

Desempenho de agregados reciclados de concreto no preenchimento de blocos segmentais em muros de solo reforçado com geogrelhas

Performance of recycled concrete aggregates in the filling of segmental blocks in segmental retaining walls reinforced with geogrids

Pablo Augusto dos Santos Rocha¹ , Denise de Carvalho Urashima¹ , Mag Geislielly Alves Guimarães¹ 

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Avenida Amazonas, n. 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte, MG, Brasil.

e-mail: pablo-rocha@hotmail.com, urashima@cefetmg.br, mag@cefetmg.br

RESUMO

A geração de resíduos da construção civil (RCC) e o consumo não racional de agregados naturais (AN) são adversidades enfrentadas no âmbito da Indústria da Construção Civil. Para mitigar este conflito, são investidos esforços, tais como a não geração, a redução, o reuso e a reciclagem, associadas a inserção de produtos não convencionais, como os geossintéticos. A reciclagem e a viabilidade técnica e econômica do emprego de agregados reciclados (AR) tem sido objeto de distintas pesquisas que buscam ampliar a gama de aplicação destes materiais, a fim de atingir aceitação e consolidação no mercado. Na engenharia geotécnica, os AR são empregados em muros de solo reforçado como material de preenchimento de blocos segmentais. Este artigo traz a investigação do emprego de agregados reciclados de concreto (ARCO) como material de preenchimento de blocos segmentais em muros de solo reforçado com geogrelhas (GGR), como proposta de substituição aos AN empregados nesta aplicação. Para tanto, os ARCO e AN na zona granulométrica de 9,5/25 mm (agregados graúdos) foram submetidos a ensaios de caracterização física e ensaios de resistência de conexão sob tensões normais de 40 kN/m², 50 kN/m², 60 kN/m², 80 kN/m² e 100 kN/m², a fim de avaliar o desempenho dos elementos de interface quando submetidos à tração. Após a realização dos ensaios de resistência de conexão em equipamento de grande porte, verificou-se que os ARCO são indicados para o emprego como material de preenchimento de blocos segmentais em muros de solo reforçado com GGR de altura não superior a 5 metros. O aumento das tensões normais contribuiu para a redução mais expressiva das características físicas e do desempenho da resistência de conexão dos ARCO em relação aos resultados ensaios com emprego de AN.

Palavras-chave: Agregados reciclados de concreto; Blocos segmentais; Geogrelha; Resistência de conexão; Muros de solo reforçado.

ABSTRACT

The generation of civil construction waste (CCW) and the non-rational consumption of natural aggregates (NA) are adversities faced within the scope of the Civil Construction Industry. Efforts are invested, such as non-generation, reduction, reuse, and recycling, associated with the insertion of unconventional products, such as geosynthetics. Recycling and the technical and economic feasibility of using recycled aggregates (RA) have been the object of other research that seeks to expand the range of applications of these materials to achieve acceptance and consolidation in the market. In geotechnical engineering, RA can be used in segmental retaining walls (SRW) as filling material for segmental blocks. This article presents the investigation of recycled concrete aggregates (RCA) as filling material for segmental blocks in SRW reinforced with geogrids (GG) as a replacement proposal for the NA used in this application. Therefore, the RCA and NA in the granulometric zone of 9.5/25 mm, were subjected to physical characterization and connection strength tests under normal stresses of 40 kN/m², 50 kN/m², 60 kN/m², 80 kN/m², and 100 kN/m² to evaluate the interface elements' performance when subjected to load tensile. After carrying out the connection resistance tests on large equipment, it was verified that RCA are indicated for filler material for segmental blocks in

SRW with GG with a height not exceeding 5 meters. The increase in normal tensions contributed to a more expressive reduction in the physical characteristics and performance of the connection resistance of the RCA about the test results with the use of NA.

Keywords: Recycled concrete aggregates; Segmental blocks; Geogrid; Connection strength; Segmental retaining walls.

1. INTRODUÇÃO

O aumento crescente da população e a urbanização desordenada, evidenciados pela intensificação das atividades antrópicas, são fenômenos associados ao desenvolvimento da indústria e do mercado de consumo e trazem como consequência imediata constantes transformações dos espaços e ecossistemas. Entre as atuações antrópicas, está o maior consumo de recursos naturais, bem como o aumento significativo do volume de resíduos [1].

A eminente necessidade na quebra de paradigmas que envolvem a interação das atividades humanas com o meio físico-geológico começou a ser discutida de forma sistêmica por líderes mundiais na Conferência da Nações Unidas em 1972, na conhecida Conferência de Estocolmo. Em 2015, a Assembleia Geral das Nações Unidas (AGNU) apresentou a Agenda 2030, documento que traz em seu núcleo dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que deverão ser alcançados até 2030 e tem como pilares o crescimento econômico, inclusão social, e a proteção ambiental. Os ODS possuem metas relacionadas a assuntos como mobilidade urbana, saneamento, gestão de resíduos, gestão sustentável, uso eficiente de recursos energéticos e naturais, bem como redução de resíduos, por meio de práticas como prevenção, redução, reciclagem e reuso [2].

Atividades da Indústria da Construção Civil (ICC) são responsáveis pelo consumo de 20% a 50% de recursos naturais no planeta [3, 4], o que é corroborado pela ICC ter a maior participação entre os setores da economia no que tange ao consumo de AN de areia, rochas e cascalho [5–7]. Além disso, a geração de RCC tem apresentado aumento significativo no volume gerado nos últimos anos [8]. No Brasil, entre os anos de 2010 e 2019, o setor da construção civil apresentou um aumento da produção de resíduos de 12 milhões de toneladas, com produção *per capita* de 213,5 kg/hab/ano [9].

Para mitigar os impactos negativos ocasionados pelo consumo não racional de recursos naturais e pelo aumento da geração de resíduos, ações que integrem o poder público e privado fazem-se necessárias. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), composta por um conjunto de atributos jurídicos e administrativos, busca definir à unidade gestora a responsabilidade da gestão integrada dos resíduos sólidos de modo ambientalmente correto [10]. Em seu Art.7º, aborda os objetivos a serem alcançados, dentre os quais a reciclagem e o incentivo à indústria de reciclagem, com intenção de fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados, atuações relevantes para mitigar problemas relacionados à escassez de recursos naturais e à geração de resíduos. O não cumprimento das legislações vigentes implica em práticas contrárias para reduzir os impactos gerados pela extração de AN concomitante ao descarte inapropriado dos RCC, fatores contrários ao desenvolvimento sustentável e a gestão eficiente da ICC [11].

Pesquisas desenvolvidas no âmbito da ICC buscam inserir os RCC a partir de práticas, com destaque a reciclagem ou a reutilização em suas distintas atividades como materiais agregados a partir de resíduos classificados como classe “A” [12, 13], tais como o uso em argamassas [14–17], em concretos [18–24], e até mesmo como material de base para obras de infraestrutura de pavimentação [25]. No ramo da engenharia geotécnica, estudos que abordam a inserção de RCC têm ganhado notoriedade, tais como o emprego como material de aterro em estruturas de contenção [26–29], camada drenante em aterro de resíduos [30], preenchimento de estruturas de reforço com geossintéticos em rodovias [31, 32], dentre outros.

No que diz respeito as estruturas de contenção, os RCC também podem ser empregados como material de preenchimento de blocos segmentais pré-moldados, utilizados em paramentos de sistemas de contenção de solo reforçado. Esses sistemas, conhecidos como muros de solo reforçado, compreendem uma tipologia construtiva composta tipicamente por material de aterro, blocos segmentais, empregados no paramento (faceamento), e elementos de reforço, materiais metálicos ou geossintéticos, tais como geogrelhas (GGR) e geotêxteis não tecido (GTX-NW), os quais desempenham função análoga a das barras metálicas no concreto armado [33]. Os geossintéticos são produtos produzidos a partir de polímero sintético ou natural, sob a forma de manta, tira ou estrutura tridimensional, e são utilizados em contato com o solo ou outros materiais, em aplicações da engenharia geotécnica e civil [34]. Os reforços geossintéticos são projetados a partir das análises de estabilidade interna e externa da estrutura, com a finalidade de se definir aspectos de projeto, tais como comprimento e espaçamento entre as camadas de reforço, e de estabilidade global. Outros aspectos a serem definido é o desempenho da resistência de conexão dos elementos do paramento (bloco, geossintético e agregados) [35–38] e do material de preenchimento dos blocos como componente do sistema drenante [33, 39], de forma a assegurar a estabilidade local e evitar falhas [40, 41].

