



AVALIAÇÃO E PERCEPÇÃO DO EMPREGO DE ESGOTO TRATADO E AGREGADO RECICLADO NO PROCESSO PRODUTIVO DO CONCRETO

Palavras-Chave: reúso, concreto, esgoto tratado, agregado reciclado, percepção, água

Autores:

Letícia Pauluk Imark [FEC/Unicamp]

Prof. Dr. Adriano Luiz Tonetti (orientador) [FEC/Unicamp]

INTRODUÇÃO:

O reúso e a reciclagem têm se mostrado cada vez mais necessários no mercado da construção civil, não somente por causa do grande volume de matéria-prima consumido, mas também devido à grande quantidade de resíduo gerada e disposta indevidamente. O reaproveitamento de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) e água de reúso apresenta-se como uma possibilidade pertinente para a reciclagem em larga escala, redução de custos e uso consciente de matéria-prima, cujo potencial é atualmente pouquíssimo explorado no país e no mundo. Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a produção de blocos vazados de concreto para alvenaria por meio do emprego de esgoto tratado e agregado reciclado a partir de RCD. Paralelamente, também buscou-se entender a maneira como engenheiros civis e arquitetos veem a aplicabilidade da água de reúso, tanto como parte da mistura do concreto, quanto em seu processo produtivo.

METODOLOGIA:

Nesta pesquisa, foram utilizados agregados produzidos a partir de resíduo de construção civil e demolição (RCD), fornecidos em duas granulometrias diferentes pela empresa Paulo Caçambas e Usina de Reciclagem de Entulho, localizada no município de Mogi Mirim (SP), que atua realizando a moagem de entulhos. É importante frisar que os agregados, de maneira geral, interferem não somente sobre a resistência e rigidez do concreto, mas também sobre propriedades relativas ao comportamento de longo prazo do material, como a fluência e durabilidade. Além disso, exercem grande influência na redução das deformações do concreto relacionadas à umidade, como é o caso da retração, e são responsáveis por conferir a este material a resistência ao desgaste (Alexander & Mindess, 2010). Por isso é tão importante conhecer as características e

particularidades dos agregados que serão utilizados na mistura do concreto, uma vez que eles exercem influência direta em suas propriedades.

Os RCD utilizados nesta pesquisa podem ser classificados como classe A (tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, agregados pétreos, argamassas, telhas, camadas asfálticas de pavimentos e outros). Na Figura 1 ao lado estão representados os agregados naturais e reciclados analisados. Todos os ensaios de caracterização foram executados no Laboratório de



Figura 1: Agregados naturais e reciclados utilizados.

Materials de Construção (LMC) da Unicamp, os quais incluíram, além da determinação das frações de cada material componente das amostras coletadas, a determinação da granulometria com base na NBR 7211:2009 (Agregados para concreto – Especificação) e NBR NM 248:2003 (Agregados – Determinação da composição granulométrica); massa específica e absorção de água conforme as normas NBR NM 53:2009 (Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água), NBR NM 52:2009 (Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa aparente) e NBR NM 30:2001 (Determinação da absorção de água); pozolanicidade com base na NBR 12650:2012 (Materiais pozolânicos – Determinação da variação da retração por secagem devido à utilização de materiais pozolânicos) e teor de finos conforme a norma NBR NM 46:2003 (Agregados - Determinação do material fino).

Paralelamente, foi elaborado um questionário do tipo transversal e qualitativo, desenvolvido especificamente para entender a maneira com a qual ex-alunos da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp (FEC/Unicamp) veem a aplicabilidade da água de reúso, tanto como parte da mistura do concreto, quanto em seu processo produtivo, assim como elencar os principais motivos que justificam seus posicionamentos. De maneira geral, os participantes do estudo eram direcionados a responder a seguinte pergunta: Você aceitaria empregar água de reúso (esgoto tratado de forma segura) na produção de concreto? Com base nessa resposta, as etapas seguintes buscavam entender os motivos que justificassem a aceitação ou recusa do participante por meio de opções pré-definidas pelo questionário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Ensaio de Caracterização:

Os resultados obtidos nos ensaios vão ao encontro dos obtidos na literatura. As Figuras 2, 3, 4 e 5 ilustram as curvas granulométricas traçadas para todos os agregados reciclados e naturais utilizados na pesquisa e contemplam também as zonas ótimas e utilizáveis para as areias natural e reciclada com base na NBR 7211:2019. As Tabelas 1 e 2 resumem as demais propriedades dos agregados miúdos e graúdos, obtidas a partir da execução dos demais ensaios.

