

## AGREGADOS, MEIO AMBIENTE E O DESAFIO DA ECONOMIA CIRCULAR

Diana Csillag, coordenadora Executiva do CICS, conversou com o **Prof. Sergio Ângulo**, do Departamento de Construção Civil da Poli USP, com a **Profa. Carina Ulsen** do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Poli USP e com a doutoranda do Departamento de Construção Civil da Poli USP **Lidiane Santana Oliveira** sobre agregados. Foram abordados temas como escassez, reciclagem e as alternativas existentes para agregado natural.



Prof. Sérgio Angulo  
Crédito foto - Autor



Profa. Carina Ulsen  
Crédito foto - Autor



Doutoranda Lidiane S. Oliveira  
Crédito foto - Autor

**CICS: Por que os agregados têm se tornando um tema relevante na construção?**

**Lidiane S. Oliveira e Sérgio Angulo:** Os agregados são os maiores constituintes dos materiais cimentícios, e esses são os materiais industriais mais consumidos pela sociedade [1]. Estudos que abordam o uso da ferramenta de fluxo de materiais do mundo têm demonstrado que os materiais de construção (essencialmente os agregados) correspondem a quase 50% de todos os recursos naturais extraídos do planeta [2].

**CICS: Apesar de abundante, como as diferentes regiões no mundo e no Brasil enfrentam esta escassez?**

**Lidiane S. Oliveira e Sérgio Angulo:** Apesar de abundantes em diversas regiões do mundo, diversas localidades vivenciam o problema de escassez regional (ou localizada) [3], seja próximo aos grandes centros urbanos como região metropolitana de Paris, de São Paulo ou em regiões específicas (devido a particularidades na oferta de bens minerais). A Holanda não dispõe de rochas para britar, pois é região aluvial; por isso, importa agregados da

Noruega, Alemanha e Bélgica [4]. No Brasil, o estado do Acre chega a transportar agregados britados do estado de Rondônia, percorrendo entre 252 e 512 km [5]. Na França a falta de agregados com características adequadas para uso pela construção resulta na importação desses recursos a distâncias superiores a 300 km [6]. No caso de Dubai, como seus recursos marinhos de areia foram esgotados para a construção dos conjuntos de ilhas Palm Jumeirah e The World, o país importa da Austrália areia para produção de concreto [7]. Singapura ao longo dos últimos 40 anos tem importado grandes volumes de areia da Indonésia, Malásia, Vietnam e Camboja para ampliação do seu território [7].

#### **CICS: Como está a demanda de agregados no Brasil e no mundo?**

**Lidiane S. Oliveira e Sérgio Angulo:** Nas últimas décadas tem sido crescente o consumo de agregados, em especial por países em desenvolvimento. Por exemplo, a China consumiu entre 2011 e 2014 mais concreto do que os Estados Unidos em todo o século XX, o que implica em enorme consumo de agregados pelo país [8].

Desde o início desse século, o consumo de agregados no Brasil é crescente, salvo decréscimos nos anos onde a crise econômica assolou o país de modo mais forte. Embora o consumo de brita seja elevado, a crescente demanda de areia natural tem sido mais problemática pois sua demanda é maior que a da brita. A areia tem sido extraída a uma taxa maior do que a sua formação natural, e a dragagem de grandes volumes de areia podem afetar a fauna e flora locais [9]. As consequências do grande consumo de areia natural observado nos últimos anos têm sido devastadoras em

diversas regiões do globo, principalmente em países em desenvolvimento.

