

Influência do uso da areia natural no índice de consistência e resistência à compressão de compósitos cimentícios produzidos com CP-V e CP-III

Influence of natural sand in consistency and compressive strength of cementitious composites produced with CP-V and CP-III

Vinícius Theiss Provatti, estudante de graduação em Engenharia Civil, UFMG

viniciusprovatti@ufmg.br

Juliana Jianhuan Li, estudante de graduação em Engenharia Civil, UFMG

julianajli@ufmg.br

Thiago Ewerton Cobra de Castro, estudante de graduação em Engenharia Civil, UFMG

thiagoeccastro@ufmg.br

Fernando C.R. Almeida, professor adjunto do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, UFMG

fernando@demc.ufmg.br

Resumo

A alta demanda de produção do concreto gera preocupações sobre a escassez regional de agregados como a areia. As características resistentes da areia dependem diretamente do local de origem. Este artigo avalia a influência do uso de areia natural (em comparação à areia normalizada brasileira) nas propriedades do estado fresco e endurecido de compósitos cimentícios empregando dois tipos de cimento Portland, CP-V e CP-III. Os resultados mostraram que o índice de consistência é menor para argamassas com areia natural e CP-V. Apesar de estatisticamente equivalentes, os valores absolutos de resistência à compressão aos 28 dias de argamassas com areia natural parecem ser similares ou ligeiramente superiores àqueles medidos para argamassas com areia normal brasileira. Isso pode estar relacionado com a maior presença de partículas finas, tanto na areia natural quanto no cimento CP-V. Portanto, salienta-se a importância do entendimento adequado de cada material na trabalhabilidade e desempenho mecânico do concreto.

Palavras-chave: Areia natural; Cimento Portland; Compressão

Abstract

The high demand for concrete production raises concerns about regional shortages of aggregates such as sand. The strength characteristics of sand depend directly on its origin. This article evaluates the influence of using natural sand (compared to standardized Brazilian sand) on the properties of fresh and hardened state of cementitious composites employing two types of Portland cement, CP-V and CP-III. The results show that the consistency index is lower for mortars with natural sand and CP-V. Although statistically equivalent, the absolute values of compressive strength at 28 days for mortars with natural sand appear to be similar or slightly higher than those measured for mortars with Brazilian standardized sand. This may be related to the higher presence of fine particles, both in natural sand and in CP-V cement. Therefore, the importance of proper understanding of each material in the workability and mechanical performance of concrete is emphasized.

Keywords: Natural sand; Portland cement; compressive strength

1. Introdução

Em 2021, a indústria da construção civil gerou R\$377,8 bilhões em valor de incorporações, obras e serviços, e empregou cerca de 2,5 milhões de pessoas, correspondendo a 5,86% do total dos trabalhos formais no país [1]. A pesquisa anual da Indústria da Construção (PAIC) de 2021, publicada em 2023[2], destacou a construção de edifícios como a principal atividade do setor, representando 44,6% do valor total gerado (R\$ 168,6 bilhões) e contando com o maior número de pessoas ocupadas (807,7 mil); seguida pelas obras de infraestrutura, que contribuíram com R\$ 122,4 bilhões.

É evidente que o concreto é o principal material utilizado na realização dessas construções. Com o índice de consumo atual estimado em cerca de 11 bilhões de toneladas/ano, suas amplas aplicações se justificam pela excelente resistência e durabilidade, adequação em diferentes formas, e baixo custo [3]. O concreto é um material compósito constituído por cimento, agregado gráudo, agregado miúdo, e água, podendo conter aditivos. O cimento Portland, composto principalmente por silicatos e aluminatos de cálcio, é o principal aglomerante hidráulico utilizado na produção de concretos [5]. Ele é obtido pela calcinação de nódulos de calcário argiloso, seguido pelo processo de queima na temperatura de clínquerização, e subsequente moagem. Durante esse processo, são geradas cerca de 36% dos 7,7 bilhões de toneladas de CO₂, principal gás do efeito estufa (GEE), liberadas pelas atividades de construção [6]. As emissões de GEE equivalem a aproximadamente 0,31 kg de CO₂ por kg de cimento fabricado, sendo a etapa de calcinação na produção de clínquer a principal fonte geradora, devido aos processos de combustão e decomposição da rocha calcária [7].

