

Uso de resíduos sólidos de construção e demolição para preenchimento de gabiões caixa

Use of construction and demolition solid wastes for basket gabion filling

João Alexandre Paschoalin Filho(1); Diego Gonçalves Camelo(2); David de Carvalho(3); António Guerner Dias(4); Brenno Augusto Marcondes Versolato(5); Dara Meira da Costa(6); Micaelle da Paixão Barbosa Scaramai(7)

1 Pós-Doutorado Faculdade de Ciências do Porto (FCUP), Doutor em Engenharia (UNICAMP), Mestre em Engenharia (UNICAMP), Graduado em Engenharia Agrônômica (UFLA), Professor na Universidade Nove de Julho e Diretor na GEOCONCEITO ENGENHARIA.

E-mail: paschoalinfilho@yahoo.com

2 Mestre em Cidades Inteligentes e Sustentáveis (UNINOVE).

Email-diegocamel@outlook.com

3 Professor na na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

E-mail: d33c@uol.com.br

4 Professor do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP).

E-mail: agdias@fc.up.pt

5 Mestrando em Cidades Inteligentes e Sustentáveis (UNINOVE) e Diretor na GEOCONCEITO ENGENHARIA.

E-mail: brennoversollatto@hotmail.com

6 Mestranda em Cidades Inteligentes e Sustentáveis (UNINOVE), pós-graduada em Engenharia de Estruturas de Concreto Armado (UCAM).

E-mail: darameira30@gmail.com

7 Mestranda em Cidades Inteligentes e Sustentáveis (UNINOVE), pós-graduada em Engenharia da Qualidade Integrada (UNINOVE).

E-mail: micaellepaixao@hotmail.com

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 10, n. 2, p. 95-114, julho-dezembro, 2021 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2021.v10i2.4647>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora-chefe: Thaísa Leal da Silva

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui/click here!](#)

Resumo

A geração o gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) têm sido um desafio para as administrações públicas, pois sua gestão inadequada acarreta prejuízos nas áreas ambiental, social e econômica. Desta forma, este material tem sido estudado pelo meio técnico, bem como por diversos pesquisadores no intuito de desenvolver novas ferramentas para o uso do RCD, reduzindo seus impactos. Dentre essas, a reciclagem pode ser destacada. Este trabalho tem como objetivo principal a avaliação técnica de gabiões caixa preenchidos com resíduos sólidos de construção e demolição. Assim, as células de gabiões foram preenchidas com RCD e Rochas basálticas, ambas em granulometria tipo rachão com o objetivo de comparar características técnicas e de engenharia entre si. Os testes laboratoriais realizados evidenciaram as características dos gabiões preenchidos com RCD e com rochas basálticas, apresentando seus deslocamentos, características, pesos específicos, desvios padrão, resistência a compressão e outros, sendo possível traçar um comparativo entre estes. Pode-se concluir que os gabiões preenchidos com RCD podem ser uma alternativa técnica para a construção civil, reduzindo os impactos ambientais e o consumo de matéria-prima da execução de muros de contenção.

Palavras-chave: Gabiões. Reciclagem. Construção Civil. Resíduos Sólidos.

Abstract

The generation and management of Construction and Demolition Wastes (C&DW) have been a challenge for public administrations because its improper management causes losses in environmental, social, and economic areas. This way, this material has been studied and discussed by technical means and many researchers to develop a new tool for C&DW using and reduce its impacts. Among these, recycling can be highlighted. This paper has as main goal the technical assessment of basket gabions filled with construction and demolition solid wastes. So, basket gabions cells were filled with C&DW and basaltic Rocks, both crushed in coarse granulometry aiming to compare technical and engineering characteristics among them. The laboratory tests performed could evidence the characteristics of gabions filled with C&DW and basaltic rocks, presenting their displacements, characteristics, specific weights, standard deviations, compression and others, making it possible to draw a comparison between the objects of study. For conclusion, it can be drawn that basket gabions filled with C&DW may be a technical alternative for civil construction, reducing environmental impacts and raw material consumption form retaining wall execution.

Keywords: Gabion. Recycling. Civil Construction. Solid Waste.

1 Introdução

As crescentes atividades de construção, reforma e demolição em consequência da urbanização massiva e descontrolada estão causando impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade. Dentre estes, podem ser destacados os impactos decorrentes da gestão incorreta de RCD. Em muitas partes do mundo, os RCD são descartados em aterros sanitários sem nenhum tratamento ou reciclagem prévia (JIN; YUAN; CHEN, 2018), sendo frequente encontrar locais onde o RCD é lançado em rios e florestas.

A geração de resíduos consiste em uma questão crucial para as empresas de construção civil (ROSADO et al., 2019). Para Yuan (2017), os RCD induzem impactos negativos no meio ambiente (poluição do solo e da água e efeitos adversos na fauna e flora), economia (incluindo altos custos de transporte para áreas de descarte e perda de materiais de construção) e saúde coletiva (impacto em segurança no trabalho, diferentes tipos de doenças). Devido às áreas limitadas para aterros sanitários, poluição da água, consumo de energia, emissões de gases prejudiciais, poluição sonora, o gerenciamento de RCD torna-se um desafio significativo para o desenvolvimento sustentável (JIN; YUAN; CHEN, 2018).

A quantidade e a composição dos RCD podem variar entre as diferentes regiões, dependendo de muitos fatores como: crescimento econômico, legislação, políticas públicas, experiência do construtor, tipo de construção, planejamento regional e outros (MENEGAKI; DAMIGOS, 2018). Estima-se que mais de 10 bilhões de toneladas de RCD foram geradas em todo o mundo em 2017 (WANG et al., 2019). Em 2016 a União Europeia gerou 923.540.000 toneladas de RCD (EUROSTAT, 2017), nos EUA, em 2014, foram geradas cerca de 540 milhões de toneladas (28,9 milhões de toneladas durante a construção e 505,1 milhões durante as atividades de demolição). Austrália e China em 2014 geraram 19,5 milhões de toneladas e 1,13 bilhões de toneladas, respectivamente (MENEGAKI; DAMIGOS, 2018). O Reino Unido, em 2012, gerou 200 milhões de toneladas de resíduos, dos quais 50% foram produzidos na Construção e Demolição (DEFRA, 2015). Blaisi (2019) informa que na Arábia Saudita em 2016 foram geradas 131.436 toneladas de RCD. Comparando 2016 com 2017, o autor relata um aumento próximo a 10%.

