





Atualização do cenário da reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 2008-2020

Update of the construction and demolition waste recycling scenario in Brazil: 2008-2020

Rafaella Salvador Paulino 
Carlos Humberto Lazari 
Leonardo Fagundes Rosembach Miranda 
Vanessa Vogt 

Resumo

A reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) no Brasil tem se intensificado nos últimos 20 anos. Este artigo apresenta uma atualização do cenário da reciclagem de RCD no Brasil entre 1986 e 2008, exposta por Miranda *et al.* (2009), com atualizações até 2020. A compilação de dados foi realizada por meio do acesso à literatura científica, a normas e às Pesquisas Setoriais da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (Abrecon). A atividade de reciclagem de RCD no Brasil começou na década de 1980, com fraco crescimento até o final da década de 90. Em 2002, havia poucas usinas de reciclagem de RCD instaladas no país. A partir desse ano, com a publicação da Resolução Conama nº 307, percebeu-se tênue aumento na taxa de crescimento desse tipo de instalações. Com o aquecimento do setor, entre 2007 e 2013, e a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a reciclagem de RCD se intensificou. Ainda assim, a distribuição das usinas no território nacional é bastante desigual, com maior concentração na região Sudeste. Até 2008, apenas 3,6% do RCD de todo o país era reciclado e, em 2018, esse valor aumentou para 45%. Uma possibilidade de minimizar o problema dos RCD em pequenos municípios com instrumentos de baixo investimento é a instalação de usinas móveis.

Palavras-chave: Reciclagem. Entulho. Usina de reciclagem. Agregado.

Abstract

The recycling of construction and demolition waste (CDW) in Brazil has intensified in the last 20 years. This article presents an update of the scenario of CDW recycling in Brazil between 1986 and 2008, presented by Miranda et al. (2009), with updates until 2020. The compilation of data was carried out through access to scientific literature, standards and based on the Sectorial Surveys of the Brazilian Association for Recycling of Civil Construction and Demolition Waste (ABRECON). The CDW recycling activity in Brazil started in the 80's, with weak growth until the end of the 90's. In 2002 there were few CDW recycling plants installed in the country. As of this year, with the publication of CONAMA Resolution nº 307, a slight increase in the growth rate of these facilities was noticed. With the heating of the sector between 2007 and 2013 and the approval of the Brazilian National Policy on Solid Waste (PNRS), the recycling of CDW intensified. Even so, the distribution of plants in the national territory is quite uneven, with the highest concentration in the Southeast region. Until 2008, only 3.6% of the CDW of the entire country was recycled and in 2018, this value increased to 45%. One possibility to minimize the CDW problem in small municipalities through low investment is the installation of mobile plants.

Keywords: Recycling. Rubble. Recycling plant. Aggregate.

¹Rafaella Salvador Paulino
¹Universidade Federal do Paraná
Curitiba - PR - Brasil

²Carlos Humberto Lazari
²Universidade Estadual de Londrina
Londrina - PR - Brasil

³Leonardo Fagundes Rosembach
Miranda
³Universidade Federal do Paraná
Curitiba - PR - Brasil

⁴Vanessa Vogt
⁴Instituto Federal do Paraná
Curitiba - PR - Brasil

Recebido em 19/09/22
Aceito em 17/12/22

Introdução

No Brasil, as primeiras pesquisas científicas cujo objeto foi o uso de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD) foram realizadas por Pinto (1986) e Levy (1997), em argamassas, Bodi (1997), em pavimentos, e Zordan (1997), em concretos. Em 1999, foi confirmada por Pinto (1999) a relevância do tema, quando aponta que o RCD pode corresponder a mais de 50% da massa dos resíduos sólidos municipais. A partir de 2000, foram desenvolvidas pesquisas experimentais relacionadas ao uso do RCD, referentes ao estudo da variabilidade dos agregados (ANGULO, 2000), ao uso de agregados reciclados em argamassas (MIRANDA, 2000, 2005), à produção de concretos pré-moldados (BUTTLER, 2003; SOUZA, 2001) e concretos em geral (ALTHEMAN, 2002; ANGULO, 2005; LEITE, 2001).

Em 2002 foi homologada a Resolução Conama nº 307 (BRASIL, 2002), que definiu que grandes geradores públicos e privados deverão desenvolver e implantar um plano de gerenciamento de resíduos de construção civil (PGRCC), visando a sua reutilização, reciclagem ou outra destinação ambientalmente correta. No entanto, observa-se que muitas empresas apenas desenvolvem o PGRCC e não promovem sua implantação (MIRANDA, 2017). Mesmo assim, a reciclagem de RCD ganhou força extra e cresceu, nos últimos anos, com a instalação de usinas de reciclagem em diversas regiões do país, comprovando a importância da atuação pública. As primeiras usinas de reciclagem foram instaladas pelas Prefeituras de São Paulo, SP, em 1991, de Londrina, PR, em 1993, e de Belo Horizonte, MG, em 1994.

Com a expansão do tema, foi formada a Câmara Ambiental da Indústria da Construção, com a participação formal do Sindicato da Indústria da Construção de São Paulo (Sinduscon-SP), da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), da Universidade de São Paulo (USP) e outros, para discutir, em âmbito nacional, normas técnicas para as atividades de triagem e reciclagem. A primeira reunião da Câmara Ambiental da Indústria da Construção ocorreu em 1998, a qual teve um breve período de descontinuidade e foi reativada em agosto de 2017. Desde sua criação até dezembro de 2020, foram realizadas 79 reuniões plenárias. Com a formação da Câmara Ambiental da Indústria da Construção, iniciaram-se as implantações de planos de gerenciamento de RCD em canteiros, e normas técnicas foram elaboradas por comitês técnicos e publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a partir de 2004 (Quadro 1).