Perante essa situação, existem estudos que buscam novas fontes de materiais cimentícios suplementares para desenvolver cimentos com baixo teor de clínquer, a fim de reduzir as emissões de GEEs e melhorar a sustentabilidade do setor construtivo [8][9]. Tais ações se inserem no escopo do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, Iniciativa de Construção Sustentável e Clima [10]. O uso de escória de alto forno, um subproduto da produção de ferro gusa, tem sido amplamente estudado como um dos principais materiais cimentícios suplementares para substituir parcialmente o cimento Portland (CP) na produção de concretos e argamassas [11][8][9]. No Brasil, o Cimento Portland de Alto-Forno (CP III), com teores de escória entre 35% e 75%, se apresenta como uma alternativa mais ecoeficiente a cimentos com elevados teores de clínquer (acima de 90%), como o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V), de acordo com a NBR 16697:2018 [12].

Além disso, a areia natural pode ser classificada como agregado miúdo com partículas menores que 4,75mm e maiores que 150µm, de acordo com a NBR 7211:2022 [13]. Ela pode ser obtida a partir da desintegração natural ou britagem de rochas, o que causa impacto ambiental significativo na indústria da construção civil. Para satisfazer a demanda de produção de concreto, estima-se que são necessários cerca de 17,5 bilhões de toneladas de agregados, o que leva a preocupações sobre a escassez regional de matérias primas [6]. Entre 1900 e 2000, a demanda por brita, areia e cascalho nos EUA representou cerca de 75% de todas as outras matérias-primas usadas por atividades humanas [14]. Embora os agregados naturais sejam abundantes na Terra, o transporte por longas distâncias é evitado devido ao custo econômico associado. Isso aumenta a pressão local por areia natural e agregados gráudos próximos a áreas urbanas, embora os altos custos e as rigorosas regulamentações ambientais frequentemente empurrem essas atividades para locais mais distantes. Em contrapartida, em países com regulamentações ambientais menos restritas ou pouca fiscalização, a extração não controlada de agregados pode causar danos aos ecossistemas e à biodiversidade [15]. Por exemplo, no

relatório de 2022 do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente revela que a extração de areia dos rios tem causado o aumento da poluição e das inundações, além da diminuição de aquíferos e do agravamento da seca [10]. Adicionalmente, as características resistentes da areia dependem diretamente da jazida em que é retirada, gerando grande variabilidade de acordo com o local de origem.

Embora o concreto seja o material de construção civil mais utilizado no mundo, os compósitos cimentícios apresentam uma notável heterogeneidade, o que dificulta a padronização de comportamentos frente aos diferentes materiais disponíveis no mercado. Por conseguinte, o entendimento adequado da influência de cada material, sobretudo em relação aos tipos de cimento e areia, na trabalhabilidade e desempenho mecânico do concreto ainda é deficiente e passível de investigações. Portanto, este artigo busca avaliar a influência do uso de areia natural (em comparação à areia normalizada brasileira) no índice de consistência e na resistência à compressão de compósitos cimentícios empregando diferentes tipos de cimento Portland, especificamente CP-V e CP-III.

2. Metodologia

2.1. Materiais

Para a produção das argamassas cimentícias, foram utilizados dois tipos de ligantes: cimento Portland de Alto forno resistente a sulfatos (CP III-32-RS) e o cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI), conforme Tabela 1.

