



## **AVALIAÇÃO EM ESCALA LABORATORIAL E REAL DO EMPREGO DE ESGOTO TRATADO E AGREGADO RECICLADO NA PRODUÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO**

Autores: Letícia P. Imark, Adriano L. Tonetti, Maria Eduarda P. Almeida

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura & Urbanismo (FEC/UNICAMP)

### **1. INTRODUÇÃO**

O processo de urbanização e o crescimento acelerado dos centros urbanos geram consequências negativas e frequentemente mal gerenciadas aos ambientes em que se desenrolam. Exemplos disso são o aumento do volume de esgoto gerado nas grandes cidades, assim como a produção de quantidades crescentes de resíduo de construção e demolição (RCD) como resultado do aumento das atividades comerciais e industriais e do desenvolvimento urbano. Tendo isso em mente, é importante que sejam estudadas maneiras de viabilizar a minimização desses impactos, a fim de que os recursos disponíveis sejam aplicados com mais eficiência e adequabilidade e os resíduos possam adquirir utilidade nas cadeias produtivas, em vez de serem simplesmente descartados. Nesse cenário, a utilização de RCD e água de reúso na composição do concreto apresenta-se como uma possibilidade pertinente para a reciclagem em larga escala, redução de custos na construção civil e uso consciente da matéria prima, além de possibilitar diminuição no consumo de materiais naturais. O emprego desses insumos na mistura do concreto possui grande potencial para fins de pavimentação, algo que já é incentivado desde 2004 com a elaboração das normas técnicas publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 15115:2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos e NBR 15116:2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Sendo assim, este projeto de pesquisa teve como objetivo principal avaliar a produção de pisos intertravados de concreto a partir do reúso de esgoto tratado da ETE Barão Geraldo, localizada no município de Campinas (SP) e do reaproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD) fornecidos pela empresa Paulo Caçambas e Usina de Reciclagem de Entulho situada em Mogi Mirim (SP).

### **2. 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 sua 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 Materiais 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).

A dosagem do concreto foi determinada por meio do método experimental proposto pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Nesse método, são estabelecidas previamente duas propriedades do concreto que se deseja obter como produto da dosagem: a consistência no estado fresco e a resistência de dosagem ( $f_{cj}$ ). Informações referentes aos outros materiais componentes da mistura também são necessárias. Com relação aos agregados, necessita-se da curva granulométrica, da massa específica, da massa unitária (somente graúdo), do módulo de finura (somente miúdo) e da dimensão máxima característica (somente graúdo). Do cimento, é necessário definir o tipo, a massa específica e a resistência após 28 dias.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o fechamento dos laboratórios da FEC logo no início do semestre letivo em decorrência da pandemia de coronavírus, parte dos objetivos que haviam sido propostos inicialmente não puderam ser finalizados. Serão, portanto, apresentados os resultados parciais obtidos, os quais contemplam toda a caracterização dos agregados naturais e reciclados, assim como a determinação do traço de concreto que será utilizado como referência para as porcentagens de substituição de água e agregado. As Figuras 2, 3, 4 e 5 abaixo ilustram as curvas granulométricas traçadas para todos os agregados reciclados e naturais utilizados na pesquisa, as quais contemplam também as zonas ótimas e utilizáveis para as areias natural e reciclada com base nos limites definidos pela NBR 7211:2019. Em seguida, nas Tabelas 1 e 2, estão resumidas as demais propriedades dos agregados miúdos e graúdos, obtidas a partir da execução dos demais ensaios.

Figura 1: Agregados naturais e reciclados utilizados.



Figura 2: Curva granulométrica da areia natural.

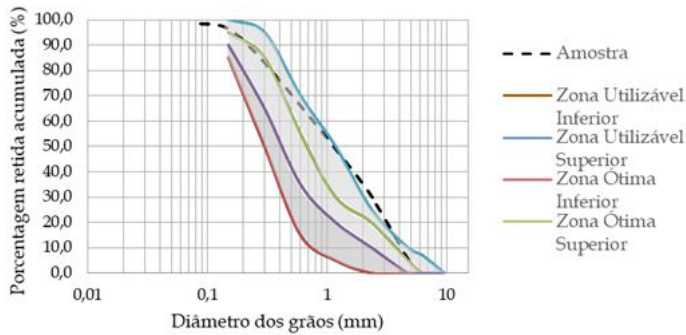


Figura 3: Curva granulométrica da areia reciclada.