No segundo semestre de 2020, foi finalizada a revisão da NBR 15116 (ABNT, 2021), que trouxe algumas novidades com sua publicação, em junho de 2021, como a possibilidade do uso do agregado reciclado de concreto em substituição parcial ao agregado natural na produção de concretos estruturais, o que não era admitido na versão anterior, de 2004. Além disso, a atualização da NBR 15116 separa os resíduos da construção civil nas classes A, B, C e D. Os agregados da classe A são os únicos admitidos para uso no concreto estrutural, os quais devem ser compostos na sua fração grávida de, no mínimo, 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas, ou seja, além de ser da classe A, o resíduo deve pertencer à subclasse Agregado Reciclado de Concreto (Arco). As outras duas subclasses da classe A são o Agregado Reciclado Cimentício (Arci) e o Agregado Reciclado Misto (ARM), as quais não são aceitas pela norma para a produção de concreto estrutural. A norma também define o teor de substituição de 20% dos agregados convencionais pelo reciclado e uso em concretos de classes de agressividade I e II.

Surgiram também publicações vinculadas aos sindicatos de classe sobre gestão e reciclagem do RCD em canteiros de obras (Quadro 2). Merecem destaque a necessidade de articulação entre os diversos agentes envolvidos e a ação do poder público municipal para integrá-los por meio de legislação específica, de ação coercitiva (fiscalização) e socioeducativa.

Quadro 1 - Normas técnicas relativas à reciclagem de RCD

Norma	Nome
NBR 15112 (ABNT, 2004a)	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
NBR 15113 (ABNT, 2004b)	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes.
NBR 15114 (ABNT, 2004c)	Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
NBR 15115 (ABNT, 2004d)	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.

Fonte: adaptado de Miranda *et al.* (2009).

Quadro 2 - Exemplos de publicações sobre gestão e reciclagem de RCD

Publicação	UF	Instituições Envolvidas	Ano
Programa Entulho Limpo (1ª Etapa) – Coleta Seletiva	DF	Sinduscon-DF, Ecoatidade e Universidade de Brasília	2000
Programa Entulho Limpo – Resíduos da construção e demolição	PE	Sinduscon-PE, Sebrae-PE e Ademi-PE	2004
Gestão ambiental dos resíduos da construção civil – A experiência do Sinduscon-SP	SP	Sinduscon-SP, Informações e Técnicas e Obra Limpa	2005
Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil	MG	Sinduscon-MG, Senai-MG e Sebrae-MG	2005
Gestão de resíduos na construção civil	SE	Sinduscon-SE, Senai-SE e Sebrae-SE	2005
Manejo e gestão de resíduos da construção civil	DF	Ministério do Meio Ambiente e Caixa Econômica Federal	2005
Guia profissional para uma gestão correta dos resíduos de construção civil	SP	Crea-SP	2005
Resíduos sólidos: gerenciamento de resíduos da construção civil: guia do profissional em treinamento: nível 2	MG	Nucase – Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento	2006
Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental	RS	Edipucrs	2009
Manual para implantação de sistema de gestão de resíduos da construção civil em consórcios públicos	DF	Ministério do Meio Ambiente - MMA	2010
Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil	CE	Sinduscon-CE	2011
Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil	PR	Crea-PR	2012
Gestão ambiental de resíduos da construção civil: avanços institucionais e melhorias técnicas	SP	Sinduscon-SP	2015
Reciclagem de resíduos de construção e demolição: teoria e prática	-	BNDES, UFPR, Funpar, Soliforte Reciclagem	2020

Fonte: adaptado de Miranda *et al.* (2009).

Em 2020, foi assinado o novo marco legal do saneamento básico no Brasil (BRASIL, 2020), Lei nº 14.026, que atribui à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) a competência para instruir normas para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico e articular o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). São objetos desse marco legal determinados tipos de resíduos sólidos urbanos que o pequeno gerador não consegue gerir, como os resíduos de pequenas reformas, operados pela prefeitura por meio de pontos de entrega voluntária. A Lei nº 14.026 estabelece novas datas para a implantação de disposição final adequada de resíduos: 2021, para as regiões metropolitanas; 2022, para municípios com mais de 100 mil habitantes; 2023, para municípios entre 50 e 100 mil habitantes; e 2024, para municípios com menos de 50 mil habitantes (objeto de consórcios intermunicipais). A gestão de resíduos de construção é tratada, portanto, nos planos de gestão integrada nos diferentes municípios brasileiros, muitos deles disponíveis na internet.

Revisão bibliográfica

A estimativa nacional de aproximadamente 100 milhões de toneladas de RCD por ano pode parecer superestimada, porque considera um indicador mediano de geração de RCD *per capita* de 500 kg/hab.ano, o que equivale a um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,80, ligeiramente superior ao IDH brasileiro. Porém, o indicador *per capita* usado não inclui o solo de escavação na estimativa, que é significativo em obras (SINDICATO..., 2015; KATAGUIRI, 2017). A estimativa de geração nacional de RCD divulgada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) de 2018, de cerca de 44 milhões de toneladas por ano, pode estar subestimada, porque nem todo o fluxo de resíduo passa pelos

gerenciadores de resíduos sólidos, ou aterros. A associação estima, a partir de dados coletados entre 2014 e 2018, que o total de RCD gerado no Brasil tem se mantido praticamente constante e ressalta que as informações levantadas são parciais, visto que não se tem conhecimento do total de RCD gerado pelo setor (ASSOCIAÇÃO..., 2019). A realidade parece estar mais próxima da primeira estimativa, como a obtida pela relação entre o IDH e geração *per capita*, quando analisado município a município. De acordo com a Pesquisa Setorial 2019/2020 (ASSOCIAÇÃO..., 2020), o Sudeste é a região brasileira que mais gera RCD, 44,5% do total (44,5 milhões de toneladas por ano), seguido do Nordeste, do Sul, do Norte e do Centro-Oeste. São Paulo é o estado com maior geração de RCD (23,1 milhões de toneladas por ano), 23,1% do total, seguido de Minas Gerais, do Rio de Janeiro e da Bahia.

No cenário internacional, na Europa, estima-se que em 2014 foram gerados 858 milhões de toneladas de RCD, o que representa 34,7% do total de resíduos gerados (EUROSTAT, 2017). Em 2018, foram geradas 5,2 t de resíduos por habitante; do total, 38,5% foram depositados em aterro e 37,9% foram reciclados (EUROSTAT, 2022). Países como Holanda, Dinamarca, Alemanha e Suíça reutilizam e reciclam entre 50% e 95% do RCD gerado (ÂNGULO, 2005). Apesar do alto índice de reciclagem em relação ao RCD gerado nesses países, em média, menos de 20% do agregado natural acaba realmente sendo substituído por agregado reciclado, indicando que grande parte da utilização está focada em regularização/nivelamento de terrenos ou aterramento (MIRANDA *et al.*, 2009). Na Alemanha, existem cerca de 3.000 usinas móveis e de 1.600 usinas fixas (MULDER *et al.*, 2007).