Tabela 1: Características dos cimentos Portland utilizados

Propriedade	CP III-32 RS	CP V-ARI
Teor de escória de alto forno (%)	35-75	0
Massa específica (g/cm ³)	2,95	2,97
Área específica (Blaine) (cm ² /g)	3.503	4.888
Início de pega (min)	221	143
Fim de pega (min)	262	179
Resistência à compressão (7 dias)	20,8	41,2
Resistência à compressão (28 dias)	36,5	n/a

Fonte: fabricantes

Também foram utilizados dois tipos de agregado miúdo secos: areia natural fina quartzosa, e areia normal brasileira (fornecida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas- IPT). A Figura 1 apresenta as curvas granulométricas das areias utilizadas e classificadas na zona ótima, conforme NBR 7211 (ABNT, 2019) [13].

A fim de se obter uma consistência plástica das argamassas, foi utilizado um aditivo superplastificante *PowerFlow 4000 MC* (MC Bauchemie).

2.2. Métodos

A moldagem dos corpos de prova foi realizada seguindo a norma europeia EN 196-1[16], bem como as avaliações no estado fresco e endurecido das argamassas. O uso de normalização internacional se justifica por esse estudo estar inserido dentro do escopo de uma pesquisa liderada pelo Comité Técnico da RILEM (*The International Union of Laboratories and Experts*

in Construction Materials, Systems and Structures), TC – PHC: Performance testing of Hydraulic Cements.

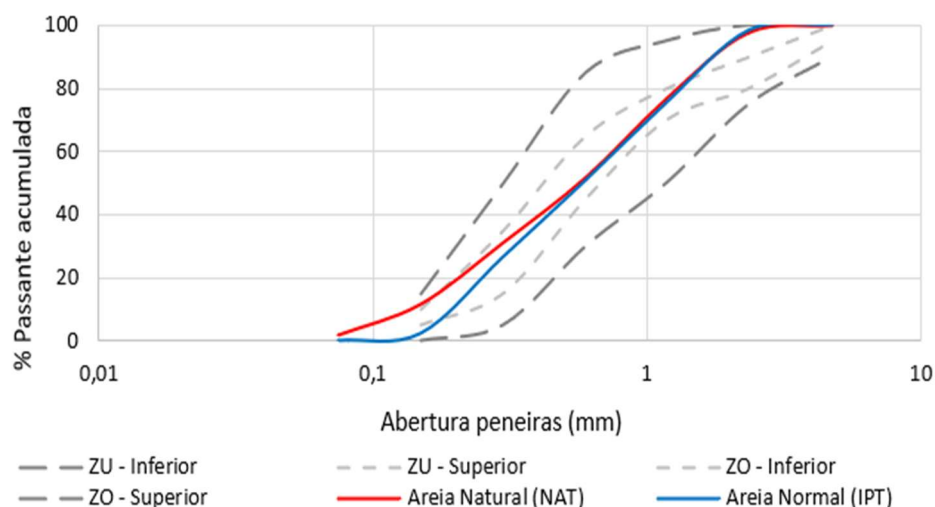


Figura 1: Curvas granulométricas dos agregados miúdos utilizados. Fonte: elaborado pelos autores.

2.2.1. Produção das argamassas

Foram preparados 4 tipos de argamassas, com traço, em massa, de 1:3:0,5 (cimento: areia :água). Aditivo superplastificante foi adicionado para se obter uma consistência plástica acima de 175 mm no ensaio de *Flow Table*, conforme EN 1015-3 (BSI, 1999) [17]. A quantidade de materiais necessários para a moldagem de três corpos de prova prismáticos 40x40x160 mm³ é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Quantidade de materiais para o traço: 1 : 3 : 0,5 (cimento : areia : água)

Amostra	Característica	Cimento (g)	Areia (g)	Água (g)	Aditivo (g)
NBR-CPV	Areia normal Cimento CP V	450	337,5 (#16)	225	1,61
			337,5 (#30)		
			337,5 (#50)		
			337,5 (#100)		
NBR-CPIII	Areia normal Cimento CP III	450	337,5 (#16)	225	1,61
			337,5 (#30)		
			337,5 (#50)		
			337,5 (#100)		
NAT-CPV	Areia natural Cimento CP V	450	1.350	225	4,5
NAT-CPIII	Areia natural Cimento CP III	450	1.350	225	4,5

*Nota: a areia normal brasileira (IPT) é constituída de 337,5 g de frações iguais de areia grossa (#16), média grossa (#30), média fina (#50) e fina (#100).