Os muros de solo reforçado com geossintéticos são empregados desde contenção de solos em condomínios residenciais até estruturas para encontro de pontes ou mesmo britadores de mineração e é notável o aumento do seu emprego nas últimas décadas. Diversos são os fatores, tais como, por estes sistemas atenderem demandas de aspectos estruturais, estéticos, adequação geométrica, facilidade construtiva, prazo e economia [42–44]. A versatilidade dessas estruturas permite os mais diversos arranjos de projeto, bem como a aplicação em obras de dimensões diversificadas, seja em relação ao comprimento ou a altura. Além disso, o emprego de geossintéticos como solução de reforço é apresentada por KOERNER e SOONG [45] como a menos onerosas e por DAMIANS *et al.* [46] como a solução menos impactante, dentre as categorias de impacto potencial de aquecimento global e demanda cumulativa de energia, quando comparada a estruturas de contenção convencionais.

O artigo apresenta a avaliação do potencial de aplicação de ARCO no preenchimento de blocos segmentais utilizados no paramento de muros de solo reforçado com GGR por meio de campanha experimental. Para isto, foram empregados agregados naturais e reciclados nos ensaios de desempenho de resistência de conexão, realizados em equipamento de grande porte e desenvolvido em acordo com as prescrições da ASTM D6638 [47], bem como ensaios de caracterização física dos agregados intactos e após ensaios de conexão. Os resultados encontrados nos ensaios de resistência de conexão foram tratados estatisticamente e avaliados, e os parâmetros de caracterização física dos agregados foram avaliados por meio do cruzamento das informações obtidas antes e após ensaios de conexão.

2. MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Para a realização dos ensaios de resistência de conexão foram empregados blocos segmentais de concreto, para a montagem de duas linhas de blocos, materiais geossintéticos, na função de reforço e de proteção, e agregados naturais e reciclados, para o preenchimento dos vazios dos blocos segmentais.

Os blocos segmentais de concreto são do modelo MW (Figura 1), nas dimensões nominais de 40 cm, 30 cm e 20 cm, largura, comprimento e altura, respectivamente, autoportantes, com encaixes do tipo macho-fêmea, possuem dois vazios e massas em torno de 27 kg a 30 kg.

Os materiais geossintéticos empregados foram geogrelha (GGR) e geotêxtil não tecido (GTX-NW). Foram empregadas amostras de GGR de dimensões de 1,30 m × 0,68 m, comprimento e largura, respectivamente, na função reforço. A GGR empregada para extração das amostras é do tipo flexível unidirecional de matriz polimérica de álcool polivinílico (PVA), com resistência nominal à tração de 110 kN/m na direção principal (longitudinal) e de 25 kN/m na direção transversal [48] e com abertura nominal da malha de 20 mm e 30 mm, nas direções transversal e longitudinal, respectivamente (dados fornecidos pelo fabricante). O GTX-NW, empregado na função de proteção, é formado de filamentos contínuos interligados mecanicamente, por meio de agulhagem, com matriz polimérica de poliéster (PET), com massa por unidade de área de 600 g/m² [49], resistência à tração faixa larga de 31 kN/m [48] e punção CBR de 5,2 kN/m [50] (dados fornecidos pelo fabricante).

Os AN utilizados nos ensaios de resistência de conexão são oriundos do beneficiamento de rochas de gnaiss comercializados como brita 1, obtidos em comércio varejista local. Os ARCO foram obtidos na mesma dimensão do agregado gráudo, comercializados como brita 1, em usina de reciclagem de resíduos de construção, situada na zona rural da cidade de Varginha, região sul do estado de Minas Gerais. A classificação de ambos os agregados gráudos como brita 1 é empregada comercialmente [51]. No entanto, de acordo com a ABNT NBR



Figura 1: Unidades de blocos segmentais do modelo MW.



Figura 2: Amostras dos agregados empregados no preenchimento dos blocos segmentais.

7211 [52] tais materiais são tratados como agregados graúdos na zona granulométrica de 9,5/25 mm. A Figura 2 ilustra amostras dos agregados empregados na campanha experimental. A metodologia para obtenção desses agregados é abordada no item 2.3.

2.2. Equipamento

Os ensaios de resistência de conexão foram realizados em equipamento de grande porte desenvolvido por URASHIMA e MARTINS [53], conforme preconizações da ASTM D6638 [47]. O equipamento consiste em uma prensa de tração horizontal composta por três sistemas: sistema de aplicação de força horizontal, sistema de aplicação de tensão normal e sistema de leitura, aquisição e armazenamento de dados. A Figura 3, ilustra a desenho esquemático com as principais dimensões da prensa.

O sistema de aplicação de força horizontal é composto pelo conjunto motor trifásico, inversor de frequência, pistão com rosca infinita e garra cilíndrica para a fixação de uma das extremidades da GGR. O motor, com frequência de 1720 RPM e tensão de 220 V, é ligado ao inversor de frequência, com variação de frequência de 0–60 Hz, que além de acionar o motor, controla a sua velocidade e potência. O motor está acoplado a uma das extremidades do pistão com rosca e é acionado pelo inversor de frequência, responsável por permitir o deslocamento do mesmo nas direções horário e anti-horário. Na outra extremidade do pistão está conectada a garra metálica cilíndrica, composta por um cilindro rígido de aço, com um sistema de cunha do tipo macho-fêmea, que permite a fixação da amostra GGR com auxílio de uma barra de aço cilíndrica encaixada na cavidade da cunha e fixada com parafusos. Este sistema garante a fixação da amostra de forma a impedir a soltura ou o escorregamento durante a execução do ensaio. A Figura 4 ilustra os principais componentes do sistema de aplicação de força horizontal.

A aplicação de tensão normal é feita por uma caixa de confinamento, uma bolsa de lona de alta resistência e um tubo cilíndrico. Na caixa, são montadas as fiadas de blocos segmentais as quais recebem a tensão normal por meio da bolsa de lona de alta resistência, com dimensões 40 cm, 75 cm e 20 cm, largura, comprimento e altura, respectivamente. A bolsa é conectada ao tubo cilíndrico de policloreto de vinila (PVC), por uma mangueira que permite a condução de água pressurizada. O tubo cilíndrico possui 120 cm de comprimento e seu diâmetro nominal é igual 50 mm, instalado na posição vertical em cota acima da caixa de confinamento, possui duas entradas, uma localizada na região inferior e a outra na região superior, e uma saída também localizada na

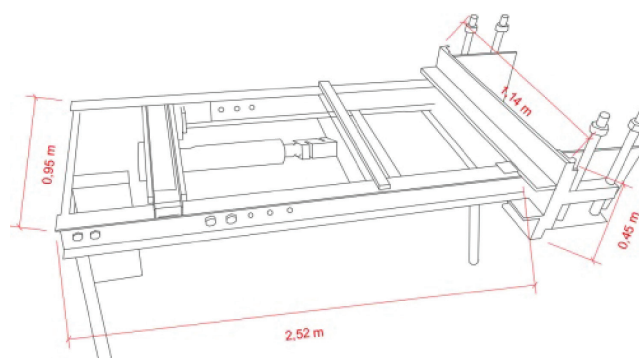


Figura 3: Desenho esquemático com as principais dimensões do equipamento de ensaio de resistência de conexão.

parte inferior do tubo. O monitoramento da pressão é realizado pela leitura de um manômetro instalado na parte inferior do tubo, para aferição de medições relativas à saída da água pressurizada.

De modo a garantir transferência e a distribuição de tensão normal para os blocos durante a execução dos ensaios, é utilizado um anteparo metálico sobre a bolsa, bem como um GTX-NW com a função de proteger a bolsa de lona contra avarias que poderiam ser causadas pelo contato entre a bolsa e os agregados e blocos que constituem o sistema. A Figura 5 apresenta os principais componentes do sistema de aplicação de tensão normal.

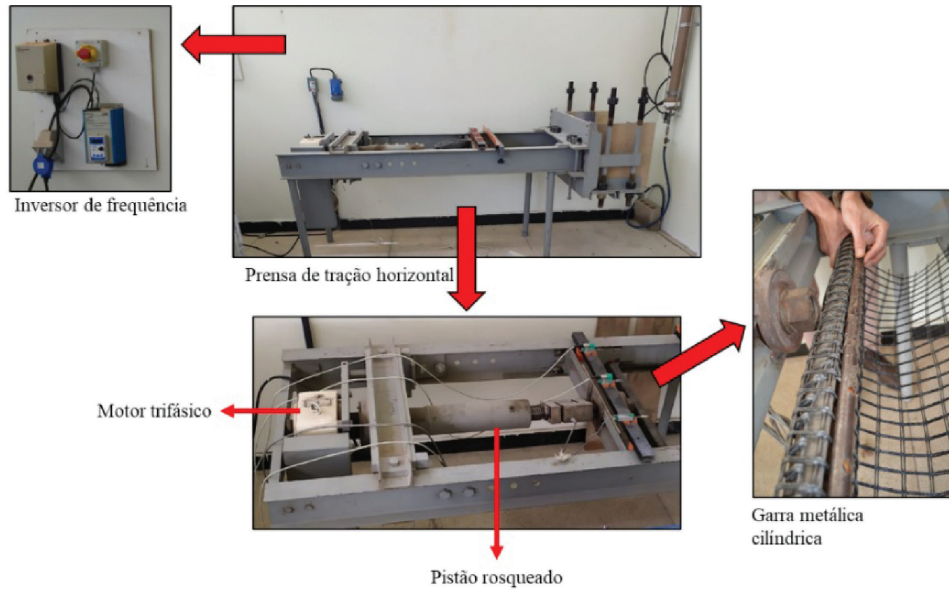


Figura 4: Principais componentes do sistema de aplicação de força horizontal.