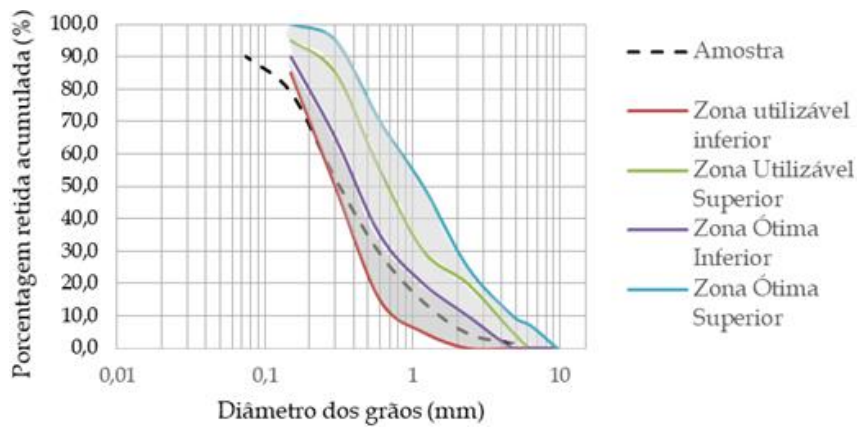


Figura 2: Curva granulométrica da areia de RCD.

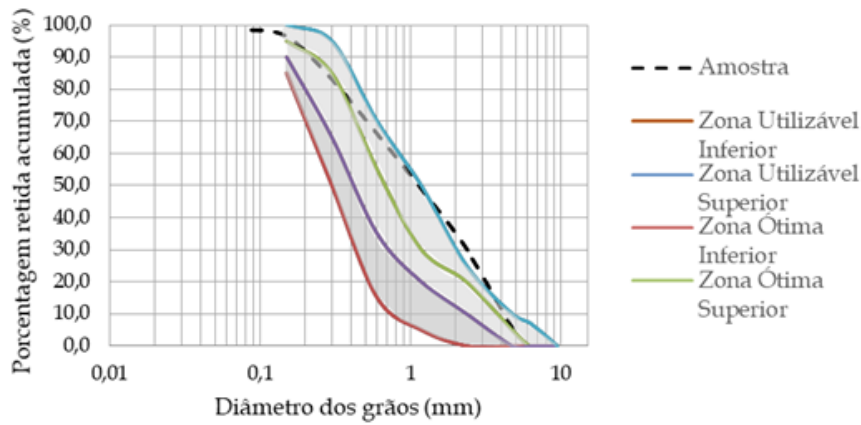


Figura 3: Curva granulométrica da areia natural.