Os municípios brasileiros geraram (em média) cerca de 45 milhões de toneladas de RCD em 2019, o que significou uma taxa de geração de 0,6kg / hab / dia. Rosado et al., (2019) alertam que esse índice pode ser maior em muitas regiões brasileiras, pois leva apenas o RCD coletado pelos municípios, e não considera os resíduos descartados ilegalmente. Muitos países não apresentam políticas públicas para a reciclagem de RCD. Conforme informado por Wang et al., (2019), apenas 5% do RCD gerado em todo o território chinês é reciclado, e o restante é despejado ilegalmente ou transportado para aterros sanitários. Essa situação é semelhante no Brasil segundo Paschoalin Filho, et al. (2017) e na Arábia Saudita de acordo com Blaisi (2019).

Para Jin, Yuan & Chen (2018), a gestão RCD é um tema interdisciplinar, que envolve aspectos ambientais, técnicos, econômicos e sociais. Este também cobre questões complicadas em relação a perspectivas políticas, administrativas e de engenharia. Segundo Paschoalin Filho, et al. (2017), os resíduos gerados em um canteiro de obras podem representar um passivo ambiental significativo, se não forem administrados e destinados de forma adequada. Desta forma, a gestão de Resíduos de Construção e Demolição tem grande importância para garantir seu correto manejo, por meio da adoção de técnicas alinhadas com as práticas de sustentabilidade. Nagapan, Rahman & Asmi (2012) sugerem que os fatores mais significativos que causam a geração de RCD são: erros na fase de projeto e execução, planejamento de construção inadequado, mão de obra pouco qualificada e gestão ineficiente de canteiros de obras.

As vantagens ambientais, sociais e econômicas da reciclagem de RCD nos canteiros de obras são destacadas nas pesquisas da Arif, Bendi & Toma-Sabbagh (2012); Oyedele et al., (2013); Paschoalin Filho, et al., (2017) Tam; Kotrayothar & Loo (2009), entre outros. Na última década, a viabilidade e o gerenciamento eficiente de RCD foram amplamente estudados por diversos tipos de pesquisa. Conforme informado por Blaisi (2019), os elementos principais para uma gestão bem-sucedida incluem (i) consciência da gestão de resíduos (ii) regulamentos e sistemas de gestão de resíduos (iii) tecnologias de construção sustentáveis e (iv) planos de gestão de RCD para construção e para demolição.

O uso de gabiões consiste em uma solução técnica bem estabelecida para a construção de muros de contenção. Porém, apesar da ampla difusão dessa metodologia, o conhecimento do comportamento mecânico dos gabiões ainda é limitado.

Apenas um pequeno número de pesquisas enfocou o comportamento estrutural de gabiões quando utilizados como material de construção de muro de contenção (MAZZON; FERRAILOLO; VICARI, 2016). A referência pioneira ao possível reaproveitamento de materiais RCD em estruturas de muros de contenção foi apresentada por Lima (1999). Materiais como RCD, concreto, tijolos, seixos foram estudados por Nawagamuwa et al., (2012) para verificar a possibilidade de serem usados como material de enchimento de gabião. De acordo com seu estudo, considerando a durabilidade e resistência à compressão, apenas o concreto poderia ser considerado adequado para uso em gabiões, outros materiais podem não apresentar resistência à compressão ou durabilidade suficientes (VIERA; PEREIRA, 2015). No entanto, apesar dos estudos pioneiros de Nawagamuwa et al. (2012) e Lima (1999), ainda existe a necessidade de um melhor entendimento dos meios técnicos que podem ser utilizados para implementar o uso de materiais RCD em gabiões.

2 Materiais e métodos

Um projeto de muro de contenção executado em gabião deve avaliar os esforços horizontais para sua estabilidade, análise de empuxo e esforços compressivos, no intuito de se determinar a altura máxima que a contenção poderá atingir. A sobreposição dos gabiões, para atingir a altura projetada, causa tensões de compressão nestes, induzindo deslocamentos horizontais que podem levar à ruptura do fio do gabião. É por isso que a análise de tensões compressivas e deslocamentos horizontais é tão essencial para prever o desempenho da parede de retenção do gabião.

Para obter o comportamento dos gabiões, foram realizados ensaios compressivos em modelos reduzidos. Esses modelos foram executados nas seguintes dimensões: 0,4x0,4x0,4m. Porém, antes disso, dois gabiões foram preenchidos (com RCD e Rocha) em tamanho real (1,0x1,0x1,0m) com o objetivo de obter valores físicos como massa e peso específico. Esses dados foram usados para construir os gabiões de teste necessários aos ensaios de compressão. Três gabiões teste foram preenchidos com RCD e um foi preenchido com Rocha basáltica. Cada gabião teste foi medido e pesado para confirmar se essas características eram representativas dos gabiões de tamanho real.

Os materiais de enchimento (Rocha e RCD) tiveram uma distribuição de tamanho de grão médio entre 10 e 30 mm. As malhas do gabião eram compostas por fio de aço com características físicas e de resistência conforme ABNT NBR 8964: 2013 e ASTM A641 M-98.

Cada gabião teste foi medido e pesado para confirmar se características eram as mesmas dos gabiões de tamanho real. As figuras a seguir mostram um gabião em tamanho real e os quatro gabiões teste em tamanho reduzido. Os deslocamentos verticais, durante os testes de compressão realizados, foram observados por quatro deflectômetros posicionados no topo dos gabiões de teste. Com o objetivo de observar os deslocamentos horizontais, cada gabião foi marcado em três alturas diferentes (superior, médio e inferior). As figuras a seguir mostram, respectivamente, um gabião em tamanho real preenchido com RCD (Figura 1), os gabiões em tamanho reduzido para testes de compressão (Figura 2) e um teste sendo realizado (Figura 3).



Figura 1. Gabião caixa em tamanho real (RCD). Fonte: Os autores.



Figura 2. Gabiões teste preenchidos com RCD (2,3 e 4) e rocha basáltica (1). Fonte: Os autores.

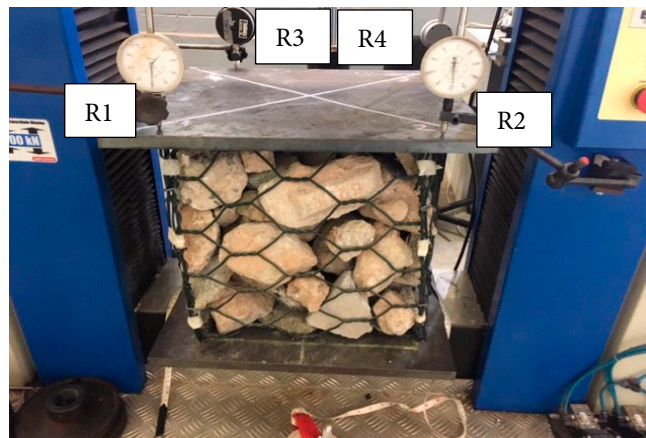


Figura 3. Ensaio de compressão em execução (RCD) e os deflectômetros R1, R2, R3 e R4 posicionados acima do gabião. Fonte: Os autores.

3 Resultados e discussões

3.1 Caracterização física das amostras

As tabelas a seguir apresentam as características físicas das amostras de RCD e rocha.