A Região Metropolitana de São Paulo adquire areia de regiões cada vez mais longes dos centros consumidores, superiores a 200 km. Para se ter uma ideia de como essa mudança de cenário impacta no preço da areia, em um intervalo de 4 anos o preço da areia aumentou 100% na cidade de São Paulo em razão das maiores distâncias de transporte [10]. O agregado em São Paulo é mais caro que em Zurique, considerada uma das regiões mais ricas do mundo. O aumento de custo impacta mais significativamente justamente os países que mais precisam se desenvolver. Esse acréscimo nos preços estimula a aquisição de areia de fornecedores irregulares, que apresentam valores mais baixos do que das empresas que regularizadas junto aos órgãos competentes. No entanto, esse não é um caso isolado no Brasil, onde é estimado que 75% da areia consumida seja extraída de maneira irregular [11].

**Para analisar a circularidade e seu potencial nessas aplicações, é preciso entender como se dá o fluxo de agregados dentro da construção.**

Infelizmente esse não é um caso isolado, e sim um problema mundial, já que acredita-se que apenas 2/5 de toda a areia extraída no mundo seja comercializada legalmente [12]. Por exemplo, Singapura foi acusada de contratar contrabandistas para extraírem areia de praias da Indonésia e da Malásia [13]. A “máfia de areia” na Índia é considerada uma das organizações criminosas mais poderosas e violentas do mundo, já tendo causado a morte de centenas de pessoas nas chamadas “guerras de areia” [14,15].

#### **CICS: Qual o potencial de circularidade dos agregados para o setor da construção?**

**Lidiane S. Oliveira e Sérgio Angulo:** Os agregados usados pela construção são consumidos pelos mais diversos setores, sendo grande volume consumido para produção de concreto, argamassa, pré-moldados, artefatos, na construção de pavimentos, aterro, contenção, barragem, e até ampliação de territórios. Para analisar a circularidade e seu potencial nessas aplicações, é preciso entender como se dá o fluxo de agregados dentro da construção. Nesse sentido, temos desenvolvidos estudos de fluxo de materiais com coleta de dados estatísticos setoriais levantado por diferentes órgãos, com checagem de consistência dessas informações, analisando quanto da fração miúda (areia) e da graúda (brita) estão alocadas nos diferentes materiais cimentícios.

Com isso, observamos que no cenário brasileiro a demanda de areia é superior à de brita, sendo cerca de metade do total de areia usada na produção de argamassas, e outra metade para produção de concretos. Destes concretos, o concreto estrutural corresponde apenas a 1/3 dos diferentes tipos de concretos produzidos, que exige a melhor qualidade dos agregados. Assim, há uma grande oportunidade para uso de fontes secundárias como agregados.

Embora não existam dados estatísticos sobre o consumo de materiais secundários como agregados pelo setor da construção, hoje já são utilizados resíduos de construção e demolição (RCD) como agregados (graúdos e miúdos) em atividades de pavimentação. Se todos as britas oriundas de RCD fossem absorvidas pelo setor, a partir de dados da ABRECON (Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição) foi estimado que a circularidade dos agregados graúdos estaria em torno de 8% [16]. Estudos indicam a potencialidade de ampliar o uso dos agregados de RCD em

materiais cimentícios, após passarem por etapas de beneficiamento semelhantes à da produção da brita.

Os RCD são certamente a fonte secundária mais usada, fruto da reciclagem, porque incomoda no meio urbano, objeto de regulamentações para promoção da reciclagem e banimento do uso de área de aterros. No entanto, há resíduos menos percebidos pela sociedade que são tão importantes quanto os RCD, como os rejeitos de pedra ou rejeitos de mineração, em especial porque tem potencial de aumentar a circularidade da areia. Algumas pedreiras que antes consideravam o pó de pedra gerado nas etapas de beneficiamento da brita como resíduo, hoje já comercializam esse material como um coproduto, mostrando potencial de ampliação dessa estratégia por outras empresas.