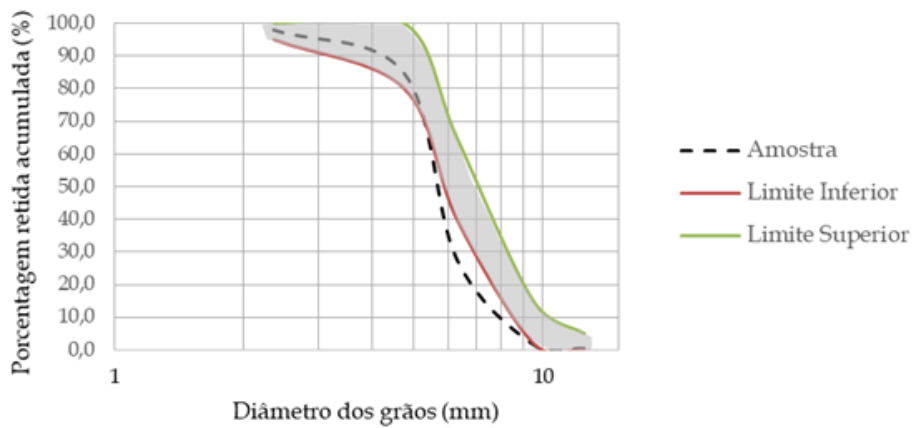


Figura 4: Curva granulométrica do pedrisco de RCD.

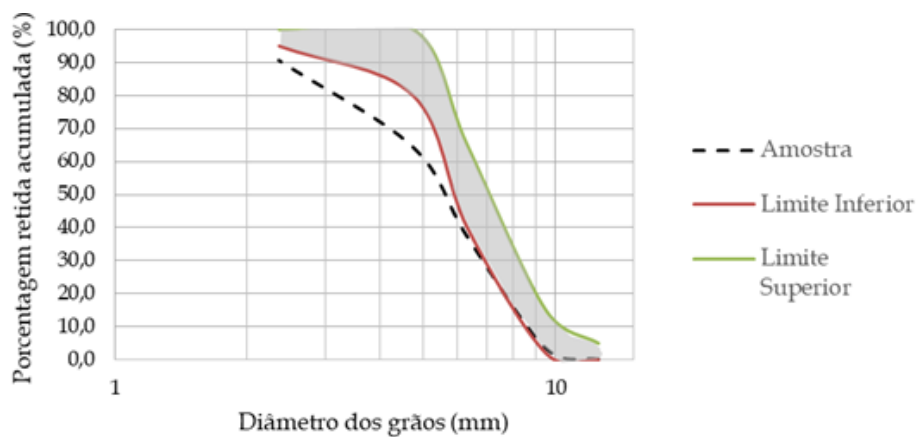


Figura 5: Curva granulométrica do pedrisco natural.

<i>Tabela 1: Propriedades obtidas para o agregado miúdo.</i>		
Parâmetro	RCD	Natural
Módulo de finura	1,820	3,300
Dimensão máxima característica (mm)	2,38	4,75
Massa específica (g/cm ³)	2,475	2,571

<i>Tabela 2: Propriedades obtidas para o agregado graúdo.</i>		
Parâmetro	RCD	Natural
Módulo de finura	2,823	2,523
Dimensão máxima característica (mm)	9,5	9,5
Massa específica (g/cm ³)	2,709	3,029
Massa específica saturada com superfície seca (g/cm ³)	2,355	2,960
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,148	2,926
Absorção de água (%)	9,6	1,2
Teor de umidade (%)	1,46	1,05
Massa unitária (kg/m ³)	1119,74	1659,14
Massa unitária com superfície seca (kg/m ³)	1227,71	1678,42
Volume de vazios (%)	58,67	45,22

Aplicação do Questionário:

Do público total entrevistado, 94% declararam que aceitariam empregar água de reúso na produção de concreto. As principais justificativas para a aceitabilidade incluíram a questão ambiental (95,7%), a comercialização de um produto mais ecológico (66,0%) e a possível diminuição de custos associada à aplicação de água de reúso em vez da potável (46,8%). Outras justificativas apresentadas pelos respondentes contemplaram apoio à seguridade social, estímulo à economia circular e otimização do metabolismo urbano.

