

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE TIJOLOS CERÂMICOS PRODUZIDOS COM RESÍDUO DE CALCÁRIO LAMINADO

BRENNNA ESPÍNDOLA BANDEIRA HOLANDA, MARCELO FELIPE LINO DO COUTO PINTO,
FELIPE SILVA RODRIGUES, ANA PATRÍCIA NUNES BANDEIRA

Universidade Federal do Cariri - UFCA
<brenna.espindola@aluno.ufca.edu.br>, <marcelo.lino@aluno.ufca.edu.br>,
<felipeka99@gmail.com>, <ana.bandeira@ufca.edu.br>
10.21439/conexoes.v16i0.2351

Resumo. A atividade mineradora consiste na pesquisa, exploração, lavra e beneficiamento de minérios presentes no subsolo, contudo, é responsável por grande impacto ambiental devido, principalmente, ao descarte indiscriminado de resíduos. A região do Cariri localizado no interior do Ceará é considerada um importante polo mineral devido à presença de jazidas de calcário laminado, mais conhecido como Pedra Cariri, que são encontradas no município de Nova Olinda. A extração da Pedra Cariri vem crescendo ao longo dos anos e é realizada a céu aberto, em condições rudimentares, gerando considerável volume de resíduos. Este trabalho consiste em uma pesquisa experimental e tem por objetivo apresentar resultados de resistência à compressão simples com a utilização do rejeito da mineração do calcário laminado na produção de tijolos cerâmicos de resíduo-cimento, contribuindo como uma alternativa inovadora e sustentável no ramo da construção civil, visto que além de reduzir o descarte do resíduo no meio ambiente, dispensam o processo de queima e minimizam os custos com materiais e mão de obra, devido ser modulares podendo servir de decoração ao ambiente e facilitando as instalações elétricas e hidráulicas, além da possibilidade de produção próxima à obra. Para este trabalho os materiais utilizados tiveram diâmetros iguais ou inferiores a 2,0 mm e os tijolos foram produzidos com quatro composições granulométricas diferentes, a fim de avaliar a influência da granulometria do resíduo na resistência à compressão simples dos tijolos de resíduo-cimento.

Palavras-chaves: Resíduo-cimento. Bloco. Sustentabilidade. Construção civil.

EVALUATION OF THE SIMPLE COMPRESSIVE STRENGTH OF CERAMICS BRICKS PRODUCED WITH LAMINATED LIMESTONE RESIDUE

Abstract. The mining activity consists of the research, exploration, mining and processing of ores present in the subsoil, however, it is responsible for great environmental impact due, mainly, to the indiscriminate disposal of waste. The Cariri region located in the interior of Ceará is considered an important mineral pole due to the presence of laminated limestone deposits, better known as Pedra Cariri, which are found in the municipality of Nova Olinda. The extraction of Pedra Cariri has grown over the years and is carried out in the open, under rudimentary conditions, generating a large portion of waste. This work consists of an experimental research and aims to present results of resistance to simple compression with the use of laminated limestone mining tailings in the production of waste-cement ceramics bricks, contributing as an innovative and sustainable alternative in the field of civil construction, since in addition to reducing the disposal of waste in the environment, dispense the burning process and minimize the costs with materials and labor, due to being modular and can serve as decoration to the environment and facilitating electrical and hydraulic installations, in addition to the possibility of production close to the work. For this work, the materials used had diameters equal to or less than 2.0 mm and the bricks were produced with four different granulometric compositions, in order to evaluate the influence of the granulometry of the residue in the resistance to simple compression of the waste-cement bricks.

Keywords: Waste-cement. Block. Sustainability. Construction.

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia, o setor da construção civil vem se aprimorando e buscando alternativas a fim de satisfazer as necessidades das gerações atuais sem comprometer as gerações futuras. Embora essa realidade ainda esteja distante de ser alcançada, os engenheiros e as empresas buscam soluções cada vez mais sustentáveis e de baixo custo, como por exemplo, o desenvolvimento de materiais alternativos dentro da construção civil.