Em Portugal, cerca de 76% do RCD são depositados em aterros, 11% são reutilizados, 9% são reciclados e 4% incinerados, o que demonstra que a quantidade de RCD reciclada/reutilizada (20%) é pequena quando comparada com outros países, como o Reino Unido (52%), a Holanda (92%), a Bélgica (89%), a Áustria (48%) e a Dinamarca (81%) (COELHO; BRITO, 2011). Já na Irlanda, uma pequena parcela do RCD é utilizada como cobertura em aterros sanitários, sendo a maior parte depositada em aterros ilegais. Os Estados Unidos, por sua vez, em 2014, geraram 534 milhões de toneladas de RCD, o dobro da geração de resíduos sólidos urbanos (ZHENG *et al.*, 2017), e na China estima-se uma geração anual de 2.360 milhões de toneladas no período entre 2003 e 2013 (DURAN *et al.*, 2006).

De fato, o RCD ganhou ampla atenção de pesquisadores de todo o mundo na abordagem de problemas ambientais e socioeconômicos, no entanto a indústria da construção civil ainda se mostra vulnerável para mitigar esses problemas e seu desempenho está longe do ótimo (KABIRIFAR *et al.*, 2020). Diante disso, esforços notáveis têm sido realizados para minimizar a geração de RCD, e é importante considerar um mecanismo de gerenciamento eficaz para tratar as deficiências associadas ao RCD. Nesse sentido, Rosado *et al.* (2019) avaliaram o desempenho ambiental da gestão de RCD na área das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, localizadas em São Paulo, SP, por meio de uma avaliação de ciclo de vida, na qual foi considerada toda a gestão de RCD sob responsabilidade do governo municipal. Os resultados obtidos destacaram a importância dos impactos evitados com relação à reciclagem de aço, vidro e plásticos.

Por outro lado, é sabido que a produção de artefatos pré-industrializados com agregados reciclados, muitas vezes, não é simples devido a problemas como variabilidade de desempenho do agregado reciclado, variações de cor na peça produzida (que pode influenciar negativamente na venda) e possível aumento do consumo de cimento para atender ao desempenho e às especificações normativas, uma vez que o cimento, por ter custo mais elevado e ser mais poluente, pode acabar com a vantagem econômica e de sustentabilidade que o uso de agregados reciclados poderia proporcionar.

Duran *et al.* (2006) verificaram que a utilização de RCD para produção de novos produtos é economicamente viável, quando o custo de deposição em aterro exceder o custo de transporte para o centro de reciclagem e quando o custo de utilização do agregado primário exceder o custo do agregado reciclado. Ainda, se a reutilização ou reciclagem for feita no próprio canteiro, o processo será mais econômico e sustentável.

Soutsos *et al.* (2011) constataram que as características físicas dos agregados de RCD podem afetar adversamente as propriedades mecânicas dos blocos; no entanto, em teores adequados podem não conferir efeitos prejudiciais significativos na resistência à compressão dos blocos.

Gomes *et al.* (2017) confirmaram a viabilidade de se produzirem blocos de concreto estruturais com agregados reciclados oriundos do processo de produção desses blocos, os quais atenderam aos requisitos de resistência à compressão da NBR 6136 (ABNT, 2018).

Guo *et al.* (2018) demonstraram que é possível utilizar agregados reciclados de concreto para produção de blocos para construção civil e destacaram os benefícios ambientais que essa medida traz.

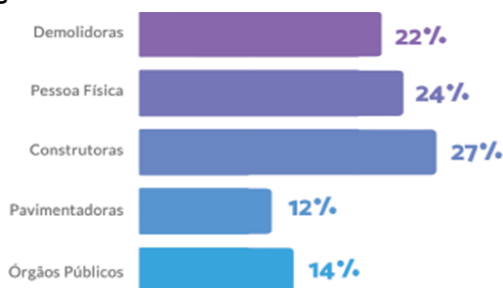
Quanto aos principais geradores de RCD, de acordo com a Pesquisa Setorial 2017/2018 da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil (ASSOCIAÇÃO..., 2018), entre os que responderam à pesquisa, as construtoras e pessoas físicas se destacaram como os principais geradores de RCD, com 27% e 24% respectivamente, conforme apresentado na Figura 1. Outros estudos mostram que as construtoras são responsáveis, aproximadamente, por 25% do RCD gerado, e o pequeno gerador é responsável por cerca de 75% do RCD gerado, o que mostra a importância de se promoverem a redução e a reutilização entre os pequenos geradores, e vai ao encontro do dado que diz que a maioria do cimento é consumida pelo “consumidor formiga”.

Nesse contexto, é importante sinalizar que grandes geradores, como as construtoras, tendem a produzir um resíduo mais limpo, enquanto os pequenos geradores, devido ao mau hábito construtivo, causado principalmente pela falta de políticas públicas que regularizem a atividade e pela falta de planejamento, tendem a não realizar uma adequada triagem do material no momento de sua geração, produzindo um resíduo que necessitará de maior esforço para classificação, limpeza e reciclagem (ASSOCIAÇÃO..., 2018). A correta triagem do RCD em pequenas obras pode e deve ser obtida por meio de políticas públicas, assim como a reutilização dos resíduos classe A.

Há diversas experiências promissoras com o uso de novas tecnologias em usinas de reciclagem para a melhoria da qualidade do agregado reciclado (BUNTENBACH *et al.*, 1997; JUNGSMANN *et al.*, 1997), com destaque especial ao Japão (SHIMA *et al.*, 2005). Tais tecnologias realizam, por exemplo, lavagem dos materiais finos, separação da fração orgânica leve e britagem combinada com aquecimento para a remoção da pasta de cimento porosa dos agregados graúdos reciclados. As novas tecnologias não podem, entretanto, encarecer demasiadamente o agregado reciclado. Normalmente, no mercado brasileiro, o metro cúbico do agregado reciclado custa de 50% a 75% do preço do agregado natural. Se for mais que 75%, fica muito difícil comercializar agregado reciclado. Mesmo selecionando os “clientes”, adotando-se a exigência de se receber somente o RCD limpo em usina, a usina de reciclagem não se consolidará se não atender à demanda real da região. Segundo Pinto (1999), nas cidades brasileiras, o RCD representa de 41% a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos (RSU). Para Cabral *et al.* (2009), o RCD representa importante parcela do RSU, em torno de 50%, enquanto para Silva e Fernandes (2012), em alguns municípios, o RCD representa 60% do montante de RSU.