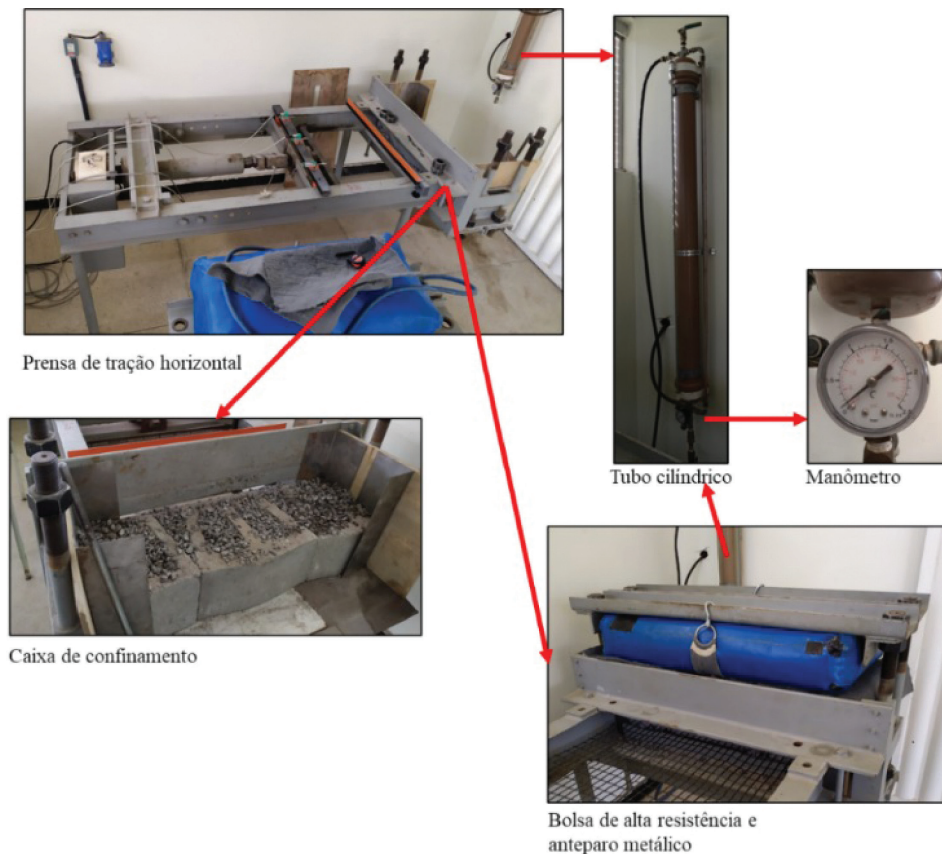


Figura 5: Principais componentes do sistema de aplicação de tensão normal.

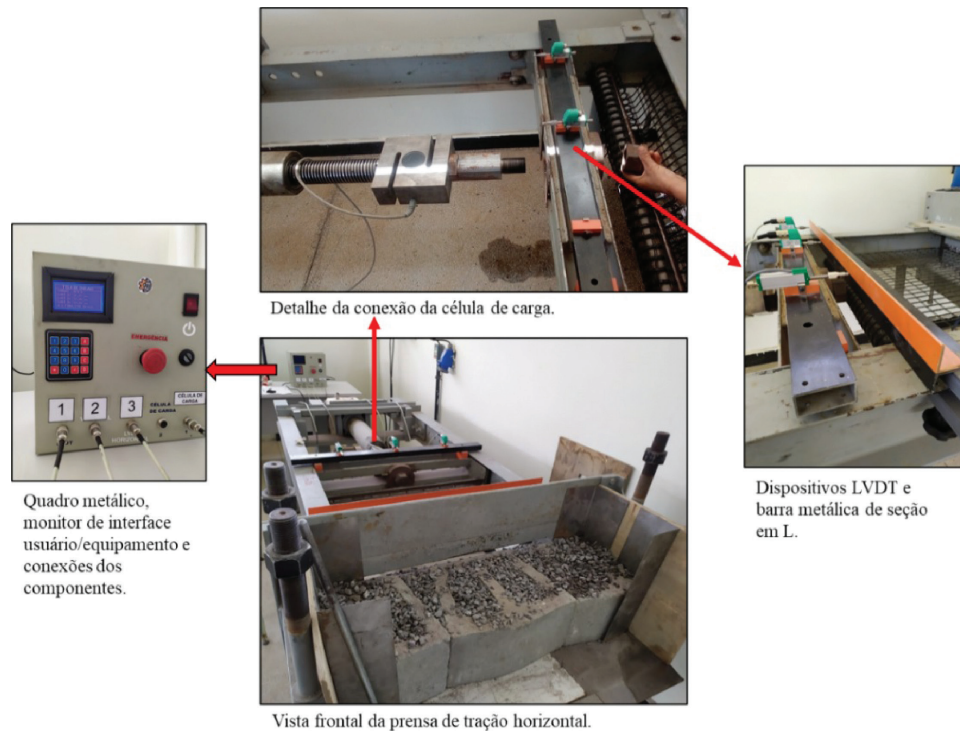


Figura 6: Principais componentes do sistema de leitura, aquisição e armazenamento de dados.

O sistema de leitura, aquisição e armazenamento de dados, é composto por uma célula de carga com capacidade de 20.000 kg, que permite a aquisição de valores de forças em função do tempo, três dispositivos transdutor de deslocamento variável linear – *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*, para a leitura dos deslocamentos em função do tempo e um *software* instalado em um conjunto de componentes de *hardwares* abrigados em um quadro metálico, no qual também são conectados os cabos dos LVDT e da célula de carga. Ao pistão rosqueado é acoplado a célula de carga e a garra metálica cilíndrica, conjunto que viabiliza a leitura da força aplicada na amostra durante a execução do ensaio. Os três dispositivos LVDT são fixados a uma barra metálica de seção retangular, que antecede a garra metálica cilíndrica e que se movimenta conforme a direção do pistão. A barra metálica retangular também tem, como função secundária, indicar o posicionamento necessário para garantir o espaçamento livre da amostra, equivalente a 60 cm medidos a partir da parte posterior da caixa de confinamento em direção a garra metálica cilíndrica.

A leitura dos deslocamentos é realizada com o auxílio de uma barra metálica com seção em L, paralela a garra metálica cilíndrica e fixada nas laterais do equipamento e que serve como marco inicial para as leituras. O *software* possibilita a aquisição e armazenamento dos dados de leitura do ensaio e permite a interação entre o equipamento e o usuário por meio de um monitor e um teclado numérico de comandos. Todas as leituras durante o período do ensaio são armazenadas no cartão do tipo *Secure Digital (SD)*, inserido em uma entrada na lateral do quadro metálico que abriga os componentes de *hardware*. A Figura 6 apresenta os principais componentes do sistema de leitura, aquisição e armazenamento de dados.

Foram utilizadas ferramentas auxiliares para procedimentos inerentes aos ensaios, tais como hastes metálicas para compactação, ferramentas para manuseio e transporte dos materiais e um compressor de ar com motor de 2 HP (*horse-power*), vazão de 8,2 PCM (pés cúbicos por minuto), capacidade do reservatório de 24 litros e pressão de 116 psi (8 bar) (dados fornecidos pelo fabricante) para pressurização da água no tubo cilíndrico.

2.3. Métodos

Os ensaios foram realizados no laboratório de materiais de construção e de geotecnia do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Campus VIII, na cidade de Varginha, Minas Gerais. A Figura 7 ilustra o fluxograma das etapas desenvolvidas na pesquisa.