Além disso, há estudos que indicam que rejeitos oriundos do beneficiamento do minério de ferro são potenciais substitutos da areia natural. Os acidentes recentes na indústria da mineração têm exigido ações do poder público para evitar que existam barragens de rejeitos nesses empreendimentos, abrindo grandes oportunidade na promoção de insumos circulares na construção. Obviamente com grandes desafios logísticos, pois essas atividades ocorrem concentradas em determinados estados, que muitas vezes não são os maiores demandantes por agregados. Considerando o cenário nacional, sem analisar local onde o rejeito é gerado nem se suas características são adequadas para aplicabilidade como areia secundário, hoje considerando apenas os rejeitos gerados no beneficiamento do minério de ferro temos por volta de 120 Mt anualmente [17], quantidade superior ao que se estima de resíduos de construção (100 Mt).

No caso dos agregados de RCD, estudos mostram que o desafio para fazer uma areia de qualidade em materiais cimentícios pode ser superado. Mas há uma importante ressalva que estudos em laboratório não significam que são replicáveis no ambiente industrial sendo necessárias percorrer todas as etapas de implementação durante a pesquisa.

**CICS: Qual/quais as alternativas aos agregados naturais para ser utilizado pela construção civil?**

**Carina Ulsen:** Acredito que esta pergunta seja de ampla possibilidade de resposta e muito mais dedicada a engenharia civil do que mineral, área em que tenho formação e conhecimento. As alternativas são muitas e envolvem a seleção dos materiais de construção, mas vou me limitar a falar sobre as possibilidades de se produzir agregados reciclados a partir de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), o que eu posso falar com mais profundidade.

Historicamente, a produção de agregados reciclados a partir de RCD teve início na Europa, no pós guerra, e começou de uma forma rudimentar com pouca tecnologia; mais adiante, o setor foi liderado por profissionais com pouco conhecimento em processos de beneficiamento de modo que toda construção do conhecimento foi pautada na aplicação desse material, seja para fins geotécnicos, pavimentação ou em materiais cimentícios. Anos depois percebeu-se que os processos pelos quais os resíduos passam interferem em suas características, e é neste ponto que a parceria entre as áreas da engenharia possibilitou maior êxito e mais avanço no conhecimento.

Os agregados reciclados podem ser utilizados em grande parte das aplicações civis (não estou dizendo que seja recomendado que sejam utilizados em todas as aplicações) mas nem sempre

possibilita uma substituição total, mas, parcial. Antes de definir as aplicações, é necessário que esteja claro quais as propriedades que estes devem atender, também é necessário compreender a cadeia “geração de resíduos – processo – produto final – demanda de mercado” de forma integrada, uma vez que estão diretamente relacionadas. Adicionalmente, é preciso aprender a lidar com os agregados reciclados, que maneira devem ser incorporados aos materiais de construção. Outros materiais secundários já foram inseridos como materiais de construção mediante adaptações, o setor deve entender que se trata de uma situação similar com os agregados e não pensar que basta simplesmente substituir o agregado britado ou natural pelo reciclado.

**CICS: Quais os desafios da inserção desses agregados alternativos no setor da construção, como matéria-prima?**

**Carina Ulsen:** Eu também gostaria de ter melhor esse entendimento, mas na engenharia civil temos os “clientes” dos engenheiros de processamento, de modo que essa pergunta seria mais bem respondida pelo setor que os utiliza, nem tanto pelo que os gera. O que recebemos de feedback é em relação à “baixa” qualidade do agregado em comparação com o agregado natural, e para isso tenho diferentes considerações:

Como explicitado anteriormente, muitas propriedades dos agregados reciclados podem ser alteradas/controladas por meio de processos de beneficiamento mineral. Em comparação ao setor mineral, as jazidas também são heterogêneas e temos mecanismos para minimizar essa heterogeneidade tanto na alimentação de uma usina quanto nos produtos gerados, de modo a atender especificações de comercialização.