A produção de tijolos de resíduo-cimento com os resíduos da mineração do calcário laminado surge como uma das alternativas para a sustentabilidade regional, na medida em que poderá reduzir significativamente o volume de resíduos que é descartado na natureza. Com a mesma técnica dos tijolos de solo-cimento, os de resíduo-cimento podem ser produzidos por meio de prensas manuais ou hidráulicas, e em qualquer lugar, inclusive próximo ao local onde será utilizado. Possuem formatos modulares, facilitam a atividade de levantamento de alvenaria e as instalações elétricas e hidráulicas, além de dispensarem acabamentos nas paredes de vedação. Todo o processo de utilização gera poucos resíduos, com redução de tempo de execução, minimizando o custo de mão de obra e o custo total da edificação.

Na Região do Cariri, localizada no interior do Ceará, encontra-se um importante polo mineral, devido à presença de grandes jazidas de calcário laminado, conhecido regionalmente como Pedra Cariri, sendo a mineração ativa no município de Nova Olinda. A exploração desse minério ocorre há mais de três décadas e é responsável pela principal economia desse município. Embora a mineração seja um fator importante para o desenvolvimento da economia do país, ela é responsável por uma série de danos ao meio ambiente devido a grande geração de rejeito. Vidal e Padilha (2003) afirmam que a lavra do calcário laminado na Região do Cariri é conduzida de forma rudimentar, sem levantamentos técnico-econômicos necessários, que acabam gerando um grande desperdício de material, podendo chegar até 90% de perdas com a operação manual e em torno de 60% de perdas com a operação mecanizada, afetando não somente as áreas mineradas, mas também as regiões circunvizinhas, além do assoreamento dos rios, alteração do pH da água, a poluição do ar, o aumento de zonas de erosão e o acúmulo de resíduos nas margens das rodovias (SILVA, 2007).

O enfoque científico deste trabalho é apresentar resultados de ensaios de resistências à compressão simples de tijolos produzidos com resíduos da mineração do calcário laminado e cimento, a fim de contribuir

como uma alternativa inovadora e sustentável no ramo da construção civil.

2 Materiais e Métodos

2.1 Aspectos Normativos

De acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2013b), que descreve o procedimento para a fabricação de tijolos de solo-cimento com utilização de prensa manual, os materiais necessários para a produção dos tijolos são: o solo, que nesse trabalho foi substituído pelo resíduo do calcário laminado, o cimento Portland V ARI que certifica uma alta resistência inicial ao tijolo e a água isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento. A norma ainda recomenda que 100% do material passe na peneira nº 4 da ABNT (4,75 mm) e que entre 10% a 50% do material passe na peneira nº 200 (0,075 mm); além disso, a norma também estabelece que material deva apresentar limite de liquidez inferior ou igual a 45% e índice de plasticidade inferior ou igual a 18%.

Neste trabalho os resíduos foram triturados a fim de atender as especificações da NBR 10833 (2013). O material utilizado apresentou 100% passante na peneira de abertura 2,00 mm. Os tijolos foram produzidos com quatro diferentes teores de finos (material passante na peneira de abertura 0,075 mm), conforme apresentado na Tabela 1. Para cada composição foram produzidos 03 corpos de prova. O traço de cimento e resíduo utilizado na produção dos tijolos foi de 1:7 em massa (cimento: resíduo).

Tabela 1: Teores de Partículas Finais Utilizadas nos Tijolos

Tipo do Tijolo	% passa peneira 0,075 mm
A20	20
B30	30
C35	35
D40	40

Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados em corpos de prova prismáticos, ou seja, no próprio bloco prensado, seccionado ao meio, conforme estabelece a NBR 10836 (ABNT, 2013a).

2.2 Quantitativo dos Materiais Utilizados

Para minimizar o desperdício dos materiais utilizados na produção dos tijolos, calculou-se previamente a quantidade de cada material para a confecção dos corpos de prova. A prensa utilizada produz tijolos modulares, com 02 furos e dimensões de 6,4cm x 12,5cm x 25cm. O teor de umidade ótimo da mistura, de forma a obter um tijolo com boa resistência, foi considerado no

valor de 14%, com base nos resultados dos trabalhos de Silva et al. (2019).