Os AN e ARCO foram submetidos aos procedimentos de amostragem preconizados na ABNT NBR 16915 [54]. As amostras reduzidas de ambos os agregados foram submetidas aos ensaios de caracterização física de composição granulométrica [55], índice de forma (*I*) [56], densidade determinada na condição seca (ρ_s) e na

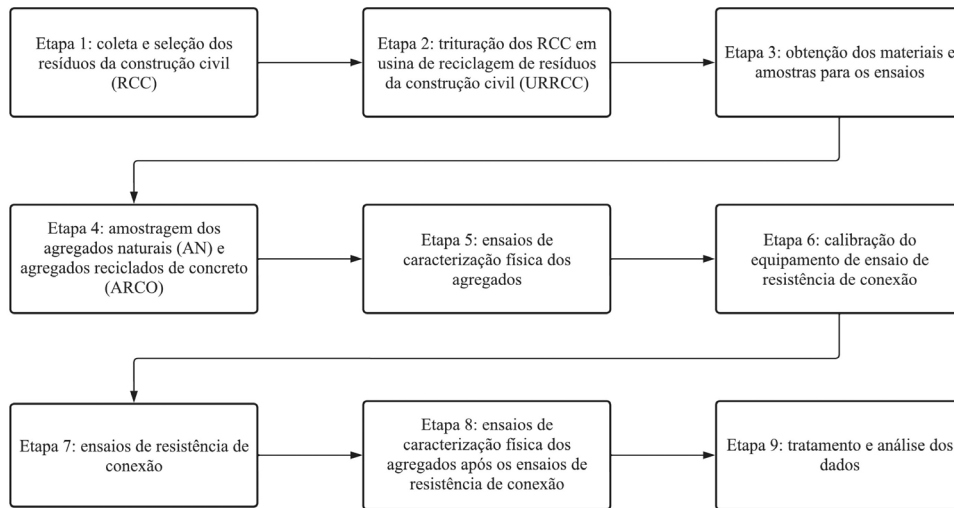


Figura 7: Fluxograma das etapas da pesquisa.

condição saturada de superfície seca (ρ_{sss}), e teor de absorção de água (Abs) [57], massa unitária (ρ_{ap}) [58], teor de material fino (m) [59] e perda por resistência à abrasão (P) [60]. Além dos parâmetros determinados por meio das normas [55–60], também foi determinada a compactidade (c) dos agregados por meio da razão entre a massa unitária (ρ_{ap}) e a densidade determinada sob a condição seca (ρ_s). Relata-se ainda, que os ensaios de determinação da composição granulométrica dos agregados graúdos, atenderam aos procedimentos preconizados na ABNT NBR NM 248 [55], anteriormente vigente.

O equipamento para ensaio de conexão do sistema bloco-geogrelha foi calibrado por meio da realização de ensaio teste. Após esta etapa iniciaram os ensaios de resistência de conexão da campanha experimental. Para tanto, foram avaliadas de forma preliminar questões relativas as condições de contorno do ensaio, ou seja, magnitude da tensão normal, número de ensaios, requisitos para coleta de amostra representativa de ambos os agregados solicitados, bem como os critérios para validação dos resultados.

Quanto à configuração da montagem do ensaio, foi estabelecida duas linhas de blocos segmentais, a primeira, no sentido de baixo para cima, composta por um bloco inteiro ao centro e duas meias partes do bloco nas laterais, e a segunda montada com dois blocos inteiros que sobrepunham a primeira linha e a amostra de GGR. As tensões normais aplicadas por meio da bolsa de lona sobre as linhas de blocos segmentais são nos valores de 40 kN/m², 50 kN/m², 60 kN/m², 80 kN/m² e 100 kN/m², os quais simulam diferentes alturas do sistema de contenção, assim como definidos em função da capacidade de carga do modelo de blocos segmentais empregados na pesquisa e de recomendações da norma ASTM D6638 [47]. A Tabela 1 relaciona a intensidade da tensão normal aplicada com o número de linhas de blocos, a altura relativa do muro projetado e o número de ensaios realizados

Foram realizados três ensaios para cada tensão normal aplicada, exceto para a tensão de 100 kN/m², à qual foram realizados cinco ensaios de resistência de conexão. Esta exceção foi estabelecida para que, após o término dos cinco ensaios, o material granular de preenchimento dos blocos, solicitado e situado na zona de cisalhamento, fosse removido em amostras representativas com quantidade suficiente para posteriores ensaios de caracterização física para análise dos valores antes e após ensaios. A realização dos ensaios de resistência de conexão seguiu os procedimentos apresentados no fluxograma da Figura 8.

Os procedimentos de desmontagem da primeira linha de blocos e lançamento de agregados intactos ocorreram em intervalos de três ensaios de resistência de conexão em função da substituição da tensão normal requerida, exceto para a tensão normal de 100 kN/m², em que tais procedimentos ocorreram após o ensaio de número cinco.

Tabela 1: Relação da tensão normal com número de linhas de blocos, altura do muro e número de ensaios.

Tensão normal (kN/m ²)	40	50	60	80	100
Linhas de blocos	14	18	21	27	34
Altura do muro (m)	2,8	3,6	4,2	5,4	6,8
Número de ensaios	3	3	3	3	5

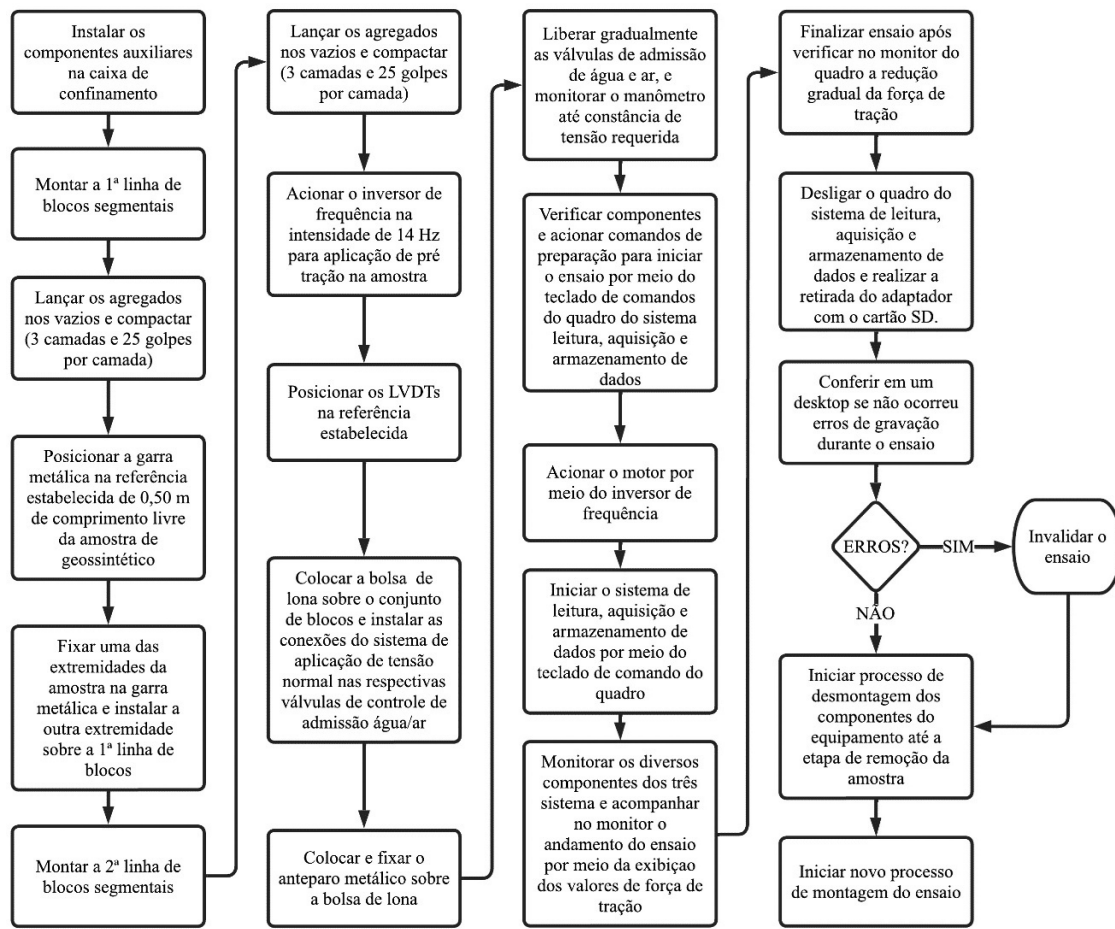


Figura 8: Fluxograma dos procedimentos para realização dos ensaios de resistência de conexão.

Os agregados naturais e reciclados de concreto solicitados foram submetidos a novos ensaios para determinação da composição granulométrica [55], índice de forma (I) [56], da massa unitária (ρ_{ap}) [58], do teor de material fino (m) [59]. A compacidade (c) dos agregados também foi novamente determinada.