Tabela 1. Caracterização física das amostras de RCD

Amostra	Diâmetro* (mm)	Área de seção transversal* (m ²)	Altura* (mm)	Volume* (m ³)	Massa* (kN)	γ_{nat} * (kN/m ³)
RCD1	43,86	0,001510104	89,28	0,0001348	0,00299	22,18
RCD2	43,60	0,001492254	91,48	0,0001365	0,00309	22,64
RCD3	43,50	0,001485416	91,22	0,0001355	0,00300	22,14
RCD4	43,82	0,001507351	93,14	0,0001404	0,00312	22,22
RCD5	43,89	0,001512171	92,22	0,0001395	0,00325	23,31
RCD6	44,00	0,000151976	91,16	0,0001385	0,00305	22,02
RCD7	44,18	0,000153222	91,77	0,0001406	0,00307	21,83
RCD8	44,26	0,001537774	90,09	0,0001385	0,00294	21,22
RCD9	43,55	0,001488833	91,65	0,0001365	0,00326	23,89

Amostra	Diâmetro* (mm)	Área de seção transversal* (m ²)	Altura* (mm)	Volume* (m ³)	Massa* (kN)	γ_{nat} * (kN/m ³)
RCD10	43,83	0,001508039	93,35	0,0001408	0,00310	22,02
Média	43,85	0,001509392	91,54	0,0001382	0,00309	22,35
Desvio padrão (sd)	0,30	0,000017	1,2	0,0	0,00	0,80
Coeficiente de variação - cv (%)	0,6	1,2	1,4	1,6	3,4	3,4

Fonte: Os autores.

* Amostra cilíndrica de RCD moldada

Tabela 2. Caracterização física de amostras de rocha.

Amostra	Diâmetro* (mm)	Área de seção transversal* (m ²)	Altura* (mm)	Volume* (m ³)	Massa* (kN)	γ_{nat} * (kN/m ³)
R1	43,92	0,001514239	93,35	0,000141356	0,00377	26,7
R2	44,01	0,001520451	93,01	0,000141417	0,00385	27,2
R3	44,11	0,001527368	90,81	0,0001387	0,00386	27,8
R4	44,12	0,001528061	91,00	0,000139054	0,00395	28,4
R5	44,00	0,00151976	92,25	0,000140198	0,00388	27,7
Média	44,03	0,001521976	92,08	0,000140145	0,00386	27,5
Desvio padrão(sd)	0,08	0,000006	1,1	0,00	0,00	0,70
Coeficiente de variação cv (%)	0,2	0,4	1,2	0,9	1,7	2,4

Fonte: Os autores.

* Amostra cilíndrica de rocha esculpida.

Analisando as Tabelas 1 e 2, pode-se observar que os diâmetros médios obtidos para as amostras foram: $D_{RCD} = 43,84$ mm (sd = 0,300 mm; cv = 0,6%) e $D_{Rocha} = 44,03$ mm (sd = 0,083 mm; cv = 0,2 %). As alturas médias determinadas para as amostras RCD e Rocha foram, respectivamente, $H_{RCD} = 91,54$ mm (sd = 1,2 mm; cv = 1,4%) e $H_{Rocha} = 92,08$ mm (sd = 1,1 mm; cv = 1,2%). A massa média obtida para as amostras RCD igual a 0,308 kg (sd = 0,01 kg, cv = 3,4%). Em termos peso específico médio, o valor obtido para RCD foi $\gamma_{RCD} = 22,35$ kN / m³ (sd = 0,8 kN / m³, cv = 3,4%). Em geral, todos os resíduos de construção civil possuíam pesos específicos de acordo com a ABNT NBR 9778, ou seja, entre 20 e 28kN / m³, estando dentro dos padrões aceitos. Ao considerar as amostras de Rocha, os valores obtidos foram $\gamma_{Rocha} = 27,56$ kN / m³ (sd = 0,7 kN / m³, cv = 2,4%) e $m_{Rocha} = 0,386$ kg (sd = 0,0 kg, cv = 1,7%). O erro padrão e o intervalo de confiança para as amostras de RCD e Rocha são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Erro padrão e intervalo de confiança para amostras de RCD e Rocha

Estatística	RCD	Rocha
Média	22,35 kN/m ³	27,56 kN/m ³
Erro padrão	0,25 kN/m ³	0,31 kN/m ³
Intervalo de confiança (+)*	22,85 kN/m ³	28,17 kN/m ³
Intervalo de confiança (-)*	21,85 kN/m ³	26,95 kN/m ³

Fonte: Os autores.

* Para 95% do intervalo de confiança.

Portanto, de acordo com os valores de desvio padrão e coeficientes de variação apurados, pode-se constatar que as dimensões dos corpos-de-prova apresentaram baixas variações, quanto à altura e ao diâmetro, o que mostra que foram satisfatoriamente esculpados. Além disso, as relações altura / diâmetro foram de aproximadamente 2,0, o que atende aos requisitos da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 12024: 2012. Com relação aos pesos específicos, como esperado, as amostras de rocha apresentaram valores superiores em relação as amostras de RCD. Os pequenos valores de erro padrão apresentados pela Tabela 3 justificam a proximidade entre os valores superior e inferior do intervalo de confiança; também como resultado dos baixos valores de desvio padrão calculados. A tabela seguinte apresenta os resultados dos ensaios de compressão executados nos corpos de prova.

Tabela 4. Valores de resistência à compressão obtidos para os corpos de prova estudados

Amostra	CS _{RCD} (MPa)	Amostra	CS _{Rocha} (MPa)
RCD 1	17,60	R1	78,46
RCD 2	15,21	R2	97,75
RCD 3	18,22	R3	79,74
RCD 4	19,51	R4	35,26
RCD 5	26,83	R5	64,85
RCD 6	23,18	----	----
RCD 7	16,38	----	----
RCD 8	11,22	----	----
RCD 9	32,46	----	----
RCD 10	19,47	----	----
Média	20,00		71,20
Desvio padrão	6,10		23,30
Coeficiente de variação (%)	30,5		32,7

Fonte: Os autores.

De acordo com a Tabela 4, a resistência à compressão para corpos de prova de RCD variou de 11,22 MPa a 32,46 MPa, resultando em um valor médio de 20 MPa (concreto Classe CA20). O valor médio obtido é inferior ao determinado por Leal (2012), que encontrou uma média de 33 MPa para concretos com 28 dias. Leal (2012) realizou ensaios de compressão em corpos de prova de concreto (idade 28 dias) e obteve resistências à compressão médias entre 28,8 e 49,14 MPa. As resistências à compressão para as amostras de rocha variaram de 97,75 a 64,85 MPa (média = 71,2 MPa, sd = 23,3, cv = 32,7%). Esses valores, de acordo com a escala proposta por Deere e Miller (1966), classificam os corpos-de-prova estudados como de média resistência.