Considerando a produção dos tijolos de dois furos, com traço de 1:7, em prensa manual (Figura 1), seria necessário utilizar 2200 g de resíduo de calcário laminado, 352 ml de água e 314,3 g de cimento para cada tijolo. Neste caso o volume total de água utilizado no experimento foi de 4224 ml e o quantitativo de cimento foi 3771,6 g, considerando os quatro tipos de tijolos e o número de corpos de prova para cada tipo.

Figura 1: Prensa manual M12- Basic.



Fonte: (SILVA et al., 2019)

Devido aos diferentes tipos de tijolos/teores de materiais finos, o quantitativo de resíduo foi diferenciado para cada faixa granulométrica, conforme apresentado na Tabela 2. A quantidade em massa de resíduo passante na peneira de 2,00 mm que foi utilizada variou entre 1320 g a 1760 g; e a massa de resíduo passante na peneira 0,075 mm que foi utilizada variou de 440 g a 880 g. Para o estudo completo neste trabalho foram utilizados 26,4 kg de resíduo de calcário laminado triturado.

2.3 Preparação da Massa e dos Corpos de Prova

Para a produção dos tijolos de resíduo-cimento, primeiramente, foi colocado em uma bandeja às medidas adequadas de resíduo e cimento para cada grupo de tijolo. Logo em seguida, os materiais foram homogeneizados e a água foi adicionada aos poucos, até que a mistura apresentasse mesma umidade (Figura 2). Toda a massa úmida foi peneirada novamente em uma peneira com abertura de 2,00 mm, a fim de desfazer todos os torrões formados e, logo após, a massa foi levada até a prensa manual de tijolos.

Após a moldagem dos tijolos de resíduo-cimento (Figura 3), os mesmos foram submetidos ao processo

Figura 2: (a) Proporções de resíduo e cimento (b) Homogeneização (c) Umedecendo a mistura.



(a)



(b)



(c)

Tabela 2: Quantitativo do resíduo utilizado

Proporção	Massa de resíduo passante na peneira 2,0 mm (g)	Massa de resíduo passante na peneira 0,075 mm (g)
A20	1760	440
B30	1540	660
C35	1430	770
D40	1320	880

de cura, onde foram deixados em câmara úmida por um período de 7 dias. No último dia desse processo, os tijolos foram cortados ao meio com o auxílio de uma máquina de corte (Figura 4), logo em seguida as duas metades de cada tijolo foram unidas e capeadas ambas as faces externas com o auxílio de argamassa (Figura 5), com o intuito de prepará-los como corpos de prova planos e paralelos de acordo com a ABNT NBR 10836 (2013). Após o endurecimento do capeamento, os corpos de prova foram imersos em água em temperatura ambiente durante 24 horas para então ser realizado o ensaio de compressão simples (Figura 5).

Figura 3: Tijolo de resíduo-cimento moldado.



2.4 Ensaios de Resistência à Compressão Simples

Os ensaios de compressão simples foram realizados no Laboratório de Caracterização da Universidade Federal do Cariri - *Campus Juazeiro do Norte*, com o auxílio da máquina de ensaios universal modelo WDW-300E, conforme mostra a Figura 6. O ensaio de compressão simples consiste na aplicação de uma carga compressiva uniaxial em um corpo de prova, esse corpo de prova absorve a carga aplicada até o seu rompimento (Figura 7), onde determina a finalização do ensaio. A carga é aplicada através de placas de aço onde os corpos de prova são devidamente centralizados. Neste trabalho a velocidade na qual a carga foi aplicada foi de 2 mm/min.

Figura 4: (a) Tijolos sendo cortados com o auxílio de uma máquina de corte (b) Tijolos cortados



(a)



(b)

3 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos através do ensaio de compressão simples dos tijolos de resíduo-cimento, estão apresentados na Tabela 3. Observa-se nesta tabela que as resistências médias dos tijolos do tipo A20 e C35 apresentaram valores de 2,35 MPa e 2,31 MPa, respectivamente, sendo superiores a 2,00 MPa, que é o mínimo estabelecido pela ABNT NBR 10834 (2013), que descreve o procedimento para a fabricação de tijolos de

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE TIJOLOS CERÂMICOS PRODUZIDOS COM RESÍDUO DE CALCÁRIO LAMINADO

Figura 5: (a) Tijolos capeados (b) Tijolos capeados imersos em água



(a)



(b)

Fonte: (RODRIGUES, 2019).

solo-cimento sem função estrutural. Observa-se ainda que as resistências individuais desses dois tipos de tijolos foram iguais ou superiores a 1,70 MPa, atendendo as exigências da referida norma; valor este apresentado para o tijolo tipo C35.