O tratamento dos dados consistiu na análise dos valores de resistência de conexão obtidos e dos parâmetros físicos determinados por meio dos ensaios de caracterização. Os resultados dos valores de resistência de conexão foram tratados com a aplicação de medidas de dispersão, tais como média amostral (\bar{x}), desvio padrão (S) e coeficiente de variação (CV), e de medidas descritivas (gráfico diagrama de caixas/*boxplot*). Buscou-se inferir sobre o desempenho de ambos os agregados, quando aplicados como material de preenchimento de blocos segmentais em muros de solo reforçado com esse tipo de paramento, bem como avaliar a interação entre os elementos de interface, bloco, geogrelhas e agregados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Ensaios de caracterização física dos agregados

A Figura 9 apresenta as curvas granulométricas determinadas por meio do ensaio de granulometria de acordo com ABNT NBR NM 248 [55], para os agregados naturais e reciclados de concreto, antes e após os ensaios de resistência de conexão. Por meio da ABNT NBR 7211 [52] que estabelece os limites da composição do agregado graúdo, antes da realização dos ensaios de resistência de conexão, os materiais granulares (AN e ARCO) atenderam aos limites superior (LS) e inferior (LI) de modo a serem tratados como agregados graúdos situados na zona granulométrica de 9,5/25 mm.

As curvas granulométricas das amostras de ambos os agregados apresentaram redução da distribuição granulométrica após os ensaios de resistência de conexão. Tal redução foi visualmente identificada durante a retirada das amostras dos agregados da região de interface, zona de cisalhamento, entre os elementos que compõem o conjunto, assim como BERNARDES *et al.* [36] identificou a maior desagregação dos agregados nessa zona de cisalhamento. De acordo com DOMICIANO *et al.* [61] o aumento da intensidade das solicitações tem como efeito o aumento do teor de finos em agregados reciclados.

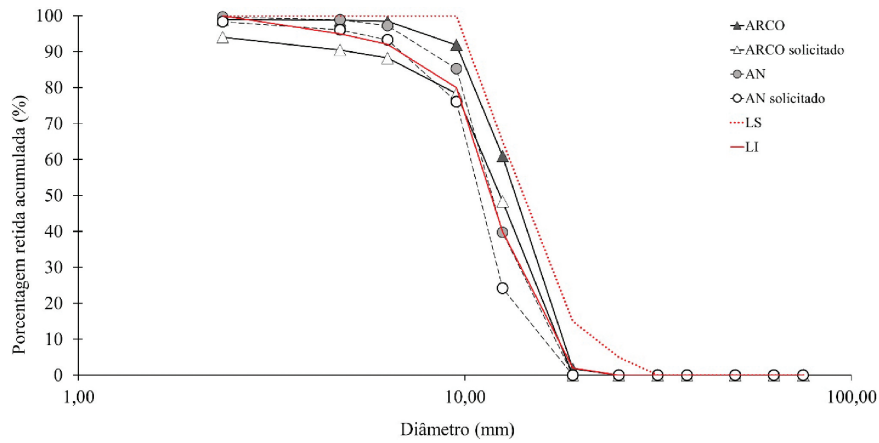


Figura 9: Curvas granulométricas dos agregados naturais e reciclados de concreto intactos e solicitados.

Os valores de módulo de finura (MF) determinados antes e após os ensaios de resistência conexão indicaram uma redução de 2% e 5% para os AN e ARCO, respectivamente. A maior redução no MF após os ensaios de resistência de conexão para os agregados reciclados pode estar relacionada a argamassa aderida encontrada em agregados reciclados e que pode indicar zonas de fragilidade e de baixa resistência ao cisalhamento [37]. A Figura 10 apresenta as amostras dos agregados antes e após os ensaios de resistência de conexão.



(a) Amostras de AN antes (esquerda) e após (direita) os ensaios de resistência de conexão.



(b) Amostras de ARCO antes (esquerda) e após (direita) os ensaios de resistência de conexão.

Figura 10: Amostras dos agregados antes e após os ensaios de resistência de conexão.

Tabela 2: Valores médios de propriedades físicas dos agregados naturais e reciclados de concreto.

PROPRIEDADES FÍSICAS		PROPRIEDADES FÍSICAS DO AGREGADO INTACTO		PROPRIEDADES FÍSICAS DO AGREGADO SOLICITADO		REFERÊNCIA NORMATIVA
		AN	ARCO	AN	ARCO	
Índice de forma	I	2,11	2,55	1,87	2,18	[55]
Densidades	ρ_s (g/cm^3) ¹	2,81	2,21	n/a*	n/a	[56]
	ρ_{ss} (g/cm^3) ²	2,83	2,37	n/a	n/a	
Absorção de água	Abs (%)	0,6	7,2	n/a	n/a	
Massa unitária	ρ_{ap} (kg/m^3) ³	1611	1258	1685	1314	[57]
	ρ_{ap} (kg/m^3) ⁴	1518	1163	1561	1176	
Teor de material fino	m (%)	0,31	4,01	0,62	4,21	[58]
Perda por abrasão Los Angeles	P (%)	43,25	41,35	n/a	n/a	[59]
Compacidade	c (%) ³	57%	57%	60%	59%	n/a
	c (%) ⁴	54%	53%	56%	53%	

*n/a – não se aplica.

¹Densidade determinada sob a condição seca.

²Densidade determinada sob a condição saturada de superfície seca.

³Massa unitária determinada conforme método A.

⁴Massa unitária determinada conforme método C.

Ainda que tenha ocorrido deslocamentos das curvas de distribuição granulométrica e a redução MF dos agregados naturais e reciclados após os ensaios de resistência de conexão, ambos os agregados mantiveram o valor do diâmetro máximo característico (DMC) de 19 mm. Os deslocamentos indicam que ambos os agregados ultrapassaram parcialmente o limite inferior do intervalo de referência que caracteriza o material como agregado graúdo na zona granulométrica de 9,5/25 mm. No entanto, ressalta-se que mesmo ocorrido os deslocamentos, as curvas granulométricas de ambos os agregados atenderam aos limites de referência recomendados pelo *National Concrete Masonry Association* (NCMA) [39].

A Tabela 2 sumariza os parâmetros de caracterização física dos agregados. Os resultados de alguns parâmetros como densidade, absorção de água e teor de material fino apresentaram variações que podem estar associadas a presença de argamassa aderida nos ARCO [8]. As tensões aplicadas nos ensaios de resistência de conexão culminaram na quebra dos materiais granulares (AN e ARCO), com o aumento do teor de material fino (m , %) e diminuição do índice de forma (I). Isto influenciou diretamente nos aumentos de massa unitária (ρ_{ap} , kg/m^3) e respectivas compacidades (c , %).

Para os AN o teor de material fino (m , %) dobrou, no entanto, os teores individuais que compõem as suas amostras, tanto antes, como após os ensaios de resistência de conexão, mantiveram-se menores em relação aos que compõem as amostras dos ARCO. A diminuição do índice de forma (I) foi mais expressiva para os ARCO, em torno de 14,5% em relação ao mesmo parâmetro determinado antes dos ensaios de resistência de conexão. Os aumentos da massa unitária (ρ_{ap} , kg/m^3) e respectivas compacidades (c , %) foram mais expressivas para os AN, visto que, sua densidade determinada sob a condição seca (ρ_s , g/cm^3) é 27% maior em relação ao mesmo parâmetro para os ARCO.

Destacam-se, também, os resultados de perda por abrasão Los Angeles (P , %) próximos entre os agregados analisados, parâmetro relevante em aplicações que envolvem solicitações por desgastes superficiais e emprego como material granular que desempenha a função drenante. Para ambos os agregados o percentual de perda foi menor de 50%, limite este recomendado para aplicação de agregados graúdos como material drenante [62] e para solicitações por desgastes superficiais [52]. No entanto, os teores de material fino (m , %) devem ser avaliados com cautela, visto que podem ocasionar efeitos indesejáveis ao sistema drenante, tais como colmatação e variação da permeabilidade [63] e conseqüentemente no aumento das pressões hidrostáticas.

3.2. Ensaios de resistência de conexão

A Tabela 3 apresenta os valores das resistências de conexão obtidas por meio dos ensaios realizados conforme preconizado pela ASTM D6638 [47].

Tabela 3: Valores de resistência de conexão para os agregados naturais e reciclados de concreto.

NÚMERO DA AMOSTRA	TENSÃO NORMAL (kN/m ²)	AGREGADO NATURAL (AN)	MEDIDA DE POSIÇÃO	MEDIDAS DE DISPERSÃO		AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO (ARCO)	MEDIDA DE POSIÇÃO	MEDIDAS DE DISPERSÃO	
		RESISTÊNCIA DE CONEXÃO (kN/m)	\bar{x} (kN/m)	S	CV (%)	RESISTÊNCIA DE CONEXÃO (KN/m)	\bar{x} (kN/m)	S	CV (%)
1		19,4				24,0			
2	40	20,5	20,4	1,0	4,8	24,8	24,8	0,7	2,9
3		21,4				25,5			
4		24,0				29,6			
5	50	23,8	24,2	0,6	2,7	32,1	31,5	1,7	5,4
6		25,0				32,9			
7		26,3				34,8			
8	60	26,5	27,4	1,8	6,4	36,9	37,1	2,4	6,4
9		29,5				39,5			
10		36,1				39,3			
11	80	36,8	37,7	2,2	5,9	39,7	39,8	0,6	1,5
12		40,2				40,4			
13		45,5				43,2			
14	100	51,1	50,5	4,7	9,3	43,8	44,0	1,0	2,2
15		54,9				45,1			

Os valores de resistência de conexão apresentados na Tabela 3 indicam que os ARCO apresentaram maiores resistências de conexão em relação aos valores obtidos nos ensaios com emprego de AN, com exceção para os resultados obtidos sob aplicação de tensão normal de 100 kN/m². No entanto, observa-se que a dispersão dos dados de resistência de conexão sob aplicação desta tensão normal apresenta maior dispersão com relação aos demais resultados. Isto pode ser observado na Figura 11 que apresenta a representação gráfica dos resultados, por meio do gráfico diagrama de caixas (*boxplot*), dos valores de resistência de conexão de ambos os agregados.