Deve-se notar que o valor do desvio padrão obtido para as amostras de rocha foi maior do que o determinado para as amostras RCD. Este fato decorre, pois, a rocha em estudos apresenta orientações preferenciais de xisto que, de acordo com a orientação do corpo de prova, podem conferir-lhe maior ou menor resistência à compressão. A Tabela 5 mostra os erros padrão e os intervalos de confiança superior e inferior para uma probabilidade de ocorrência de 95%. A Figura 4 apresenta dois corpos de prova, após sua ruptura.

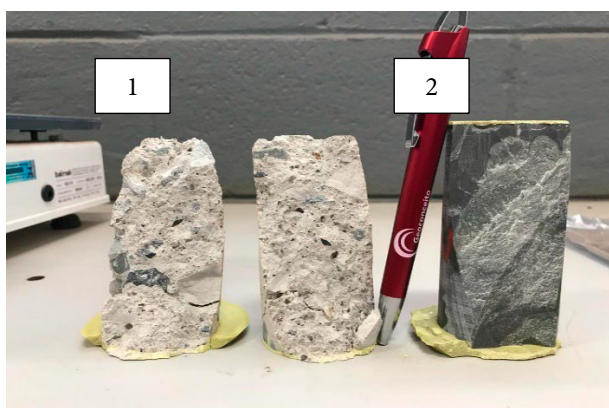


Figura 4. Corpos de prova após ruptura - (1) RCD; (2) Rocha. Fonte: Os autores.

Tabela 5. Erro padrão e intervalo de confiança para 95% de probabilidade

Estatística	CS _{RCD}	CS _{Rocha}
Média	20,00 MPa	71,20 MPa
Erro padrão	1,92 MPa	10,40 MPa
Intervalo de confiança (+)*	23,80 kN	91,60 kN
Intervalo de confiança (-)*	16,30 kN	50,82 kN

Fonte: Os autores.

* Para 95% do intervalo de confiança

Conforme mostrado na Tabela 5, os valores de erro padrão foram menores para os corpos de prova de RCD, o que indica que as resistências à compressão determinadas

para eles apresentaram menor dispersão em comparação aos valores obtidos para os corpos de prova de rocha. Analisando os intervalos de confiança superior e inferior, que é uma estimativa, que mostra o nível de probabilidade em que se encontra o parâmetro, considerando 95% dos experimentos, pode-se entender que o RCD pode variar entre 23,8 e 16,3 MPa e a Rocha entre 91,6 e 50,82 kN.

3.2 Testes compressivos realizados nos gabiões teste

As Tabelas 6 e 7 apresentam as características físicas dos gabiões de tamanho reduzido e real, conforme a seguir:

Tabela 6. Comparação entre gabiões de tamanho reduzido e gabiões de tamanho real

Gabião	Volume (m ³)	Massa teórica (kN)	Massa medida (kN)	Porosidade (%)
Rocha de gabião em tamanho real	0,768	21,16	15,40	27,2
Gabião de RCD em tamanho real	0,794	17,70	12,60	28,8
Gabião de RCD em tamanho reduzido	0,042	0,94	0,70	25,5
Gabião de RCD em tamanho reduzido	0,041	0,92	0,68	26,0
Gabião de RCD em tamanho reduzido	0,043	0,96	0,70	27,0
Gabião de rocha em tamanho reduzido	0,043	1,18	0,79	33,0

Fonte: Os autores.

Tabela 7. Peso específico obtido para cada gabião

Gabião	γ (kN/m ³)
Gabião de RCD em tamanho real	20,05
Gabião de RCD em tamanho reduzido	16,67
Gabião de RCD em tamanho reduzido	16,58
Gabião de RCD em tamanho reduzido	16,28
Gabião preenchido de rocha em tamanho real	15,87
Gabião preenchido de rocha em tamanho reduzido	18,37

Fonte: Os autores.

A Tabela 6 mostra que os gabiões usados nos testes de laboratório apresentaram porosidade semelhante aos gabiões de tamanho natural. Segundo Barros (2010), a porosidade do gabião deve ter um valor máximo de 35%. A seguir, os resultados obtidos pelos ensaios de compressão realizados e os deslocamentos verticais encontrados são apresentados na Tabela 8 e nas figuras 5 e 6.

Tabela 8. Parâmetros médios de RCD obtidos por ensaios de compressão (deslocamento vertical)

Gabião de RCD - Teste de compressão											
Aumento de carga	0	1	2	3	4	5	5	6	7	δv	$\delta v_{média}$
Q(kN)	0	4,0	8,0	13,0	17,0	21,0	21,0	25,0	30,0	mm	mm
R1 _{média} (mm)	39,1	35,9	30,4	26,8	21,2	17,1	12,7	6,5	6,3	32,8	30,5
R2 _{média} (mm)	41,2	40,2	38,6	35,8	31,6	24,1	18,4	10,2	9,8	31,4	
R3 _{média} (mm)	40,3	27,0	24,1	17,5	16,7	16,8	15,6	8,8	9,3	31,0	
R4 _{média} (mm)	38,7	36,5	34,6	31,0	27,2	21,9	15,9	13,4	12,0	26,7	
R _{média} (mm)	39,8	34,9	31,9	27,7	24,2	20,0	15,7	9,7	9,3	30,5	-----
Desvio padrão	1,0	4,8	5,4	6,7	5,7	3,1	2,0	2,5	2,0	-----	-----
Coefficiente de variação(%)	2,5	13,9	16,8	24,3	23,5	16,0	13,0	25,8	21,8	-----	-----
Erro padrão	0,5	2,4	2,7	3,4	2,8	1,6	1,0	1,3	1,0	-----	-----
Intervalo de confiança(+)*	40,8	39,6	37,2	34,3	29,7	23,0	17,7	12,2	11,3	29,5	-----
Intervalo de confiança(-)*	38,8	30,1	26,7	21,2	18,6	16,9	13,7	7,3	7,3	31,5	-----

Fonte: Os autores.

*Para 95% do intervalo de confiança.