Com relação aos tijolos dos tipos B30 e D40 as médias de resistência a compressão foram iguais a 1,82 MPa e 1,92 MPa, respectivamente, não atingindo o valor mínimo estabelecido pela ABNT NBR 10834 (2013), como podemos observar na Figura 8 que apresenta a comparação entre as resistências médias dos tijolos de resíduo-cimento, entretanto, vale destacar que os tijolos do tipo B30 apresentaram resistências individuais superiores a 1,70 MPa, enquanto um dos tijolos do tipo D40 apresentou uma resistência de 1,54 MPa.

Vale ressaltar que os tijolos apresentaram uma di-

Figura 6: Máquina de ensaios universal modelo WDW-300E.



Figura 7: Tijolos rompidos.



vergência entre as resistências no mesmo tipo, como se pode observar através dos valores obtidos no cálculo do desvio padrão e isso pode estar relacionado à qualidade do capeamento dos corpos de prova. Durante a confecção dos corpos de prova, o capeamento deve ser o mais regular possível, de forma que as faces que receberão as cargas nos ensaios fiquem planas, possibilitando a distribuição uniforme dos carregamentos no bloco; todavia trata-se de uma atividade difícil de ser realizada, neces-

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE TIJOLOS CERÂMICOS PRODUZIDOS COM RESÍDUO DE CALCÁRIO LAMINADO

Tabela 3: Resultados do ensaio de compressão simples.

Proporção	Tijolos	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão
A20	1	2,55	2,35	0,18
	2	2,27		
	3	2,22		
B30	1	1,82	1,82	0,04
	2	1,79		
	3	1,86		
C35	1	1,7	2,31	0,62
	2	2,93		
	3	2,3		
D40	1	1,54	1,92	0,33
	2	2,09		
	3	2,14		

Figura 8: Gráfico das médias de resistência a compressão simples para cada tipo de tijolo.

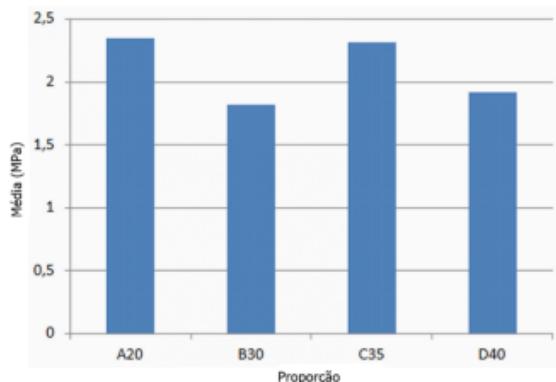
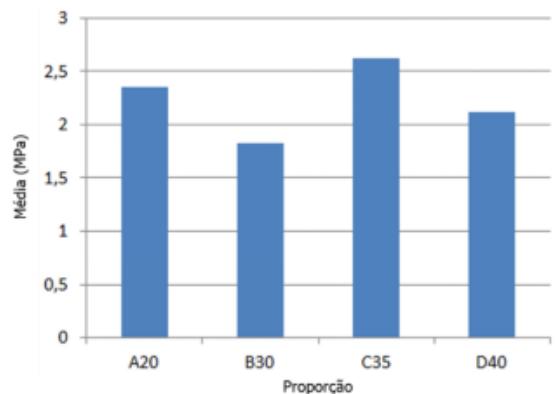


Figura 9: Gráfico das médias de resistência a compressão simples, excluindo possíveis erros humanos, para cada tipo de tijolo.



sitando de muito cuidado para que não comprometa os resultados. Levando em consideração possíveis erros humanos, ao excluir o valor de 1,7 MPa do tijolo tipo C35 e obter uma nova média de resistência encontra-se um valor de 2,62 MPa, correspondendo a 31% superior ao recomendado pela norma, enquanto que no tijolo tipo D40, ao excluir o valor mais discrepante (1,54 MPa), a nova média da resistência mostra-se no valor de 2,12 MPa, atendendo a exigência da ABNT NBR 10834 (2013), como apresentada na Figura 9 que explícita uma nova comparação entre as resistências médias dos tijolos de resíduo-cimento, mas exclui os valores obtidos possivelmente em decorrência de erro humano.