A Figura 12 apresenta os gráficos de força de tração em função do tempo para o ensaio de resistência de conexão para a intensidade de tensão normal, exemplificado para os dados obtidos pela aplicação de 100 kN/m² de tensão normal. As curvas dos ensaios com AN indicam que a maior força de tração (força de pico) foi atingida no intervalo de 3 a 5 minutos do início dos ensaios e para os ensaios com ARCO a força de pico foi atingida entre o intervalo de 4 a 6 minutos do início dos ensaios.

Esse apontamento entre o tempo e a força de pico em relação aos agregados naturais e reciclados de concreto foi evidenciado em todos os ensaios de resistência de conexão e pode estar associado as características físicas, tal como o índice de forma, caracterizado a ambos os agregados o formato lamelar, porém mais expressivo para o agregado reciclado. O formato lamelar configura aos agregados reciclados arestas com maior fragilidade e que quando solicitadas podem ser fraturadas e influenciar no embricamento das partículas [37]. Além do formato das partículas, a presença de argamassa aderida contribuiu para a alta rigidez dos ARCO [64].

Para ambos os agregados, os valores determinados de resistência de conexão em razão da tensão normal aplicada apresentaram comportamento linear (Figura 13). Nos ensaios de resistência de conexão que empregaram AN, foi observado que o coeficiente de determinação (R^2) obtido é mais representativo em relação aos ensaios de resistência de conexão que empregaram o ARCO, com valores em torno de 99% e 90%, respectivamente.

Isto posto, pode-se inferir que o modelo matemático linear adotado explica a variância dos valores de resistência de conexão em relação as tensões normais aplicadas, principalmente para o modelo adotado para os resultados que empregaram o AN como material de preenchimento dos blocos segmentais.

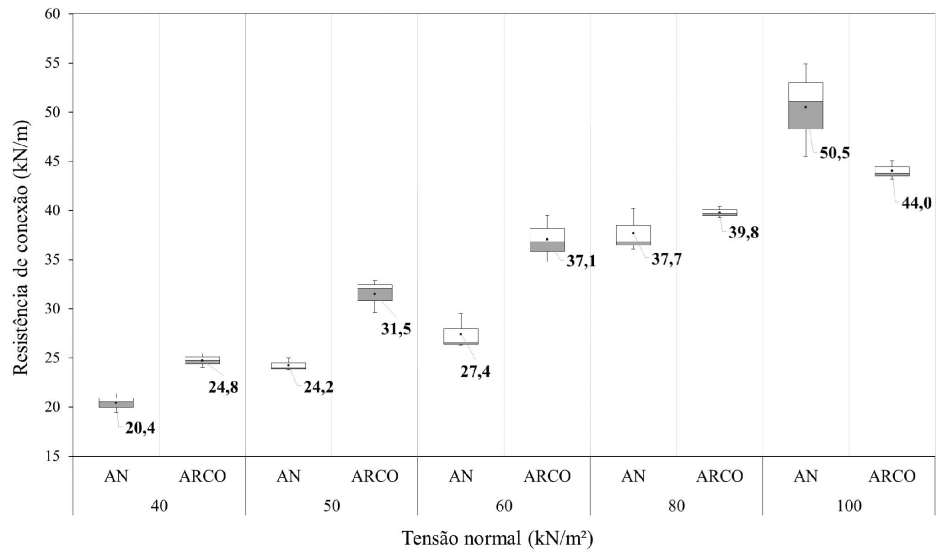
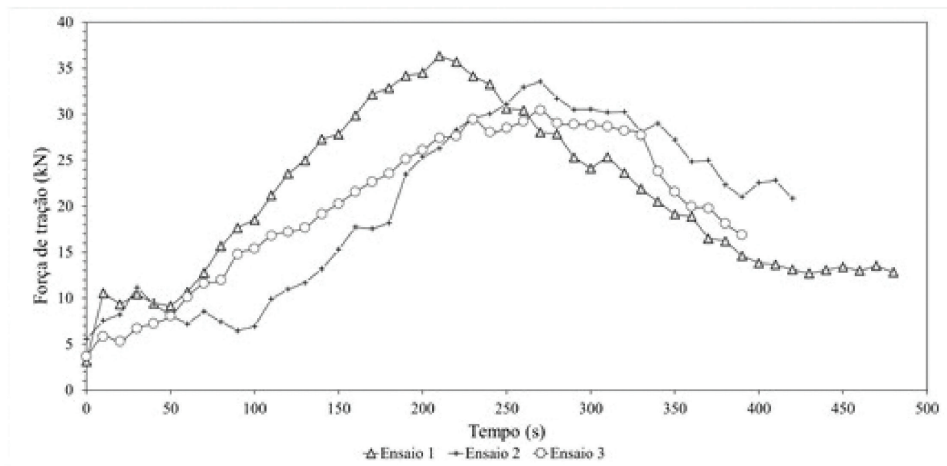
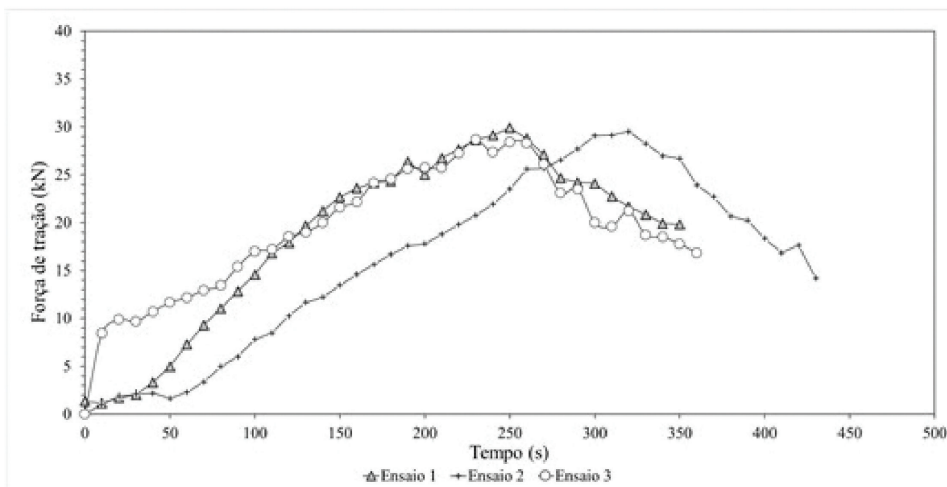


Figura 11: Diagrama de caixas das resistências de conexão de ambos os agregados.

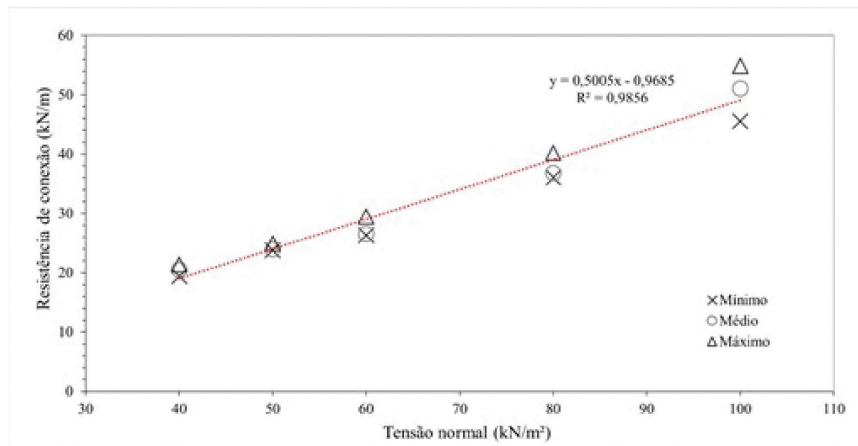


(a) Tensão normal de 100 kN/m² para AN.