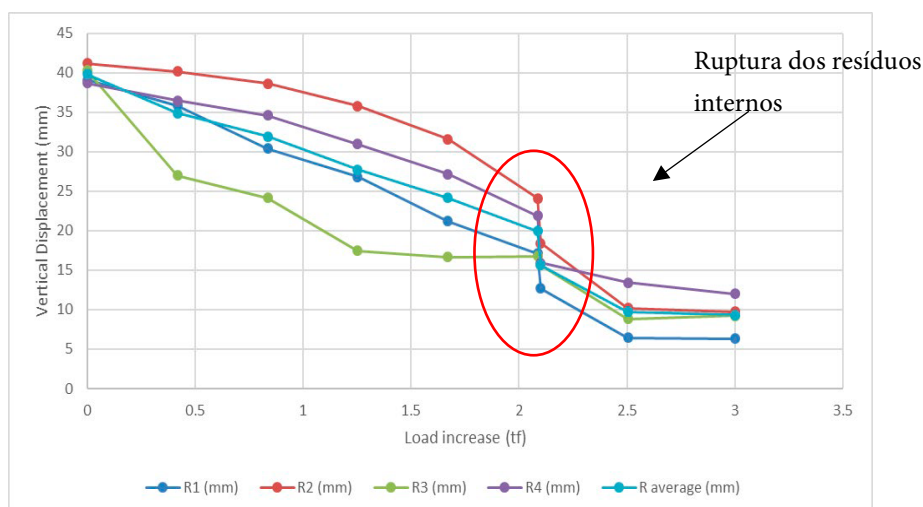


Figura 5. Carga versus deslocamento vertical – G_{RCD} . Fonte: Os autores.

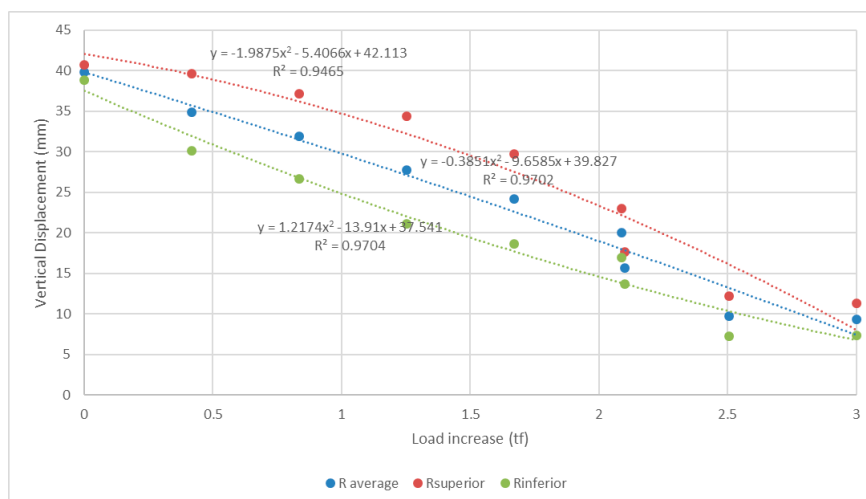


Figura 6. Carga versus deslocamento vertical – R média, Rsuperior e Rinferior (para 95% do intervalo de confiança) curvas de tendência.

Fonte: Os autores.

A Tabela 8 e as figuras 5 e 6 indicam um deslocamento compressivo médio de 30,5 mm (cerca de 30,4% da altura inicial do gabião). A Figura 5 mostra as curvas incremento de carga x deslocamento, considerando os valores médios, limites superior e inferior das médias, considerando 95% de confiança.

Nessa situação, a curva limite superior indica um deslocamento total de 29,5 mm (8,5% da altura do gabião), enquanto a curva limite inferior sugere um deslocamento de 31,5 mm (9% da altura do gabião). Pela análise das curvas de tendência, pode-se verificar que elas apresentam deslocamentos orientados por curvas polinomiais bem ajustadas, que podem ser observados através dos coeficientes de determinação (R^2) próximos à unidade. A Tabela 9 e as figuras 7 e 8 mostram os deslocamentos horizontais obtidos.

Tabela 9. Parâmetros médios de RCD obtidos por testes compressivos (deslocamento horizontal)

Gabião de RCD – Teste de compressão											
Aumento de carga	0	1	2	3	4	5	5	6	7	δh	$\delta h_{médio}$
Q(kN)	0	4	8	13	17	21	21	25	30	mm	mm
$L1_{média}$ (mm)	1204	1210	1223,3	1226,7	1240	1250	1256,7	1280	1200	-4.0	
$L2_{média}$ (mm)	1198	1260	1292,7	1346,7	1396,7	1428,3	1453,3	1456,7	1400	-202	-96
$L3_{média}$ (mm)	1179	1208	1226,3	1253,3	1263,3	1293,3	1303,3	1310	1260	-81	
$L_{média}$ (mm)	1193,7	1226	1247,4	1275,6	1300	1323,9	1337,8	1348,9	1280	86.3	----
Desvio padrão	13,1	29,5	39,2	63,0	84,5	93	102,8	94,5	375,4	----	----
Coefficiente de variação (%)	1,1	2,4	3,1	4,9	6,5	7	7,7	7	33,6	----	----

Gabião de RCD – Teste de compressão

Aumento de carga	0	1	2	3	4	5	5	6	7	δh	$\delta h_{\text{médio}}$
Erro padrão	7,5	17,0	22,6	36,4	48,8	53,7	59,3	54,6	216,7	----	----
Intervalo de confiança (+)*	1208,4	1259,3	1291,8	1346,9	1395,6	1429,1	1454,1	1455,9	1541,9	-333	----
Intervalo de confiança (-)*	1178,9	1192,7	1203,1	1204,3	1204,4	1218,6	1221,5	1241,9	1160	19	----

Fonte: Os autores.

* Para 95% do intervalo de confiança.

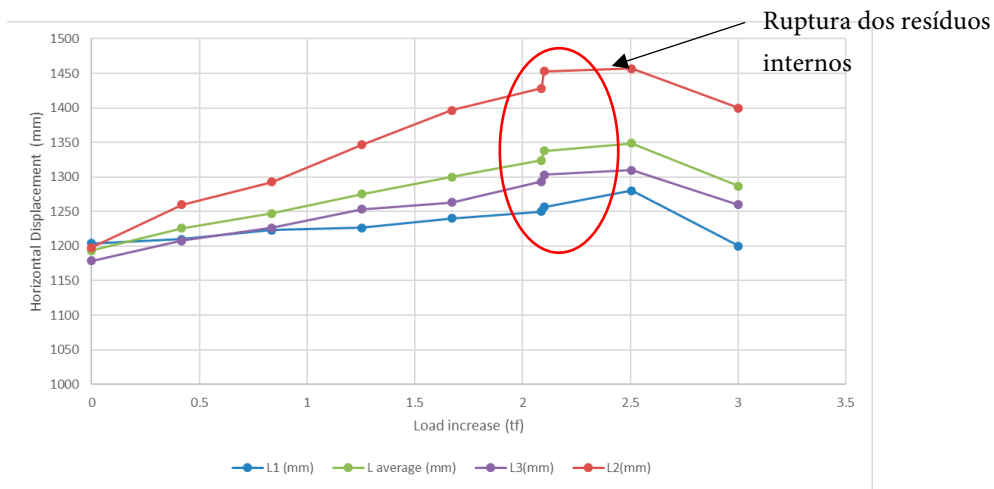


Figura 7. Carga versus deslocamento horizontal – G_{RCD} .