Outro aspecto, refere-se ao uso pretendido para tal material – eu acredito que deva

haver um melhor entendimento entre os setores para que o produto seja aplicado onde ele tem maior potencial, nem todo agregado reciclado (ou talvez nenhum deste) deva ser direcionado a aplicações onde as exigências mecânicas sejam maiores, mas em aplicações compatíveis como suas características; acho que este deve ser um direcionamento – encontrar aplicações compatíveis, tanto do ponto de vista técnico como com relação ao potencial e demanda de mercado.

Um outro aspecto seria aprendermos a trabalhar com materiais secundários uma vez que os procedimentos aplicados às matérias primas minerais podem não ser adequados e caracterizar o material/produto como inadequado, quando o inadequado pode ser a maneira como o material está sendo utilizado, e com isso eu me refiro a métodos/procedimentos também, não apenas à aplicação.

Do ponto de vista de processo, as principais questões seriam em relação a heterogeneidade do material recebido e garantia de fornecimento; diferentemente do setor mineral, os resíduos podem vir de fontes distintas e desconhecidas. Para ambas situações, esbarramos em uma questão bastante conhecida pelo setor de agregados: logística. Se tivéssemos maior controle sobre os resíduos (gestão) e um mecanismo eficiente para coleta e transporte dos mesmos até as usinas recicladoras, certamente, poderíamos ter uma outra situação. Hoje, isso é possível no âmbito de grandes obras, sejam construtoras ou grandes operações de demolição ou desmonte, mas para os geradores pulverizados, isso ainda está longe do ideal, haja visto a diversidade de materiais encontrados nas caçambas coletoras da cidade e a variabilidade entre elas.

Do ponto de vista técnico, desenvolvemos muitos produtos com viabilidade comprovada. Nosso grupo (Poli USP – Engenharia Civil e Minas) estuda o tema desde meados dos anos 2000, quando mal conhecíamos os resíduos; hoje, novo nível de conhecimento é bem elevado e temos reconhecimento internacional pela nossa atuação, seja em pesquisa ou projetos de P&D apoiados pela iniciativa privada – foram muitos projetos, sendo que eu aponto como o fator de maior êxito a integração de conhecimentos da engenharia mineral (de onde eu venho) com a engenharia civil, cada qual vendo os resíduos e os produtos sob diferentes perspectivas com o intuito de integrar conhecimento e tratar os resíduos de acordo com uma abordagem integrada.

**CICS: Como materiais que não seguem características normativas podem ser usados pela construção?**

**Carina Ulsen:** Em complementação à questão anterior, sem dúvida, a ausência de normas específicas para o uso de agregados reciclados é um limitador a sua aplicação. Mas eu posso devolver a pergunta com uma reflexão “alguns produtos são certificados pelo seu uso final, e não necessariamente pelo uso intermediário; vamos supor a produção de argamassa industrializada (produto comercializado), a responsabilidade da empresa seria atestar a qualidade e garantir as propriedades do produto final, sendo que os insumos utilizados, proporções, etc. caracterizam-se como segredo industrial”.

Por outro lado, faltam também normas específicas para caracterizar o material, para controle de qualidade – algumas são “emprestadas” dos agregados naturais, mas sabemos que isso traz várias imprecisões. No entanto, essa é uma questão mundial não apenas no Brasil, mas também posso ver que há evolução ao longo dos anos e

que os países e a própria sociedade demanda por soluções ambientalmente mais adequadas, e com isso, nem sempre quero dizer que a reciclagem é o melhor caminho pois, dependendo como é conduzida, pode gerar impactos ambientais expressivos.

Complementando, é ainda um assunto relativamente novo para a ciência, e todo conhecimento exige tempo. Mas, sem dúvida há países que já avançaram muito mais, e não necessariamente por escassez de matéria prima mineral, mas por entender rapidamente a necessidade de aumentar a circularidade dos materiais.

Certamente, a gestão de resíduos, de forma geral, não é uma equação simples e por isso diversos países se debatem com essa questão, e por isso, as taxas de reciclagem mundiais são tão baixas, tanto em RCD como em resíduos domésticos e até mesmo em resíduos eletrônicos que apresentam teores de ouro muito superiores aos encontrados em jazidas minerais. Eu também me pergunto “where is the catch?”.