Por motivos ambientais e econômicos existe uma necessidade crescente da reciclagem. Por isso, empresas e o setor público têm realizado diversas ações para o desenvolvimento dessa atividade. Portanto, este artigo tem por objetivo apresentar um panorama da reciclagem de RCD no Brasil, por meio de análise dos benefícios da triagem de RCD em canteiros e do perfil das usinas de reciclagem nacionais, suas limitações e perspectivas.

Figura 1 - Principais clientes geradores de RCD



Fonte: Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (2018).

Materiais e métodos

Para o desenvolvimento deste artigo foi aproveitada a experiência prática dos autores e realizado um levantamento do material bibliográfico sobre RCD, como da literatura científica desenvolvida por pesquisadores e das atualizações da Resolução Conama nº 307 (BRASIL, 2002). Outro material consultado foi a Pesquisa Setorial da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (Abrecon) 2017/2018, realizada mediante questionário respondido pelas usinas de reciclagem de resíduos da construção civil de todo o país. A pesquisa setorial trabalhou com dados fornecidos por 96 usinas, de um total estimado total de 360 usinas, ou seja, um número representativo para uma pesquisa de mercado. Mais recentemente foram utilizados os dados levantados pela Pesquisa Setorial 2019/2020 da Abrecon, que analisou os resultados fornecidos por 113 usinas de reciclagem de RCD brasileiras. Dessa maneira, foram consultados materiais desenvolvidos sobretudo em épocas mais recentes, o que é positivo, tendo em vista a constante atualização de termos e tecnologias.

Resultados e discussões

Resolução Conama nº 307 e atualizações

A Resolução Conama nº 307 (BRASIL, 2002), publicada em 2002, é uma ferramenta que impulsionou o setor de reciclagem dos resíduos de construção e demolição no Brasil. Esse documento passou a estabelecer que grandes empreendedores, públicos e privados, deveriam desenvolver um plano de gestão que minimizasse os impactos ambientais gerados por esses resíduos. Os planos deveriam estabelecer diretrizes com foco voltado para a reutilização, reciclagem ou outra destinação correta para esses materiais. Nos anos seguintes, o documento passou a receber atualizações: Resoluções Conama nº 348 (BRASIL, 2004), Conama nº 431 (BRASIL, 2011), Conama nº 448 (BRASIL, 2012) e Conama nº 469 (BRASIL, 2015).

A resolução Conama nº 348 incluiu telhas e demais objetos que contenham amianto em sua composição na classe de resíduos D, que são resíduos perigosos oriundos do processo de construção. A Resolução Conama nº 431, por sua vez, tirou o gesso da classe C e o categorizou como classe B, que são resíduos recicláveis para outras destinações. Na classe C incluem-se resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam reciclagem/recuperação. Atualmente, o resíduo de gesso pode, por exemplo, ser utilizado na fabricação de cimento, como retardador de pega do C3A e na substituição parcial do gesso natural na produção de revestimentos de paredes.

A Resolução Conama nº 448 (BRASIL, 2012) foi responsável pela alteração de variados trechos da Resolução Conama nº 307, entre os quais inclusão da necessidade de licença expedida por órgão ambiental competente para instalação de aterro de resíduos classe A; inclusão do termo “Área de transbordo e triagem – ATT” como forma de denominar áreas destinadas ao recebimento de RCD, para conseqüente triagem, armazenamento temporário e possível transformação deles; responsabilidade dos próprios geradores pelo tratamento de resíduos sólidos e destinação final dos rejeitos em local ambientalmente adequado; e necessidade de constar no plano municipal de resíduos da construção civil as diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício da responsabilidade dos pequenos geradores. Já a atualização Conama nº 469 incluiu as embalagens vazias (sem líquido) de tintas imobiliárias na classe B. Ainda, a Resolução Conama nº 469 definiu que essas embalagens devem estar inseridas no sistema de logística reversa.

Abordagens municipais referentes à reciclagem de RCD

Com a Resolução Conama nº 448, os municípios passaram a ser responsáveis pela elaboração das diretrizes, dos critérios e dos procedimentos para a gestão de resíduos na construção civil. Com isso, empresas do segmento de reciclagem de resíduos de construção e demolição passaram a ter crescimento contínuo.

A triagem do RCD em canteiro de obra acontece de forma ainda pouco intensa devido a vários fatores. Um deles é o plano de gerenciamento de RCD vigente no município, que, quando existente, pode ser rigoroso ou não. Em Londrina, PR, foi expedido o Decreto nº 768, em 2009 (PREFEITURA..., 2009), que instaurou o plano de gerenciamento de resíduos da construção civil no município. Nesse documento, entre todos os artigos elaborados, consta que a remoção dos resíduos gerados pelos pequenos geradores poderia ser realizada por transportadores públicos ou privados, mediante remuneração. Ainda, o plano municipal dispõe de um capítulo que discorre sobre o uso de agregados reciclados em obras públicas, sobretudo em casos de obras públicas de infraestrutura e edificações (desde que não seja de função estrutural). Define também que as especificações

técnicas e editais de licitação para obras municipais deverão fazer menção às condições para o uso de agregados reciclados provenientes de resíduos classe A.

Em 2016, em Ponta Grossa, PR, foi publicado o Decreto nº 10.955 (PREFEITURA..., 2016), que versa sobre o Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC) do município. Nesse documento se faz o englobamento de pequenos geradores como pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que gerem resíduos de até 5 m³ por matrícula de imóvel e se determina a existência de pontos de entrega voluntária (PEV) que atenderiam especificamente à categoria de pequenos geradores. Em Ponta Grossa, o uso preferencial dos agregados reciclados deve contemplar, desde que permitido pela norma regulamentadora, as obras de infraestrutura do município. Algumas diretrizes e parâmetros também são estabelecidos na Lei Ordinária nº 12.083 de 2015 (PREFEITURA..., 2015), que instaura diretrizes bastante específicas e proporciona algum estímulo à utilização desses materiais, dispensando licitação para aquisição deles, desde que observadas e respeitadas as exigências da Lei federal 8.666/1993 (BRASIL, 1993).