Fonte: Autores.

As argamassas foram preparadas em argamassadeira mecânica e moldadas em formas prismáticas, previamente untadas com óleo desmoldante. Foram dispostas 2 camadas de argamassa, vibrando na mesa vibratória no intervalo entre cada camada, cobertas com plástico filme e armazenadas na câmara úmida (UR = 95% ± 5%, e T = 21 ± 2 °C) por 24h. Em seguida,

as amostras foram desmoldadas e acomodadas novamente na câmara úmida pelos tempos de cura de 1, 2, 7 e 28 dias.

2.2.2. Ensaio de índice de consistência

Logo após a mistura dos materiais, o índice de consistência foi avaliado para as argamassas no estado fresco com e sem aditivo superplastificante. Para isso, realizou-se o teste de *Flow Table*, conforme EN 1015-3 (BSI, 1999) [18]. Preencheu-se um tronco cônico com 3 camadas de argamassa de igual espessura e compactadas manualmente com 5, 10, 15 golpes, respectivamente. Após 30 golpes na mesa de consistência, foram medidos três diâmetros para cada amostra espalhada.

2.2.3. Ensaio de resistência à compressão

No final do período de cura (1, 2, 7 e 28 dias), os corpos de prova de argamassa prismáticos foram serrados em uma serra *Clipper* de bancada em 4 corpos de prova cúbicos idênticos de 40mm de aresta, totalizando 16 corpos de prova por ensaio. Em uma prensa servo eletrônica (*Shimadzu, Autograph AGS-X*), os corpos de prova de dimensões 40x40x40mm foram submetidos a um ensaio de compressão simples a uma velocidade de 0,45MPa/s.

3. Resultados e discussão

Os resultados de consistência das argamassas são apresentados na Figura 2.

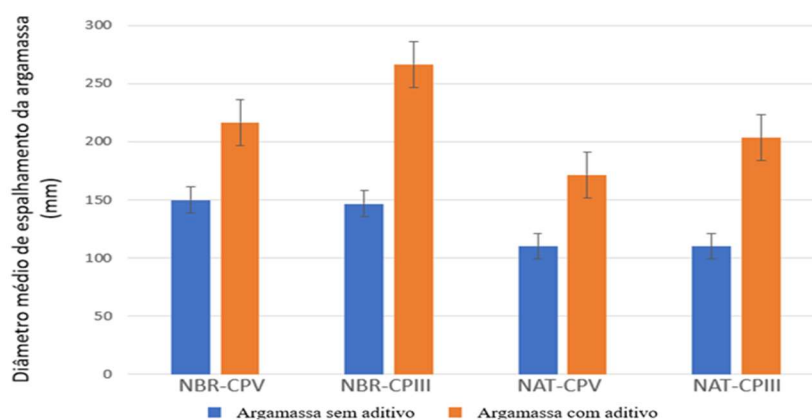


Figura 2: Resultados de consistência das argamassas com e sem aditivo. Fonte: elaborado pelos autores

Pode-se verificar que os diâmetros médios medidos para as argamassas (Figura 3) sem aditivo foram consideravelmente menores (cerca de 85 mm) e, portanto, apresentaram índices de consistência menores. Em geral, argamassas feitas com areia normalizada IPT apresentaram espalhamentos maiores e, portanto, maior fluidez em comparação aos traços com areia natural. Isso pode ser justificado pela maior presença de finos na areia natural (Figura 1), o que levou a uma maior adsorção de água e uma quantidade maior de aditivo superplastificante, diminuindo a fluidez da argamassa fresca.