Entre os que não aceitariam empregar água de reúso (6% dos entrevistados), os motivos incluíram custos, desconhecimento das técnicas de utilização, falta de legislações específicas e resistência da população quanto às consequências do uso. Também foram levantados aspectos referentes à não homogeneidade da água de reúso e à perda de qualidade do produto. Apesar de ainda não haver consenso na literatura sobre o uso de esgoto tratado e suas implicações nas propriedades do concreto, destaca-se que a maioria dos estudos que utilizaram efluentes tratados com qualidades físico-químicas consideradas adequadas apresentaram melhorias ou pequenas reduções (abaixo do limite máximo de 10% requerido pelas normas) na resistência à compressão e não proporcionaram grandes variações em propriedades do concreto fresco, tais como o tempo de pega e a trabalhabilidade, conforme demonstrado por De Matos et al. (2020), Asadollahfardi et al. (2015), Peighambarzadeh et al. (2020), Duarte et al. (2019) e Tonetti et al. (2019).

CONCLUSÕES:

A partir dos resultados obtidos e da análise bibliográfica realizada no decorrer do projeto, é possível concluir que há viabilidade na utilização de água de reúso e agregados provenientes de

RCD na produção de concreto, desde que sejam estudadas as proporções de substituição mais adequadas conforme a finalidade de utilização do material e que os componentes da mistura atendam aos requisitos estabelecidos nas normas brasileiras. Também é importante que os agregados reciclados passem pelos ensaios de caracterização necessários antes de serem utilizados na produção de concreto, uma vez que eles podem exercer influência negativa na resistência à compressão e absorção de água. Avaliando-se as curvas granulométricas obtidas para as amostras de agregados naturais e reciclados, verificou-se que para todos os materiais ensaiados há trechos contidos fora dos intervalos sugeridos pela norma. Isso não inviabiliza a sua aplicação no concreto, mas condiciona que sua aplicabilidade seja comprovada.

No que diz respeito ao questionário, conclui-se que o maior dificultador para a comercialização de concreto produzido com água de reúso consiste na baixa aceitação do produto pelos consumidores. Isso reflete, entre outras coisas, o baixo conhecimento da população a respeito do ciclo da água e dos processos de tratamento de águas residuárias. Não é raro, inclusive, que a água de reúso, dependendo do tipo de tratamento a que foi submetida, apresente qualidade análoga ou superior à água potável. Sendo assim, faz sentido que a grande maioria dos entrevistados tenha declarado que aceitaria empregar água de reúso na produção de concreto, uma vez que usualmente têm noções mais aprofundadas a respeito da efetividade dos métodos de tratamento de esgoto.

BIBLIOGRAFIA

- ABNT. NBR NM 30: **Agregado miúdo - Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT. NBR NM 53: **Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT. NBR NM 53: **Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa aparente**. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT. NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2019.
- ALEXANDER, M. G.; MINDESS, S. **Aggregates in Concrete**. CRC Press, 2010.
- ASADOLLAHFARDI, G.; ASADI, M.; JAFARI, H.; ABDOLMOHAMMAD, M.; ASADOLLAHFARDI, R. **Experimental and statistical studies of using wash water from ready-mix concrete trucks and a batching plant in the production of fresh concrete**. Construction and Building Materials, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.053>
- DE MATOS, P. R.; PRUDÊNCIO JR., L. R.; PILAR, R.; GLEIZE, P. J. P.; PELISSER, F. **Use of recycled water from mixer truck wash in concrete: Effect on the hydration, fresh and hardened properties**. Construction and Building Materials, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116981>
- DUARTE, N. C.; AMARAL A.; GOMES, B.; SIQUEIRA, G. H.; TONETTI, A. L. **Water reuse in the production of non-reinforced concrete elements: An alternative for decentralized wastewater management**. Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development, v. 9, n. 3, p. 596–600, 2019. <https://doi.org/10.2166/washdev.2019.106>
- PEIGHAMBARZADEH, F. S.; ASADOLLAHFARDI, G.; AKBARDOOST, J. **The effects of using treated wastewater on the fracture toughness of the concrete**. Australian Journal of Civil Engineering, 2020. <https://doi.org/10.1080/14488353.2020.1712933>
- TONETTI, A. L.; DUARTE, N. C.; SANTOS, M. R. R.; SIQUEIRA, G. H. **Environmentally friendly interlocking concrete paver blocks produced with treated wastewater**. Water Science and Technology: Water Supply, 2019. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.078>