Curitiba, PR, é um exemplo de cidade em que existem obras que não removeram uma caçamba sequer de resíduo classe A, pois tudo foi reciclado no canteiro de obras, com economia de recursos e sem risco técnico. Outros exemplos positivos de reutilização/reciclagem do RCD existem e estão espalhados pelo país, como no caso da obra executada no Rio de Janeiro, RJ, na época das Olimpíadas de 2016, onde foi alugado um britador móvel que garantiu a economia em torno de R\$ 500 mil e ajudou o meio ambiente com a reciclagem de mais de 7.000 m³ de RCD, ao utilizar esse agregado reciclado em obras de pavimentação.

Na região da Amazônia, cidades como Rio Branco, AC, por exemplo, devido à escassez de depósitos de agregados, organizam operações logísticas complexas para garantir o abastecimento, as quais elevam substancialmente o custo dos agregados naturais e, juntamente com seu impacto ambiental, justificam a reciclagem de RCD na região. Assim, de 1999 a 2018 foram gerados 3,2 milhões de toneladas de RCD na cidade, com média de 517 kg/hab/ano, e, dessa forma, os indicadores econômicos mostram a viabilidade da instalação de uma usina de reciclagem com capacidade de processamento de 90 t/h, a fim de melhorar os aspectos ambientais, econômicos e sociais do setor da construção da região (SOUZA *et al.*, 2022).

Alternativas para canteiros de obras referentes à reciclagem de RCD

A taxa de geração de resíduos da construção civil (RCD) pode ser definida como a razão entre sua quantidade gerada, geralmente em unidade de volume ou de massa, e outro parâmetro, geralmente tempo e/ou população correspondente, ou ainda área construída. Neste último caso, em que as taxas são reportadas em unidades de massa por unidade de área construída, elas se desvinculam do momento econômico de dada época, além de serem independentes do quantitativo populacional (COSTA; ATHAYDE JÚNIOR; OLIVEIRA, 2014).

Pinto (1999) considerou uma massa de 1.200 kg/m² para edificações finalizadas, executadas predominantemente por processos convencionais, e uma perda média de materiais nos processos construtivos de 25% em relação à massa de materiais levados ao canteiro de obra, com um percentual de perdas de materiais removidos como RCD de 50%, chegando, assim, à taxa de 150 kg/m² de área construída. Isso significa que cerca de 70 kg a 80 kg de RCD classe A, ou ainda, de acordo com a massa unitária do agregado reciclado, um volume em torno de 0,0625 m³, são produzidos por metro quadrado de obra e poderiam ser utilizados na própria obra. Diante desses dados, estima-se que uma obra de 100 m² que utiliza um sistema construtivo tradicional geraria cerca de 7,5 t de RCD classe A, ou seja, cerca de 6 m³, considerando que não houvesse serviços de movimentação de terra.

Várias fábricas e construtoras já fazem isso, é uma simples questão de mudança de hábito. É necessário que esse novo hábito construtivo seja divulgado entre os pequenos construtores e que o setor público incentive essa mudança. Vários dos resíduos classe B podem ser vendidos ou doados, como metais, plásticos e papéis. No caso do resíduo do gesso, é possível substituir uma parcela do gesso natural pelo reciclado, o que reduziria bastante a massa de resíduo de gesso descartado. Resíduos C e D devem ser evitados desde o projeto inicial da edificação.

Percebe-se que mudanças/novas exigências são necessárias com relação ao gerenciamento do RCD em obras, de maneira a estimular a reciclagem, a reutilização e a redução do RCD, a desenvolver maior responsabilidade e mudanças de hábitos entre os geradores de resíduos, e, conseqüentemente, a fazer melhor uso do dinheiro público.

É possível, inclusive, não remover RCD classe A de pequenas obras. É importante que a reutilização sem a necessidade de um britador (ou aluguel de um, se for o caso) seja planejada, tendo em vista, entre outras coisas,

a não contaminação do RCD, a facilidade do procedimento, a aplicação que será feita do RCD e a quantidade e o tempo possível de estocar esse material.

Panorama de usinas de reciclagem de RCD no país

Segundo Miranda *et al.* (2009), até 2002 o número de usinas totais no país era de apenas 16, com a reduzida taxa de crescimento de 3 usinas por ano. Com a publicação da Resolução Conama nº 307 (BRASIL, 2002), essa taxa de crescimento aumentou de 3 para 9 usinas por ano. Em 2008, já eram contabilizadas em torno de 47 usinas de reciclagem de RCD. Desse total de usinas em 2008, a maior parte (cerca de 52%) se concentrava em municípios que contavam com um plano de gerenciamento de RCD. Quanto à distribuição regional das usinas no Brasil, tem-se que tanto os dados obtidos por Miranda *et al.* (2009) quanto os dados da Abrecon (ASSOCIAÇÃO..., 2018) expõem a concentração dessas unidades de usinas na região Sudeste. Em 2008, 74% das usinas de reciclagem se localizavam nessa região e, em 2018, esse percentual caiu para 69% (Tabela 1). No Estado de São Paulo ocorre a concentração mais densa, desde 2008 até 2018, com o percentual de 60% das unidades de todo o país.

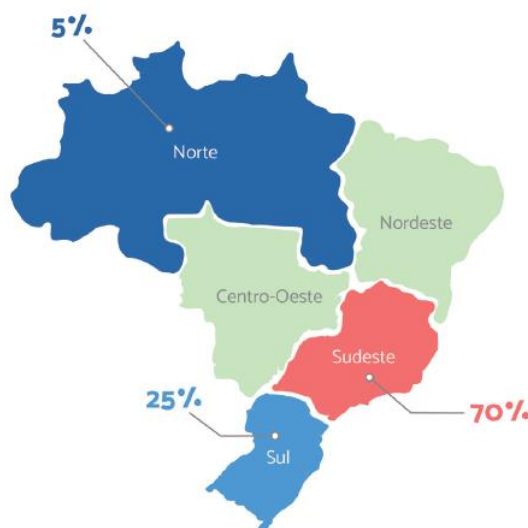
Ainda segundo a Abrecon (ASSOCIAÇÃO..., 2018), entre as usinas de reciclagem de RCD que surgiram nos dois anos anteriores a 2018, nota-se que cerca de 70% se concentram na região Sudeste, e o estado de São Paulo ficou responsável por 40% dessas novas usinas. Outras 25% estão na região Sul, seguida da região Norte, com 5%. As regiões Nordeste e Centro-Oeste não tiveram novas usinas nos últimos dois anos (Figura 2).