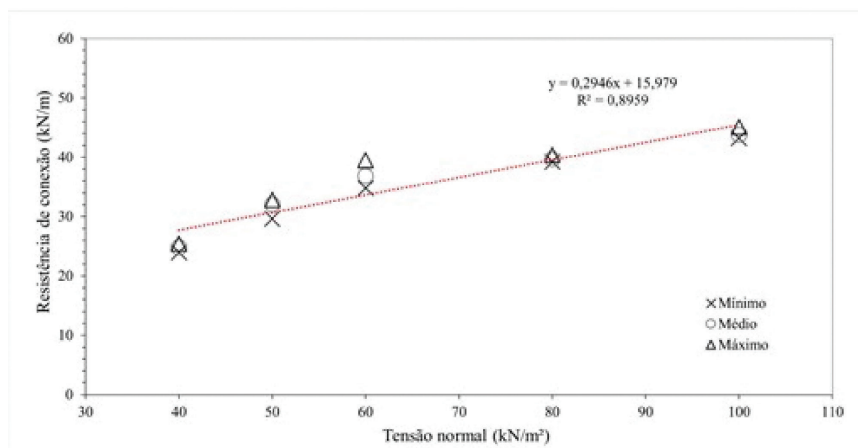


(b) Tensão normal de 100 kN/m² para ARCO.

Figura 12: Forças de tração aplicados por tempo sob tensão normal de 100 kN/m².



(a) Valores de resistência de conexão em função da tensão normal (emprego de AN).



(b) Valores de resistência de conexão em função da tensão normal (emprego de ARCO).

Figura 13: Relação entre os valores de resistência de conexão e a tensão normal.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos ensaios de desempenho de resistência de conexão indicam o potencial de aplicação de ARCO como material de blocos segmentais em muros de solo reforçado com GGR. No entanto, é notável que para muros com alturas superiores a 5 metros não são recomendados. O aumento das tensões normais contribuiu diretamente para alteração das propriedades físicas, tal como composição granulométrica, índice de forma e teor de material fino de modo mais expressivo nos ARCO. Isto pode influenciar nos parâmetros de resistência de conexão e em outros, como no sistema de drenagem, uma vez que ocorre o aumento do teor de finos (m , %) e consequentemente o aumento dos efeitos do empuxo de terra. Demais ensaios complementares são necessários para a referida ponderação.

Quanto a falha local, ocorrem por rompimento externo das GGR na região localizada próxima ao encaixe entre as linhas de blocos segmentais. Contudo, foi observado um escorregamento sutil da GGR para os ensaios de resistência de conexão que empregaram como material de preenchimento os agregados reciclados, principalmente para os ensaios com a tensão normal inferior a 80 kN/m². O escorregamento do reforço pode estar associado a redução do índice de forma, mais expressivo quando comparado ao resultado obtido para os AN.

A redução dos valores das propriedades físicas de densidade na condição seca (ρ_s , g/cm³) e na condição saturada superfície seca (ρ_{ss} , g/cm³) e do teor de absorção (Abs , %) de água dos AN para os ARCO, podem estar associadas ao teor de argamassa aderida, que influencia diretamente nos valores dessas propriedades.

A expansão das possibilidades de inserção de RCC contribui para a aceitação do setor, o que leva a ter consequências positivas e imediatas, tais como a redução dos resíduos, valorização monetária dos produtos fabricados a partir de resíduos, aumento da empregabilidade, consumo racional de AN e mitigação dos impactos ambientais.

O maior conhecimento acerca das características e do desempenho dos ARCO, vêm ao encontro da necessidade de aumentar a confiabilidade e quebra de paradigmas do seu emprego como material nas atividades da ICC. A campanha experimental realizada buscou contribuir para o conhecimento quanto a aplicação de ARCO como material de preenchimento de blocos segmentais em muros de solo reforçado com GGR, a ponto de possibilitar o emprego na engenharia geotécnica e civil, bem como ampliar a gama de alternativas de aplicação de RCC pela busca do desenvolvimento sustentável.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro, Código de Financiamento 001, ao CEFET-MG pelo suporte técnico e as empresas Huesker Ltda e Ecovia Reciclagem de Resíduos da Construção Civil Ltda pelo fornecimento de materiais para o desenvolvimento da pesquisa.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] LANGER, M., NAGALLI, A., “Política Nacional de Resíduos Sólidos: possibilidades para o desenvolvimento de inovação tecnológica”, *Unoesc & Ciência ACET*, v. 8, n. 1, pp. 69–78, 2017.
- [2] PLATAFORMA AGENDA 2030, <http://www.agenda2030.com.br/>, acessado em janeiro de 2021.
- [3] PAZ, D.H.F., LAFAYETTE, K.P.V., “Forecasting of construction and demolition waste in Brazil”, *Waste Management & Research*, v. 34, n. 8, pp. 708–716, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X16644680>. PubMed PMID: 27177555.
- [4] SANTOS, E.C.G., PALMEIRA, E.M., “Estruturas de solo reforçado e resíduos de construção e demolição reciclados”, *Revista Fundações e Obras Geotécnicas*, v. 1, pp. 36–40, 2011.
- [5] DONATO, C.J., SILVA, I.C., ASTOLPHI, J.L.L., et al., “Reciclagem de resíduos da construção civil”, *Colloquium Humanarum*, v. 14, n. esp., pp. 666–670, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.5747/ch.2017.v14.nesp.001008>.
- [6] JOHN, V.M., AGOPYAN, V., “Reciclagem de resíduos da construção”, In: *Anais do Seminário Nacional Sobre Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares*, São Paulo, 2000.
- [7] MACENA, C.L., LEME, M.A.G., “Reciclagem de resíduos sólidos na construção civil”, *Revista Foco: Caderno de Estudos e Pesquisas*, v. 13, pp. 38–53, 2017.
- [8] CENTENO, P.H.M., SALAZAR, R.A.R., URREGO, Y.F.S., et al., “Caracterización física y mecánica de agregados reciclados obtenidos a partir de escombros de la construcción”, *Informador Técnico*, v. 78, n. 2, pp. 121–127, 2014.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2018/2019*, São Paulo, 2020.
- [10] BRASIL, “Lei nº 12.305, em 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências”, *Diário Oficial da União*, Ago. 2010.
- [11] LIU, J., GONG, E., WANG, X., “Economic benefits of construction waste recycling enterprises under tax incentive policies”, *Environmental Science and Pollution Research International*, v. 29, n. 9, pp. 12574–12588, 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-13831-8>. PubMed PMID: 33856632.
- [12] BRASIL, “Resolução nº 307. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil”, *Diário Oficial da União*, 2002.
- [13] BRASIL, “Resolução nº 469. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002”, *Diário Oficial da União*, Brasília, 2015.
- [14] FERREIRA, R., ANJOS, M., MAIA, C., et al., “Long-term analysis of the physical properties of the mixed recycled aggregate and their effect on the properties of mortars”, *Construction & Building Materials*, v. 274, pp. 121796, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121796>.
- [15] MA, Z., SHEN, J., WANG, C., et al., “Characterization of sustainable mortar containing high-quality recycled manufactured sand crushed from recycled coarse aggregate”, *Cement and Concrete Composites*, v. 132, pp. 104629, 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104629>.