Silva (2019) também analisou a resistência à compressão simples de tijolos produzidos com resíduo do calcário laminado, com o traço de 1:7 (cimento: resíduo), obtendo-se valor médio de 2,03 MPa para tijolos produzidos com faixas de tamanhos maiores de grãos de resíduos. A composição granulométrica do resíduo utilizado por Silva (2019) era constituída por 40% do

resíduo passante na peneira com abertura de 0,075 mm, semelhante ao tijolo tipo D40; no entanto o diferencial trata-se do material passante na peneira de abertura 2,00 mm, sendo inferior a 100% no trabalho de Silva (2019), ou seja, possuindo pedregulhos. A resistência média do tijolo encontrado por Silva (2019), no valor de 2,03 MPa, é um pouco inferior (4,5%) ao encontrado neste trabalho para o tijolo tipo D40 (2,12 MPa) quando se exclui o valor mais discrepante.

Os tijolos tipos A20 e C35, que apresentaram resistências de 2,35 MPa e 2,31 MPa, respectivamente, tiveram resistências em torno de 15% superior ao da resistência média obtida por Silva (2019), fato atribuído à composição granulométrica, já que o resíduo, o cimento e o traço utilizados nos trabalhos foram os mesmos. Por outro lado, os tijolos do tipo B30 apresentaram resistência média de 1,82 MPa, correspondendo a um valor 10% inferior ao obtido por Silva (2019), o que deve estar relacionado também à composição gra-

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE TIJOLOS CERÂMICOS PRODUZIDOS COM RESÍDUO DE CALCÁRIO LAMINADO

nulométrica. A composição granulométrica influencia o empacotamento das partículas; um melhor empacotamento reduz os vazios e aumenta o contato dos grãos, consequentemente a resistência à compressão simples tende a melhorar.

4 Conclusões

Analizando os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples, pode-se concluir que os tijolos moldados com resíduo de calcário laminado, com granulometria menor que 2,00 mm e em percentuais corretos podem apresentar melhores resistências devido ao melhor empacotamento das partículas. Portanto, a inserção do resíduo da “Pedra Cariri” na construção civil é uma alternativa viável e poderá reduzir o grande número de rejeitos gerados através da extração do minério, causando não somente um impacto positivo ao meio ambiente, como também contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região do Cariri. A pesquisa remete à conclusão que o resíduo do calcário laminado Pedra Cariri apresenta viabilidade técnica para utilização na produção de tijolos prensados de resíduo-cimento.

REFERÊNCIAS

ABNT. Bloco vazado de solo-cimento sem função estruturalBloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 10834: Versão Corrigida, 1994.

ABNT. Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 10836: Versão Corrigida, 2013.

ABNT. Fabricações de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 10833: Versão Corrigida, 2013.

RODRIGUES, F. S. Durabilidade de tijolo resíduo-cimento com adição de fibra de sisal. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)) — Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, 2019.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista espaço da Sophia**, v. 8, n. 1, p. 1, 2007.

SILVA, L. A. **Estudo da durabilidade de tijolo de resíduo-cimento**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)) — Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, 2019.

SILVA, L. A.; ALEXANDRE, C. C.; BANDEIRA, A. P. N.; NETO, J. B. S. **Produção de tijolos resíduo-cimento: utilizando o resíduo da pedra cariri e materiais alternativos**. Juazeiro do Norte: [s.n.], 2019.

VIDAL, F. W. H.; PADILHA, M. W. M. A indústria extrativa da pedra cariri no estado do ceará: problemas x soluções. In: **Anais do IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**. 4. ed. Fortaleza: CETEM/SBG, 2003. p. 210.