Além disso, notou-se uma ligeira influência da finura dos cimentos utilizados apenas nas amostras com aditivos. Para as argamassas com CP V (utilizando o mesmo tipo de areia), verificou-se uma redução no valor do espalhamento em comparação à respectiva amostra com

CP III. Isso porque o CP V apresenta maior finura, conforme Tabela 1. Dessa forma, a argamassa com menor índice de consistência foi aquela produzida com areia natural e CP V, mesmo com aditivo superplastificante.

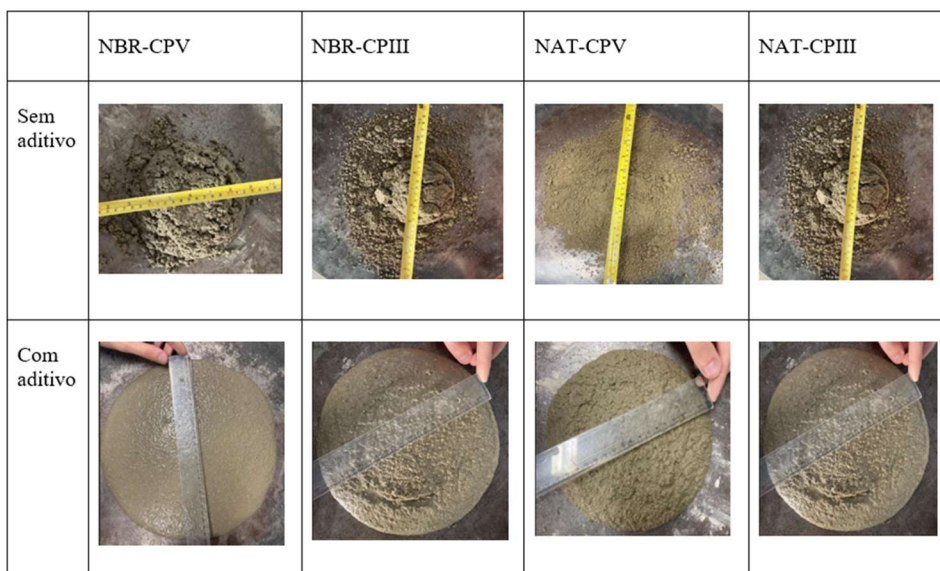


Figura 3: Espalhamento das argamassas na *flow table* após o teste de índice de consistência. Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 4 apresenta os resultados de resistência à compressão das argamassas com areia normal brasileira e areia natural até os 28 dias de idade. As amostras foram moldadas com aditivo superplastificante.

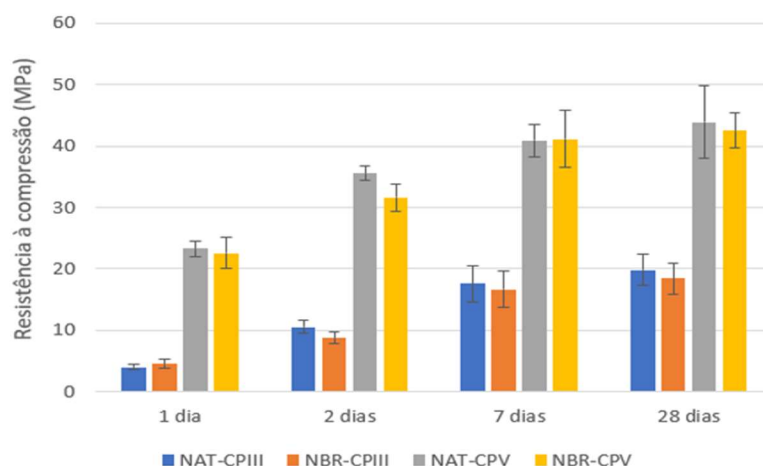


Figura 4: Resultados de resistência à compressão das argamassas. Fonte: elaborado pelos autores

As maiores diferenças entre os valores de resistência se deram nos diferentes cimentos. Como esperado, argamassas com CP V ARI tiveram as maiores resistências à compressão, devido à sua maior finura e maior teor de clínquer em sua composição. O cimento CP III apresenta reações mais lentas para ativação e hidratação dos altos teores de escória granulada de alto forno. Aos 28 dias, as amostras com CP V apresentaram valores de resistência 32,30% maiores do que as com CP III. Além disso, as argamassas com CP V tiveram uma certa

estabilização dos valores de resistência entre as idades de 7 e 28 dias, enquanto aquelas com CP III continuaram a crescer em todas as idades.