Tabela 1 - Distribuição percentual das usinas de reciclagem por região

Região	Porcentagem de distribuição das usinas (%)	
	Até 2008	Até 2018
Norte	0	1
Nordeste	6	8
Centro-Oeste	6	3
Sudeste	74	69
Sul	13	19

Fonte: adaptada de Miranda *et al.* (2009) e Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (2018).

Figura 2 - Usinas de reciclagem de RCD que reciclam há menos de 2 anos, por região (%), ano-referência 2018



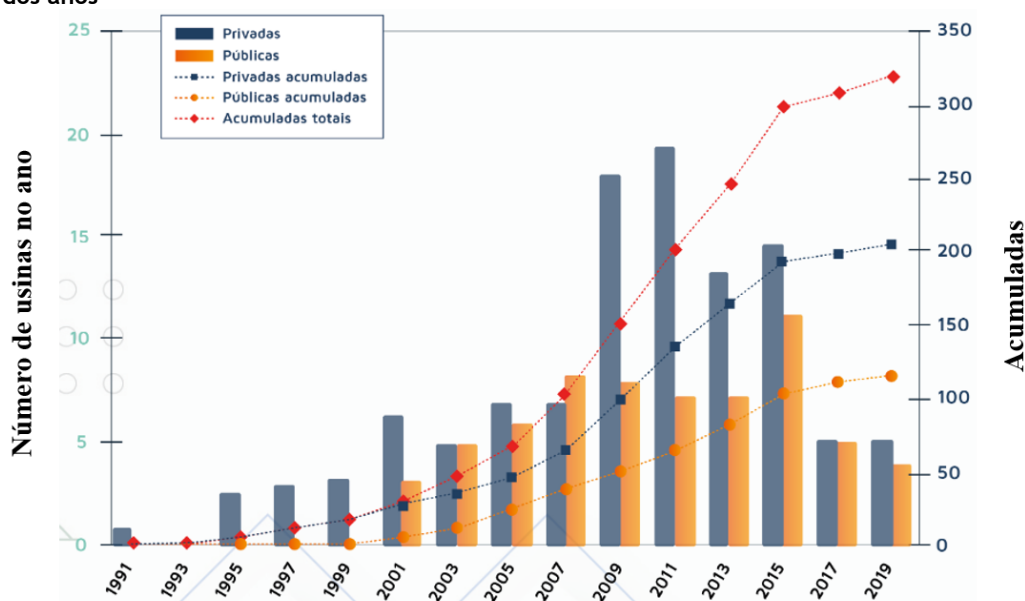
Fonte: Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (2018).

Até meados de 2003 o número de usinas instaladas por ano não ultrapassava 5 (Figura 3). Com um total acumulado que não ultrapassava 20 usinas em todo o Brasil, a maior parte era pública. A partir daquele ano houve um crescimento significativo do número de usinas instaladas por ano até 2013, quando esse número chegou a 25 usinas instaladas por ano, portanto 5 vezes superior em relação ao período anterior, resultado direto da participação do setor privado no negócio da reciclagem de RCD. A partir de 2013 as usinas do setor privado passaram a representar grande parte das usinas brasileiras, e as iniciativas públicas ficaram restritas a menos de 30% do total (ASSOCIAÇÃO..., 2020). De 2015 em diante foi observada redução na quantidade de usinas instaladas por ano, tanto públicas quanto privadas, fruto da crise econômica que atingiu todos os setores da economia brasileira, em especial o industrial. Considerando somente os dados coletados pelo questionário da Pesquisa Setorial 2017/2018, em que foram trabalhados dados de apenas 96 usinas, tem-se que o crescimento anual total de usinas de reciclagem entre 2008 e 2013 foi de 10,6 usinas por ano. No período de 2015 a 2017 essa taxa passou para 10,5 usinas por ano. Em 2019, de acordo com a Abrecon (ASSOCIAÇÃO..., 2020), o total acumulado de usinas que têm contato direto com a associação foi superior a 300, sendo um terço públicas (cerca de 100 usinas) e dois terços privadas (aproximadamente 200 usinas) (Figura 3). Em 2019 foi estimado que no Brasil o total de usinas chegue a aproximadamente 360 unidades de reciclagem, número superior ao total apresentado pela Pesquisa Setorial 2019/2020 da Abrecon, que dispõe de 320 usinas cadastradas, pois nem todas as usinas mantêm contato direto com a associação (estimativa de 40 usinas, 23% a mais que o total).

Inovações nas usinas de reciclagem de RCD

Com o passar dos anos, mudanças tecnológicas ocorreram nas usinas de reciclagem no Brasil (Quadro 3). Segundo levantamento realizado pela Abrecon (ASSOCIAÇÃO..., 2020), a primeira geração de usinas corresponde às usinas instaladas até 2002, quando havia um ambiente de negócio com pouca regulamentação e predominância de usinas públicas de reciclagem, produção pequena e poucos instrumentos de operação. As usinas eram centradas na aquisição de britadores, e havia pouca preocupação com as demais operações do processo. De 2002 a 2010 surgiram novas gerações de usinas, marcadas pela entrada da iniciativa privada. De 2010 em diante houve a disseminação de usinas móveis, usinas híbridas (que combinam usina fixa com móvel), a introdução de mais operações de processamento em áreas de transbordo e triagem, e a entrada de usinas de grande porte, com maior aporte tecnológico (projetos de mesas de triagem, sistemas de peneiras rotativas, remoção de impurezas leves por aeroclassificador, lavagem, diversificação de rotas de produtos). Assim, a parte de descontaminação do material ganhou importância, passando a haver controle melhor da produção (instrumentação) e maior diversidade e qualidade de produtos obtidos, devido ao desenvolvimento do mercado dos agregados reciclados.