Fonte: Os autores.

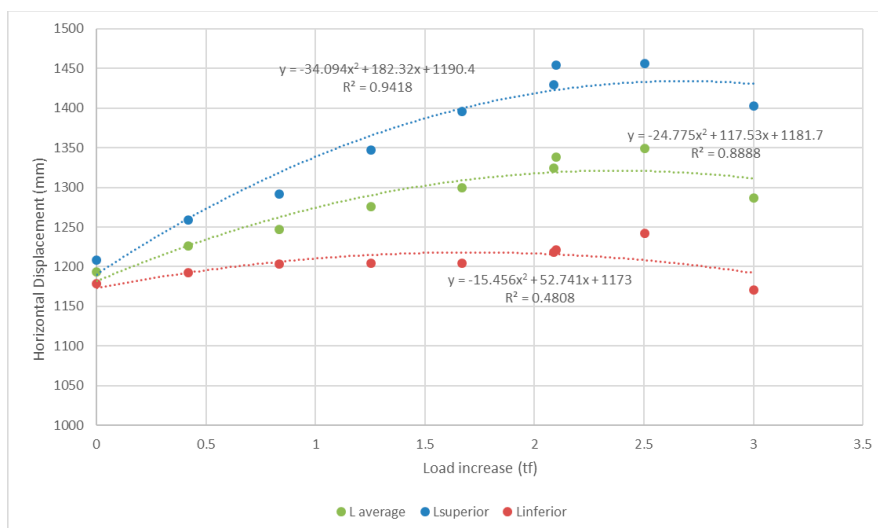


Figura 8. Carga versus deslocamento horizontal – Lmedia, Lsuperior, e Linferior (para 95% do intervalo de confiança) curva de tendência.

Fonte: Os autores.

Analisando a Tabela 9 e as figuras 7 e 8, as marcações L1, L2 e L3 indicaram um deslocamento horizontal médio de -96 mm (cerca de 7% do perímetro do gabião). A Figura 8 mostra as curvas de aumento de carga vs. deslocamento considerando os valores médios e os limites superior e inferior das médias, considerando 95% de confiança. Nesta situação, a curva limite superior indica um deslocamento total de -333 mm, enquanto a curva limite inferior indica um deslocamento de 19 mm. As Figuras 9 a 11 mostram as falhas de desperdício após a execução dos testes.



Figura 9. Deslocamento vertical do gabião de RCD durante o teste de compressão realizado.

Fonte: Os autores.

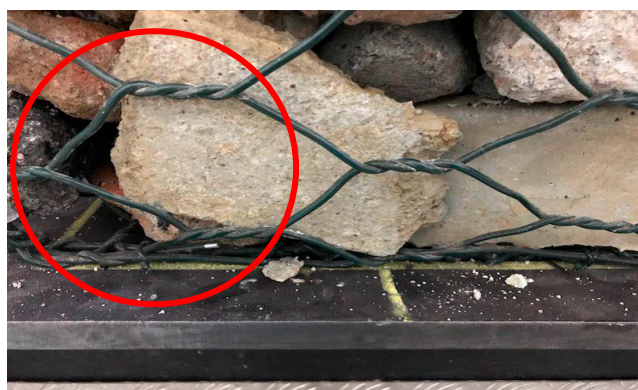


Figura 10. Ruptura dos resíduos após teste de compressão realizado.

Fonte: Os autores.



Figura 11. Ruptura de resíduo após teste de compressão realizado.

Fonte: Os autores.

Os dados obtidos para gabiões preenchidos com rocha são mostrados a seguir:

Tabela 10. Parâmetros médios do gabião de rocha obtidos por ensaios de compressão (deslocamento vertical).

Gabião de Rocha – Teste de compressão											
Aumento de carga	0	1	2	3	4	5	5	6	7	δ	$\delta_{média}$
Q(kN)	0	5	10	15	20	24	29	34	39	mm	mm
R1 (mm)	46	30,4	26	17	18	15	9,9	5,5	1	45	
R2 (mm)	36	37	36	35,5	30	33	29	27	25,0	11	29,5
R3(mm)	40	36,6	36,5	34,5	33,5	33	20	13	9	31	
R4(mm)	32,3	24,5	20,5	15,2	9,2	9,1	8,7	2,0	1,5	30,8	
L1(mm)	1130	1190	1180	1290	1220	1180	1220	1202	1202	-72	
L2(mm)	1150	1260	1300	1340	1370	1375	1460	1500	1501	-351	-181
L3(mm)	1160	1170	1220	1160	1170	1180	1200	1270	1280	-120	

Fonte: Os autores.

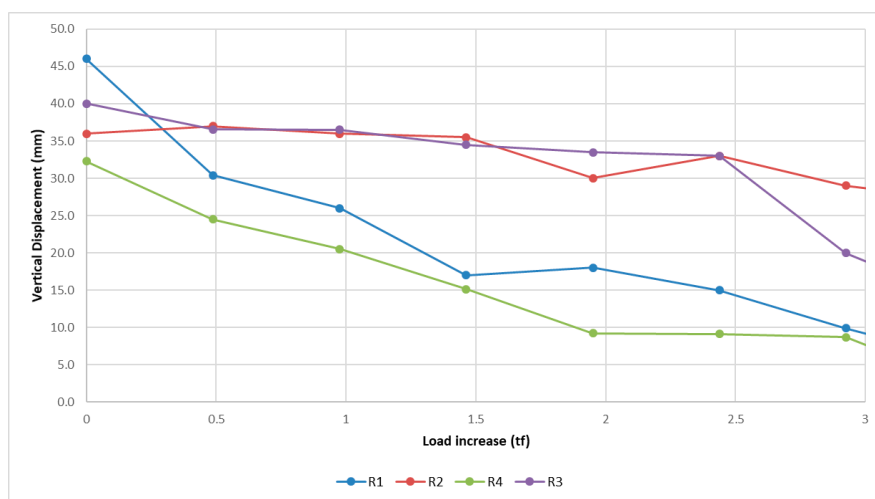


Figura 12. Carga versus deslocamento vertical – G_{rocha} .

Fonte: Os autores.