- [16] MALTA, J.O., SILVA, V.S., GONÇALVES, J.P., “Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição”, *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 1, n. 2, pp. 176–188, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.17565/gesta.v1i2.7214>.
- [17] PIMENTEL, L.L., PISSOLATO JUNIOR, O., JACINTHO, A.E.P.G.A., et al., “Argamassa com areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil: avaliação de características físicas e mecânicas”, *Matéria*, v. 23, n. 1, e11969, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0305>.
- [18] SILVA, S.E.H., ARNOLD, D.C.M., ORTOLAN, V.K., et al., “Estudo do comportamento físico da substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de arenito Botucatu em concreto estrutural”, *Matéria*, v. 26, n. 4, e13120, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620210004.1320>.
- [19] GOMES, C.L., POGGIALI, F.S.J., AZEVEDO, R.C., “Concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição e adições minerais: uma análise bibliográfica”, *Matéria*, v. 24, n. 2, e12358, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0673>.
- [20] KIM, J., “Properties of recycled aggregate concrete designed with equivalent mortar volume mix design”, *Construction & Building Materials*, v. 301, pp. 124091, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124091>.
- [21] MEDINA, C., SÁNCHEZ DE ROJAS, M.I., FRÍAS, M., “Freeze-thaw durability of recycled concrete containing ceramic aggregate”, *Journal of Cleaner Production*, v. 40, pp. 151–160, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.042>.
- [22] SILVA, R.V., DE BRITO, J., DHIR, R.K., “Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production”, *Construction & Building Materials*, v. 65, pp. 201–217, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117>.
- [23] VIANA NETO, L.A.C., SALES, A.T.C., SALES, L.C., “Efeitos da variabilidade de agregados de RCD sobre o desempenho mecânico do concreto de cimento Portland”, *Matéria*, v. 23, n. 1, e11958, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0294>.
- [24] WANG, X., LIU, B., ZHANG, C., “Seismic behavior of recycled aggregate concrete beams under cyclic torsion”, *Construction & Building Materials*, v. 129, pp. 193–203, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.101>.
- [25] CASTRO, C.E.N., SILVA, R.R.F., SANTOS, L.F., et al., “Comportamento mecânico de solo argiloso estabilizado com resíduo de vidro pulverizado em moinho de alta energia e de bolas”, *Matéria*, v. 24, n. 2, e12356, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0671>.
- [26] FLEURY, M.P., SANTOS, E.C.G., SILVA, J.L., et al., “Geogrid installation damage caused by recycled construction and demolition waste”, *Geosynthetics International*, v. 26, n. 6, pp. 641–656, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1680/jgein.19.00050>.
- [27] SANTOS, E.C.G., BUENO, B.S., PALMEIRA, E.M., “Fatores de redução de resistência de geossintéticos em estruturas de solo reforçado construídas com resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R)”, In: *Anais do VII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental e VI Simpósio Brasileiro de Geossintéticos REGEO*, Belo Horizonte, 2011.
- [28] SANTOS, E.C.G., PALMEIRA, E.M., BATHURST, R.J., “Behaviour of a geogrid reinforced wall built with recycled construction and demolition waste backfill on a collapsible foundation”, *Geotextiles and Geomembranes*, v. 39, pp. 9–19, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2013.07.002>.
- [29] VIEIRA, C.S., FERREIRA, F.B., PEREIRA, P.M., et al., “Pullout behaviour of geosynthetics in a recycled construction and demolition material: effects of cyclic loading”, *Transportation Geotechnics*, v. 23, pp. 100346, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100346>.
- [30] RODRIGUES, G.M., ROQUE, A.J., SILVA, A.P.F., “Estudo da durabilidade de RCD e do ASIC para aplicação na camada de drenagem e recolha dos lixiviados em aterros de resíduos”, *Geotecnia*, v. 132, n. 132, pp. 41–67, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.24849/j.geot.2014.132.04>.
- [31] BARBOSA, K.R.M., SANTOS, E.C., GUSMÃO, A.D., “Geogrid mechanical damage caused by recycled construction and demolition waste (RCDW) under in-field cyclic loading”, *Soils and Rocks*, v. 44, n. 2, e2021056520, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.28927/SR.2021.056520>.
- [32] VIEIRA, C.S., “Valorization of fine-grain Construction and Demolition (C&D) waste in geosynthetic reinforced structures”, *Waste and Biomass Valorization*, v. 11, n. 4, pp. 1615–1626, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-018-0480-x>.
- [33] ELIAS, V., CHRISTOPHER, B.R., BERG, R.R., *Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes: design and construction guidelines*, Geotechnical Engineering, n. FHWA-NHI-00-043, p. 394, 2001.

- [34] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR ISO 10318-1: geossintéticos: parte 1: termos e definições, Rio de Janeiro, ABNT, 2021.
- [35] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 16920-1: muros e taludes de solo reforçados: parte 1: solos reforçado em aterros, Rio de Janeiro, ABNT, 2021.
- [36] BERNARDES, G.P., BARRANCO, T., MACUCO, F., et al., “Influência da granulometria do material de preenchimento no comportamento mecânico de conexão de sistema blocos segmentais geogrelha”, In: Anais do XIV COBRAMSEG – Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Búzios, 2008.
- [37] BHUIYAN, M.Z.I., ALI, F.H., SALMAN, F.A., “Application of recycled concrete aggregates as alternative granular infills in hollow segmental block systems”, *Soil and Foundation*, v. 55, n. 2, pp. 296–303, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sandf.2015.02.006>.
- [38] URASHIMA, D.C., BERNARDES, G.P., SILVA, A.E.F., et al., “Ensaio de laboratório de conexão blocos-geogrelhas em estruturas tipo muros segmentais”, In: Anais do III Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Curitiba, 2006.
- [39] NATIONAL CONCRETE MASONRY ASSOCIATION, Design manual for segmental retaining walls, 3 ed., NCMA, nº. TR 127B, 2012.
- [40] COLLIN, J., “Lessons learned from a segmental retaining wall failure”, *Geotextiles and Geomembranes*, v. 19, n. 7, pp. 445–454, 2001. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0266-1144\(01\)00016-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0266-1144(01)00016-4).
- [41] KOERNER, R.M., KOERNER, G.R., “An extended data base and recommendations regarding 320 failed geosynthetic reinforced mechanically stabilized earth (MSE) walls”, *Geotextiles and Geomembranes*, v. 46, n. 6, pp. 904–912, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotextmem.2018.07.013>.
- [42] CHRISTOPHER, B.R., “Cost savings by using geosynthetics in the construction of civil work projects”, In: Proceedings of the 10th International Conference on Geosynthetics, 10 ICG, Berlin, 2014.
- [43] DIXON, N., FOWMES, G., FROST, M., “Global challenges, geosynthetic solutions and counting carbon”, *Geosynthetics International*, v. 24, n. 5, pp. 451–464, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1680/jgein.17.00014>.
- [44] GOULART, J.M.H., PORTELINHA, F.H.M., AVESANI NETO, J.O., “Processo construtivo de estrutura de contenção feita com solo local reforçado com geossintético e face drenante”, In: Anais do 1º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos – TECSIC, Campinas, 2017.
- [45] KOERNER, R.M., SOONG, T.-Y., “Geosynthetic reinforced segmental retaining walls”, *Geotextiles and Geomembranes*, v. 19, n. 6, pp. 359–386, 2001. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0266-1144\(01\)00012-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0266-1144(01)00012-7).
- [46] DAMIANS, I.P., BATHURST, R.J., ADROGUER, E.G., et al., “Environmental assessment of earth retaining wall structures”, *ICE Environmental Geotechnics*, v. 4, n. 6, pp. 415–431, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1680/jenge.15.00040>.
- [47] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM D6638-18: Standard Test Method for Determining Connection Strength Between Geosynthetic Reinforcement and Segmental Concrete Units (Modular Concrete Blocks), West Conshohocken, ASTM, 2018.
- [48] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR ISO 10319: geossintéticos: ensaio de tração faixa larga, Rio de Janeiro, ABNT 2013.
- [49] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR ISO 9864: geossintéticos: método de ensaio para determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos, Rio de Janeiro, ABNT, 2013.
- [50] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR ISO 12236: geossintéticos: ensaio de punção estático (punção CBR), Rio de Janeiro, ABNT, 2013.
- [51] BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Relatório técnico 30: perfil de brita para construção civil, Brasília, 2009.
- [52] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 7211: agregados para concreto: especificação, Rio de Janeiro, ABNT, 2022.
- [53] URASHIMA, D.C., MARTINS, C.H., “Ensaio para determinação dos parâmetros de interface bloco-geogrelha em estruturas de contenção de taludes por blocos intertravados”, In: Anais da XXXI Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural, Mendoza, 2004.
- [54] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 16915: agregados: amostragem, Rio de Janeiro, ABNT, 2021.

- [55] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR NM 248: agregados: determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, ABNT, 2003.
- [56] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 7809: agregado graúdo: determinação do índice de forma pelo método do paquímetro: método de ensaio, Rio de Janeiro, ABNT, 2019.
- [57] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 16917: agregado graúdo: determinação da densidade e da absorção de água, Rio de Janeiro, ABNT, 2021.
- [58] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 16972: agregados: determinação da massa unitária e do índice de vazios, Rio de Janeiro, ABNT, 2021.
- [59] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 16973: agregados: determinação do material fino que passa pela peneira de 75 μm por lavagem, Rio de Janeiro, ABNT, 2021.
- [60] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 16974: agregado graúdo: ensaio de abrasão Los Angeles, Rio de Janeiro, ABNT, 2022.
- [61] DOMICIANO, M.L., SANTOS, E.C.G., LINS DA SILVA, J., “Geogrid mechanical damage caused by Recycled Construction and Demolition Waste (RCDW): influence of grain size distribution”, *Soils and Rocks*, v. 43, n. 2, pp. 231–246, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.28927/SR.432231>.
- [62] GEORIO, Manual técnico de encostas: muros, 2 ed., Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, v. 3, 2000.
- [63] ARAÚJO, B.M., MARTINS, C.P., FERREIRA, G.S., “Estudo do resíduo de construção civil para uso em drenagem profunda”, In: *Anais do 5^a Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro Oeste – GEOCENTRO*, Brasília, 2019.
- [64] TATSUOKA, F., TOMITA, Y.I., IGUCHI, Y., et al., “Strength and stiffness of compacted crushed concrete aggregate”, *Soil and Foundation*, v. 53, n. 6, pp. 835–852, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sandf.2013.10.003>