Figura 3 - Histórico da implementação de usinas de reciclagem (privadas e públicas) de RCD no Brasil ao longo dos anos



Fonte: adaptada de e Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (2020).

Quadro 3 - Mudanças tecnológicas ocorridas nas usinas de reciclagem no Brasil

1ª Geração Maioria das usinas até 2002	Ambiente de negócio com pouca regulamentação e predominância de usinas públicas de reciclagem, produção pequena e com poucos instrumentos de operação. As usinas eram centradas na aquisição de britadores, e havia pouca preocupação com as demais operações do processo.
2ª Geração Entre 2002 e 2010	Maior regulamentação e normatização do segmento. Crescimento de usinas ainda tímido e redução na participação relativa das usinas públicas em relação ao total (usinas públicas e privadas).
3ª Geração Entre 2010 e 2020	Criação de controles eletrônicos do RCD, disseminação de conhecimento por meio de cursos, workshops, seminários e missões técnicas. Crescimento mais acentuado do mercado de usinas, ATT e aterros de inertes. Avanço mais significativo da história do setor.
4ª Geração A partir de 2020	Unidades de reciclagem com maior controle da produção, baseado em conjuntos mais completos de triagem e britagem, introdução de procedimentos de lavagem em algumas usinas, sofisticação das normas técnicas e medidas de produtividade por meio de softwares.

Fonte: Pesquisa Setorial 2019/2020 (ASSOCIAÇÃO..., 2020).

Miranda *et al.* (2019) explanaram a possibilidade de utilização de uma usina móvel de reciclagem de RCD desenvolvida por meio de um projeto de pesquisa financiado pelo BNDES, com diferentes inovações, como a possibilidade de homogeneização do agregado reciclado através de movimento radial. No projeto, a usina móvel conta com três módulos: o de britagem, com capacidade nominal de cerca de 80 m³/h, o de qualidade e o de moagem. O terceiro módulo, com capacidade nominal de reciclagem de RCD aproximadamente de 8 m³/h, pode ser utilizado diretamente em um canteiro de obras na produção de areia reciclada ou na transformação da fração graúda do módulo de qualidade em miúda. Também pode ser transportado para vários canteiros de obras simplesmente acoplado a usina ao engate traseiro de um carro. Por meio do movimento radial, é possível criar pilhas homogeneizadas de agregados reciclados, o que reduz a variabilidade. Ainda é possível a produção de agregados reciclados com controle granulométrico, o que é bastante interessante na aplicação em pavimentos, por possibilitar a obtenção de maiores resultados de CBR (*California Bearing Ratio*).

Segundo os autores, outras inovações estão presentes, como a peneira vibratória equipada com sistema mecânico capaz de desentupir a tela, que possibilita uma separação mais adequada desses materiais mesmo quando estão úmidos. O item é bastante interessante, pois a produção de materiais úmidos de diferentes granulometrias em conjunto pode inviabilizar sua utilização. Ventilador para remoção de parte das impurezas leves, rompedor elétrico para evitar entupimento do britador, sistema para duplicar a pilha de escalpe e para aumentar a produção com redução do desgaste do britador, entre outras, são inovações presentes no projeto que merecem destaque. Essas inovações podem contribuir consideravelmente para a produção de agregados reciclados de RCD com qualidade superior, e até então várias delas não foram observadas em outras usinas, tanto em âmbito nacional quanto internacional. O fato de ser uma usina móvel facilita a implantação da planta em diversas regiões do país e pode facilitar a realização de consórcios entre municípios para a obtenção do produto reciclado (MIRANDA *et al.*, 2019).

Relação entre produção de agregados e RCD gerados no Brasil

Mesmo num cenário de crise econômica, a capacidade máxima de produção das usinas brasileiras veio crescendo até 2018, atingindo a capacidade de processar cerca de 45% de todo o RCD gerado no país (aproximadamente 45 milhões de toneladas por ano) (ASSOCIAÇÃO..., 2020). Apesar de a quantidade de usinas ter aumentado significativamente após a Resolução Conama n° 307 (BRASIL, 2002), a produção efetiva de agregados reciclados tem sido inferior à capacidade produtiva máxima e foi similar ao longo destes anos, não ultrapassando a marca de 20 milhões de toneladas por ano, ou seja, operando de forma relativamente constante a menos de 50% de sua capacidade. Mesmo nesse cenário, as condições de operação foram suficientes para obter índices de reciclagem nacionais (volume de agregado reciclado dividido pelo volume de RCD gerado) na ordem de 15%. Esses dados, apresentados na Tabela 2, não são índices de reciclagem elevados se comparados com os de alguns países desenvolvidos, mas similares aos alcançados por países como Portugal e Espanha.

Tabela 2 - Índices de reciclagem de RCD e capacidade produtiva de usinas brasileiras

Índice	2013	2014/2015	2017/2018	2019/2020
Geração de resíduo anual (t)	100.516.000	102.225.000	103.830.000	105.073.500
Produção de AR extrapolada (t/ano)	19.830.064,50	20.712.000,00	15.679.980,00	16.944.692,00
Índice de reciclagem (AR produzido/RC gerado) – extrapolado	19,7%	20,3%	15,1%	16,1%
Capacidade máxima de produção de AR – extrapolada (t/ano)	42.191.626,60	46.026.666,67	44.799.942,86	50.487.520,00
Capacidade máxima de reciclagem (Cap. Máx./Geração RCD) – extrapolada	42,0%	45,0%	43,1%	48,0%

Fonte: Pesquisa Setorial 2019/2020 (ASSOCIAÇÃO..., 2020).

Conclusões

Com a Resolução Conama nº 307 (BRASIL, 2002), a taxa de crescimento das usinas aumentou consideravelmente. Até 2008 essa taxa era de 9 usinas por ano, entretanto, com o crescimento de demanda por essas unidades de reciclagem e também esta sendo vista como possibilidade de investimento por parte de empreendedores, o crescimento passou a ser de 10,6 usinas por ano.

