), Graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). ORCID: 0000-0003-2555-5830.

⁶ Orientador. Doutor em Engenharia Civil pela Universidad Politécnica de Cataluña (UPC, Barcelona), Graduado em Engenharia Civil pela UPC. ORCID: 0000-0002-0002-2811.