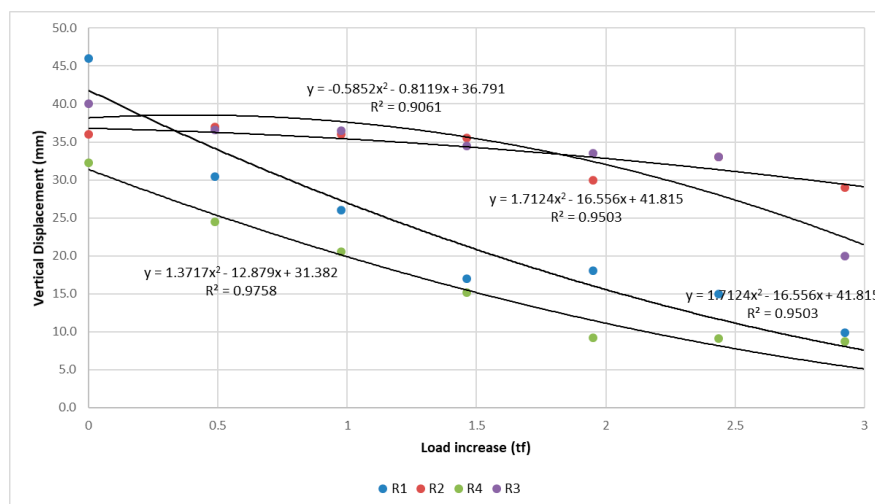


Figura 13. Carga versus deslocamento vertical: curva de tendência G_{Rocha} .

Fonte: Os autores.

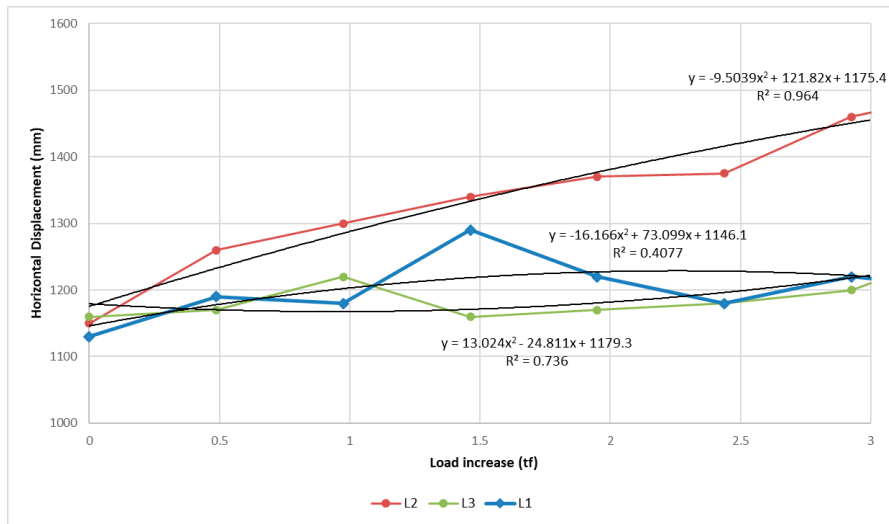


Figura 14. Carga versus deslocamento horizontal: curva de tendência G_{Rocha} .

Fonte: Os autores.

Conforme mostrado pela Tabela 10 e figuras 12 a 14, o deslocamento compressivo médio foi de 29,5 mm (cerca de 8,5% da altura inicial do gabião). Ao verificar as leituras do perímetro do gabião (L1, L2 e L3), observou-se um deslocamento horizontal médio de 181 mm, ou seja, 13,3% do perímetro do gabião. Assim como no caso dos gabiões preenchidos com RCD, cada curva apresenta deslocamentos orientados por curvas polinomiais bem ajustadas, que podem ser observadas pelos coeficientes de determinação (R2) próximos à unidade. As Figuras 15 e 16 mostram comparações entre as curvas médias de gabiões preenchidos com RCD e rocha.

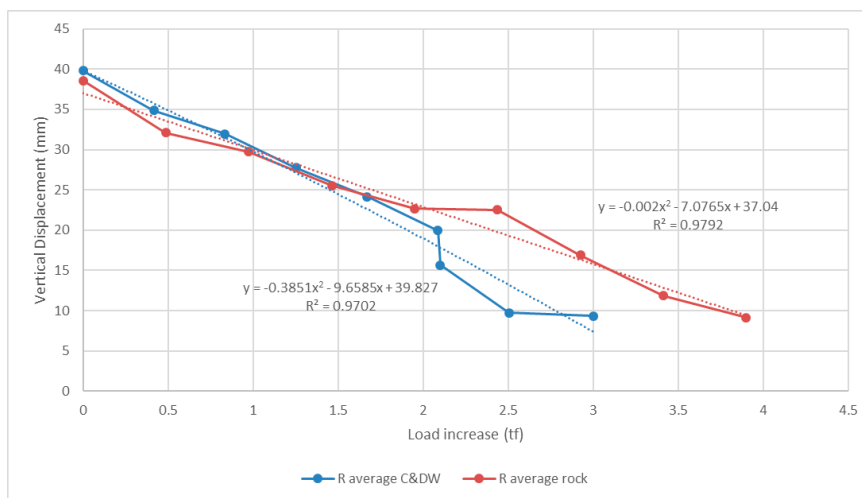


Figura 15. Comparação entre curvas médias de G_{Rocha} and G_{RCD} (deslocamento vertical).

Fonte: Os autores.

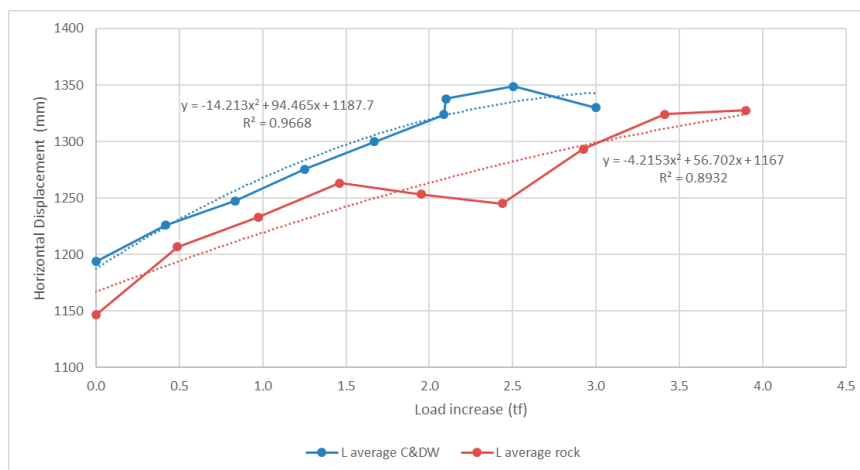


Figura 16. Comparação entre curvas médias de G_{Rocha} and G_{RCD} (deslocamento horizontal).

Fonte: Os autores.

As Figuras 15 e 16 mostram que gabiões preenchidos com RCD e rocha apresentaram deformações semelhantes quando atingidos 20 kN de carga compressiva. A partir disso, ambos os gabiões mostraram diferenças nos deslocamentos observados. O gabião, preenchido com RCD, apresentou maior deslocamento do que o gabião de rocha. Assim, nas cargas iniciais, em ambos os gabiões, os deslocamentos verticais ocorreram devido à acomodação entre os materiais de enchimento (RCD e rocha). Após 20 kN de carga compressiva, o RCD dentro dos gabiões começaram a romper, o que ocasionou novas acomodações e, conseqüentemente, deslocamentos adicionais.