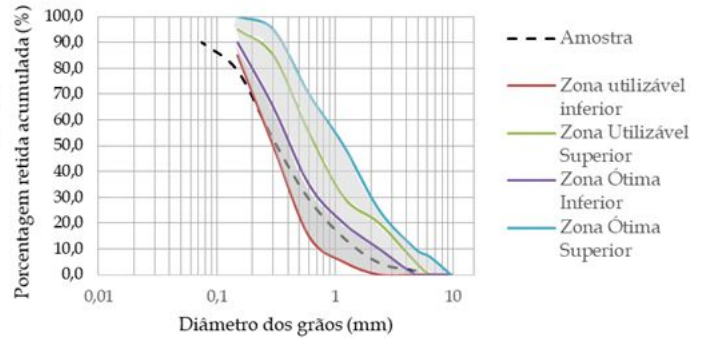


Figura 4: Curva granulométrica do pedrisco natural.

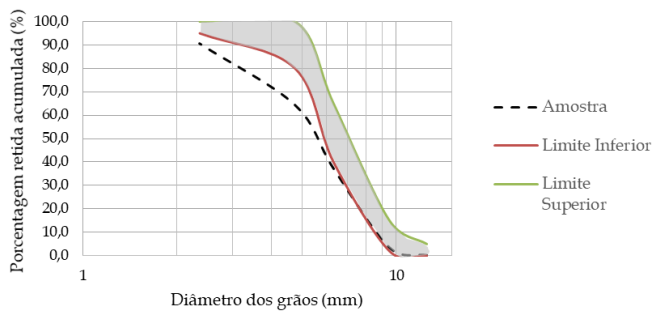
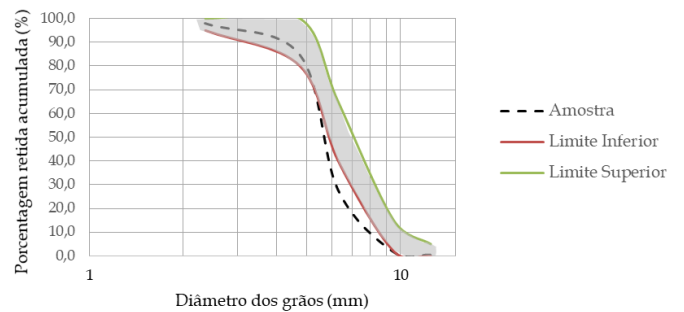


Figura 5: Curva granulométrica do pedrisco reciclado.



**Tabela 1: Propriedades obtidas para o agregado miúdo**

Parâmetro	RCD	Natural
Módulo de finura	1,820	3,300
Dimensão máxima característica (mm)	2,38	4,75
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,475	2,571

**Tabela 2: Propriedades obtidas para o agregado graúdo**

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

No que diz respeito ao traço do concreto, determinado por meio do método da ABCP, adotando-se 32 MPa de resistência do cimento aos 28 dias, abatimento entre 60 a 80mm e relação água cimento de 0,45, obteve-se que, para os agregados naturais caracterizados anteriormente, o traço ideal consome, por metro cúbico de concreto, 225L de água, 500kg de cimento, 821,27kg de pedrisco e 880,75kg de areia. Assim, o traço pode ser apresentado, em massa, a partir da proporção de 1,00:1,76:1,64:0,45 (cimento:areia:brita:água/cimento).

#### **4. CONCLUSÃO**

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 dependendo de sua variabilidade e composição.

Nesse contexto, a análise granulométrica torna-se uma ferramenta fundamental para entender as propriedades dos agregados e prever possíveis alterações no concreto decorrentes de sua aplicação na mistura. Os intervalos para as curvas granulométricas dos agregados miúdo e graúdo estabelecidos pela NBR 7211:2019 são bons mecanismos de comparação entre as características dos agregados naturais e reciclados. No caso do agregado miúdo, existem duas zonas, a de utilização e a ótima, que são definidas com base na influência da distribuição granulométrica na trabalhabilidade e nos custos de produção do concreto, visto que o uso de areias mais grossas promovem misturas menos trabalháveis, enquanto que o de areias mais finas proporciona um aumento no consumo de água e, conseqüentemente de cimento, elevando-se os custos da mistura (Isaia, 2005).

Avaliando-se as curvas granulométricas obtidas para as amostras de agregados naturais e reciclados, verificou-se que para todos os materiais ensaiados houveram trechos contidos fora dos intervalos sugeridos pela norma. Isso não inviabiliza, entretanto, a sua aplicação direta no concreto, mas condiciona que sua aplicabilidade seja comprovada. Apesar disso, os agregados ensaiados apresentam, de forma geral, curvas cuja distribuição é contínua e bem graduada, isto é, existem partículas de variados diâmetros com porcentagens bem distribuídas entre as frações granulométricas.

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 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.
- ISAIA, G. C. (ED.). **Concreto - Ensino, pesquisa e realizações.** São Paulo: IBRACON, 2005.