Apesar das barras de erros mostrarem resultados similares entre as argamassas com diferentes areias, pode-se verificar uma ligeira tendência da argamassa com areia natural em apresentar valores absolutos maiores de resistência à compressão dos compósitos. Esse aumento médio observado foi aproximadamente de 9,19 %. Isso é atribuído às partículas finas contidas na areia natural, que possibilitaram uma argamassa com melhor empacotamento e, conseqüentemente, uma resistência relativamente maior.

4. Conclusão

A pesquisa com argamassas feitas com cimento CP V e CP III e areias normal e natural, teve como propósito verificar a influência tanto na consistência quanto na resistência à compressão para os diferentes traços. Para o ensaio de consistência, as argamassa com areia normal brasileira apresentaram diâmetros médios de espelhamento de 288,3 mm com cimento CP III e 200,0 mm com cimento CP V, maiores em relação aos respectivos diâmetro médios medidos para as argamassas com areia natural, de 143,3 mm com cimento CP III e 148,3 mm com cimento CP V. Em relação à resistência à compressão, apesar de estatisticamente equivalentes, as argamassas feitas com areia natural (CP V e CP III) obtiveram valores médios absolutos próximos ou ligeiramente superiores àquelas produzidas com areia normal brasileira aos 28 dias de cura. Para argamassas com areia natural, foram observados valores de 19,85 MPa e 29,99 MPa, enquanto as argamassas com areia normal brasileira tiveram valores médios de 18,45 MPa e 26,59 MPa (respectivamente para cimentos CP III e CP V). Conseqüentemente, vê-se a importância de pesquisas e utilizações de materiais de construção locais e naturais, diminuindo a emissão de poluentes, podendo ser utilizadas as argamassas e concretos com areia natural.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo auxílio financeiro.

Referências

- [1] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Anual da Indústria da Construção. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?=&t=noticias-e-releases>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- [2] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Anual da Indústria da Construção: Informativo, volume 31. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic_2021_v31_informativo.pdf. Acesso em: 12 mar. 2024.
- [3] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.
- [5] NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5.ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2016
- [6] HABERT, G. et al. Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. *Nature Reviews Earth & Environment*, v. 1, p. 559–573, 2020.

- [7]FORMOSO, C. T.; SOIBELMAN, L. M.; CESARE, C. D.; ISATTO, E. L. Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128, 316-325, 2002.
- [8]JUENGER, M. C. G.; SNELLINGS, R.; BERNAL, S. A. Supplementary cementitious materials: New sources, characterization, and performance insights. *Cement and Concrete Research*, v. 122, p. 257-273, 2019.
- [9]UN ENVIRONMENT; SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, v.114, p.2-26, 2018.
- [10]UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). *Sand and Sustainability: 10 Strategic Recommendations to Avert a Crisis*. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/38362>. Acesso em: 18 mar. 2024.
- [11]LOTHENBACH, B., SCRIVENER, K., & HOOTON, R. D. Supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Research*, 41(12), 1244-1256, 2011.
- [12]ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16697:2018: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 07/2018.
- [13]ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211:2022: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2019.
- [14]HEARD, R.; HENDRICKSON, C.; MCMICHAEL, F. C. *Sustainable development and physical infrastructure materials*. *MRS Bulletin*, volume 37, páginas 389–394, 2012.
- [15]United Nations Environment Programme (UNEP). *Sand and Sustainability: Finding New Solutions for Environmental Governance of Global Sand Resources*. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/28163>. Acesso em: 18 mar. 2024.
- [16]COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. EN 196-1: *Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength*. Bruxelas, 2016.
- [17]BRITISH STANDARDS INSTITUTION. EN 1015-3: *Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. Londres, 1999.