Deve-se ressaltar que 20 kN de carga compressiva equivale a uma deformação para uma tensão de $163 \text{ kN} / \text{m}^2$. Esta carga é como uma coluna vertical com 7,5 m de altura de gabiões preenchidos com RCD e como uma coluna de 6 m de altura preenchida com rocha.

4 Conclusões

De acordo com os resultados obtidos e as análises realizadas, podem-se tirar as seguintes conclusões:

Depois de realizar os testes e analisar os resultados, é possível determinar alguns parâmetros físicos para RCD e Rocha, incluindo suas variações e absorções. As relações carga versus deslocamento (horizontal e vertical) obtidas pelos testes de compressão de gabião em RCD e Rocha realizados demonstraram um comportamento bem ajustado, tendendo a uma curva polinomial de segundo grau.

Para gabiões preenchidos com RCD e Rocha, foram observados deslocamentos horizontais maiores do que os verticais.

Gabiões preenchidos com RCD apresentaram maiores deslocamentos (vertical e horizontal) do que aqueles preenchidos com Rocha quando considerada uma carga

máxima de $Q_t = 30\text{kN}$ ($\sigma_c = 187,5\text{kPa}$). Porém, ao considerar a carga equivalente a $Q_t / 2 = 15\text{kN}$ ($\sigma_c = 93,8\text{kPa}$), verificou-se que os valores de deslocamento foram próximos entre os gabiões testados e estudados. Os deslocamentos verticais observados para os gabiões RCD e Rocha permaneceram próximos a 20kN de carga compressiva ($\sigma_c = 125\text{kPa}$). Nesta fase de carregamento, os resíduos da construção começaram a romper. Após esta carga, os gabiões de RCD começaram a mostrar deslocamentos mais elevados do que os gabiões de Rocha.

Os resultados obtidos nos estudos trazem a possibilidade de utilizar RCD para preenchimento de gabião caixa, que pode ser utilizado para a execução de contenções de até 5m de altura, no que se refere ao fator de segurança de 2.0. Além disso, a utilização de resíduos de construção para a execução de gabiões caixa pode se tornar uma tendência e solução alternativa para a construção de contenções, trazendo vantagens ambientais como: menor aquisição de matéria-prima natural, menor emissão de gases de efeito estufa produzidos pela atividade extrativa e transporte, reaproveitamento de resíduos dentro das obras e outros.

Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR NM 8522/2017 - *Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação a compressão*. Rio de Janeiro-RJ, 2017.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR NM 7680/2015 - *Concreto - Extração, preparo e análise de testemunhos de estruturas de concreto*. Rio de Janeiro-RJ, 2015.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR NM 8964/2013 - *Arames de aço de baixo teor de carbono, revestidos, para gabiões e demais produtos fabricados com malha de dupla torção*. Rio de Janeiro-RJ, 2013.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR NM 12024/2012 - *Solo-cimento — Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos — Procedimento*. Rio de Janeiro-RJ, 2012.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR NM 8802/2010 - *Concreto endurecido – determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica*. Rio de Janeiro- RJ, 2010.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR NM 9778/2005 - *Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica* Rio de Janeiro- RJ, 2005.
- ARIF, M., BENDI, D.; TOMA-SABBAGH, T.; SUTRISNA, M. Construction waste management in India: an exploratory study. *Construction Innovation*, 12(2), 133–155, 2012.
- ASTM. American Society for Testing and Materials - A641 M-98 - Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Carbon Steel Wire. ASTM International, West Conshohocken, PA, 1998.
- BARROS, P. L. A. *Obras de contenção: manual técnico* (p. 223) [Manual Técnico]. Jundiaí-SP: Maccaferri. (2010).
- BLAISI, N.I. Construction and demolition waste management in Saudi Arabia: current practice and roadmap for sustainable management. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 221, 167-175.
- DEERE, D.U.; MILLER, R.P. *Engineering classification and index properties for intact rock*. University of Illinois, 1966. 327p.
- Department for Environment, Food & Rural Affairs (DEFRA). UK government. 2015. [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/487916/UK Statistics on Waste statistical notice](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/487916/UK_Statistics_on_Waste_statistical_notice).
- EUROSTAT. *Report: General and Regional Statistics*. 2017. Accessed on July 2021.
- JIN, R.; YUAN, H.; CHEN, Q. Science mapping approach to assisting the review of construction and demolition waste management research published between 2009 and 2018. *Resources, Conservation & Recycling*, 140, 175-188, 2018.
- LEAL, W.R.S. *Concreto dosado em central: proposta de metodologia de controle de qualidade e identificação das causas de variabilidade no processo de produção de concreto*. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

LIMA, J. A. R. *Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos* (Mestrado). Universidade de São Paulo USP, São Paulo, Brasil, 1999.

MAZZON N.; FERRAILOLO, F.; VICARI, M. Experimental study of the mechanical behavior of double twisted steel mesh gabions. *Procedia Engineering*, 158, 422-427, 2016.

MENEGAKI, M.; DAMIGOS, D. A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 8-15, 2018.

NAGAPAN, S; RAHMAN, I. A; ASMI, A. Factors Contributing to Physical and Non-Physical Waste Generation in the Construction Industry. *International Journal of Advances in Applied Sciences*, 1(1), 1–10, 2012.

NAWAGAMURA, U.P, *et al.* Sustainable reuse of Brownfield properties in Sri Lanka as a gabion fill material. In: *ICSBE-2012: International Conference on Sustainable Built Environment*, Kandy, Sri Lanka.

OYEDELE, L. O., *et al.* Reducing waste to landfill in the UK: identifying impediments and critical solutions. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, 10(2), 131–142, 2013.

PASCHOALIN FILHO, J. A., *et al.* Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil (CD&W) em Edifícios Residenciais de Alto Padrão no Município de São Paulo/SP. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 11(1), 73–89, 2017. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v11i1.1217>

ROSADO, L.P. *et al.* Life cycle assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State, Brazil. *Waste Management*, 85, 477-489, 2019.

TAM, V. W. Y.; KOTRAYOTHAR, D.; LOO, Y.C. On the prevailing construction waste recycling practices: A South East Queensland study: *Waste Management & Research*, 27(2), 167-174, 2009.

VIERA, C.S.; PEREIRA, P.M. Use of recycled construction and demolition materials in geotechnical applications: A review. *Resource, Conservation and Recycling*, 103, p. 192-204, 2015.

WANG, J., *et al.* Considering life-cycle environmental impacts and society's willingness for optimizing construction and demolition waste management fee: An empirical study of China. *Journal of Cleaner Production*, 206, 1004-1014, 2019.

YUAN, H. Barriers and countermeasures for managing construction and demolition waste: a case of Shenzhen in China. *Journal of Cleaner Production*, 157, 84-93, 2017.