## Referências

- [1] United Nations Environment Programme, Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cementbased materials industry, 2017. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25281/eco\\_efficient\\_cements.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25281/eco_efficient_cements.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [2] F. Krausmann, S. Gingrich, N. Eisenmenger, K.-H. Erb, H. Haberl, M. Fischer-Kowalski, Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century, *Ecol. Econ.* 68 (2009) 2696–2705. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.007>.
- [3] G. Habert, Y. Bouzidi, C. Chen, A. Jullien, Development of a depletion indicator for natural resources used in concrete, *Resour. Conserv. Recycl.* 54 (2010) 364–376. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.09.002>.
- [4] M.J. van der Meulen, J.W. Broers, A.L. Hakstege, H.S. Pietersen, M.W.I.M. van Heijst, T.P.F. Koopmans, *Geology of the Netherlands: Chapter - Surface mineral resources*, Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 2007, n.d.
- [5] A.A.L. Pacheco, *Emissão de CO2 do transporte de materiais na produção do concreto em Rio Branco, Acre, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2020*.
- [6] D. Ioannidou, V. Nikias, R. Brière, S. Zerbi, G. Habert, Land-cover-based indicator to assess the accessibility of resources used in the construction sector, *Resour. Conserv. Recycl.* 94 (2015) 80–91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.11.006>.
- [7] UNEP, *Sand, rarer than one thinks*, (2014).
- [8] N. Tweedie, Is the world running out of sand? The truth behind stolen beaches and dredged islands, *The Observer*. (2018). <https://www.theguardian.com/global/2018/jul/01/riddle-of-the-sands-the-truth-behind-stolen-beaches-and-dredged-islands> (accessed July 4, 2020).

- [9] The Economist, A shore thing - An improbable global shortage: sand | Finance and economics | The Economist, The Economist. (2017). <https://www.economist.com/finance-and-economics/2017/03/30/an-improbable-global-shortage-sand> (accessed March 18, 2020).
- [10] C. ULSEN, H. KAHN, G. HAWLITSCHKEK, E.A. MASINI, S.C. ANGULO, Separability studies of construction and demolition waste recycled sand, *Waste Manag.* 33 (2013) 656–662. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.06.018>.
- [11] S. Lira, Estudo apresenta números alarmantes da atividade ilícita, cujos lucros no país chegam a ser superiores aos dos gerados com o tráfico de drogas, *Rev. Min. E Sustentabilidade*. Ano 6 (2016) 5.
- [12] C. Dinh, Bring me a nightmare: Asia’s hunger for sand is harmful to farming and the environment, *The Economist*. (2020). <https://www.economist.com/asia/2020/01/18/asias-hunger-for-sand-is-harmful-to-farming-and-the-environment> (accessed March 18, 2020).
- [13] B. Henderson, Singapore accused of launching “Sand Wars,” (2010). <https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/asia/singapore/7221987/Singapore-accused-of-launching-Sand-Wars.html> (accessed February 25, 2019).
- [14] A. Torres, J. Brandt, K. Lear, J. Liu, ENVIRONMENT - A looming tragedy of the sand commons, *Science*. 357 (2017) 970–971.
- [15] V. Beiser, *The world in a grain: The story of sand and how it transformed civilization*, Riverhead Books, New York, 2018.
- [16] L.C. Machado, *Circularidade de agregados e reciclagem de RCD: Brasil, Europa e EUA*, (2020).
- [17] ANM, *Anuário Mineral Brasileiro - Principais Substâncias Metálicas 2019 - Ano Base 2018*, Agência Nacional de Mineração, Brasília, 2020. [http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb\\_2019\\_ano\\_base\\_2018\\_\\_3](http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_2019_ano_base_2018__3).