A distribuição das usinas no território nacional ainda é bastante desigual, com a concentração de 69% das unidades na região Sudeste. Esse cenário é algo que deve ser abordado e estimulado por representantes do governo, de modo a influenciar a instalação de mais unidades, sobretudo nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

Até 2008, se todas as usinas instaladas e em processo de instalação estivessem operando em sua capacidade nominal, apenas 3,6% do RCD de todo o país estaria sendo reciclado. Em 2018, esse valor poderia ser considerado de 45%. Dessa maneira, é possível observar um cenário favorável para empreendedores, tendo em vista a demanda desse tipo de serviço por empresas e prefeituras, que seriam beneficiadas pela presença de usinas de RCD na região, sobretudo pela reduzida distância a ser percorrida e por menores taxas a serem desembolsadas.

Usina móvel, como o exemplo proposto por Miranda *et al.* (2019), pode facilitar consideravelmente a produção de agregados reciclados de qualidade superior. Quando adquirida ou alugada através de consórcios intermunicipais, obtêm-se, além de um agregado reciclado melhor, redução de custos com a destinação de RCC do município e possibilidade de resolver o problema do RCD em pequenos municípios com baixo investimento.

Referências

- ALTHEMAN, D. Avaliação da durabilidade de concretos confeccionados com entulho de construção civil. In: CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP, X, Universidade de Campinas, Campinas, 2002. **Anais [...]** Campinas: UNICAMP, 2002.
- ANGULO, S. C. Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico dos concretos. São Paulo, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados.** São Paulo, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019.** São Paulo, 2019. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019>. Acesso em: 15 dez. de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Pesquisa Setorial 2017/2018**. São Paulo: Abrecon, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Pesquisa Setorial 2020**. São Paulo: Abrecon, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15112**: resíduos da construção civil e resíduos volumosos: áreas de transbordo e triagem: diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15113**: resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes: aterros: diretrizes. Rio de Janeiro, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15114**: resíduos sólidos da construção civil: áreas de reciclagem: diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115**: agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: execução de camadas de pavimentação: procedimentos. Rio de Janeiro, 2004d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland: requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria: requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

BODI, J. Experiência brasileira com entulho reciclado na pavimentação. In: **RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL**, São Paulo, 1997. **Anais [...]** São Paulo: PCC/USP, 1997.

BRASIL, **Resolução Conama 307**, de 5 de julho de 2002. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Seção 1, p. 95-96.

BRASIL, **Resolução Conama 348**, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução Conama n. 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 ago. 2004. Seção 1, p. 70.

BRASIL, **Resolução Conama 431**, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 maio 2011.

BRASIL, **Resolução Conama 448**, de 18 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10, 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 jan. 2012.

BRASIL, **Resolução Conama 469**, de 29 de julho de 2015. Altera a Resolução Conama n 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 jul. 2015.

BRASIL. **Lei 14.026**, de 15 de julho de 2020. Marco Legal do Saneamento Básico. Brasília, 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm#. Acesso em: 15 maio 2022

BRASIL. **Lei nº 8.666**, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Brasília, 1993. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18666cons.htm. Acesso: 15 maio 2022.

BUNTENBACH, S. *et al.* Wet processing of demolition rubble. **Aufbereitungs-Technik**, v. 38, n. 3, p. 130-138, 1997.

BUTTLER, A. M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto**: influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. São Carlos, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

CABRAL, A. E. B. *et al.* Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 55, n. 336, p. 448-460, 2009.

COELHO, A.; BRITO, J. Economic analysis of conventional versus selective demolition: a case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, p. 382-392, 2011.

- COSTA, R. V. G.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; OLIVEIRA, M. M. Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 127-137, jan./mar. 2014.
- DURAN, X. *et al.* A model for assessing the economic viability of construction and demolition waste recycling and the case of Ireland. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 46, n. 3, p. 302-320, 2006.
- EUROSTAT. Statistics Explained. **Waste statistics**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics. Acesso em: 15 dez. 2022.
- EUROSTAT. Statistics Explained. **Waste statistics**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics. Acesso em: 15 maio 2023.
- GOMES, P. C. C. *et al.* Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 267-280, jul./set. 2017.
- GUO, Z. *et al.* Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates. **Journal of Cleaner Production**, v. 199, n. 5, p. 136-149, 2018.
- JUNGMANN, A. *et al.* Building rubble treatment using alljig in Europe and USA. **Aufberei-tungs-Technik**, v. 38, n. 3, p. 130-138, 1997.
- KABIRIFAR, K. *et al.* A conceptual foundation for effective construction and demolition waste management. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 1, p. 100019, oct. 2020.
- KATAGUIRI, K. **Proposição de critérios técnicos e ambientais para criação de banco de solos para a região metropolitana de São Paulo**. São Paulo, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas e concretos**. São Paulo, 1997. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- MIRANDA, L. F. R. *et al.* Usina móvel inovadora para reciclagem de RCD. **Revista TÉCNICA**, v. 254, n. 1, p. 12-16, 2019.
- MIRANDA, L. F. R. Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos classe A da construção civil. São Paulo, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- MIRANDA, L. F. R. **Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado**. São Paulo, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- MIRANDA, L. F. R. *et al.* Reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009.
- MIRANDA, L. F. R. **Operação de usina de reciclagem de entulho**. São Paulo: Abrecon, 2017. Curso sobre Gestão de Resíduos da Construção Civil e Operação de Usina de Reciclagem de Entulho.
- MULDER, E. *et al.* Closed cycle construction: an integrated process for the separation and reuse of C&D waste. **Waste Management**, v. 27, n. 10, p. 1408-1415, 2007.
- PINTO, T. de P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- PINTO, T. de P. **Utilização de resíduos de construção: estudo do uso em argamassas**. São Carlos, 1986. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LONDRINA. **Decreto nº 768**, de 23 de setembro de 2009. Institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil no Município de Londrina-PR, disciplina os transportadores de resíduos em geral e dá outras providências. Londrina: Câmara Municipal, 2009.

Disponível em: https://www1.londrina.pr.gov.br/dados/images/stories/Storage/sec_ambiente/gestao%20residuos/decreto_768_2009.pdf. Acesso em: 15 dez. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PONTA GROSSA. **Decreto nº 10.955**, de 1º de fevereiro de 2016. Institui o plano municipal de gestão de resíduos da construção civil – PMGRCC. Ponta Grossa: Câmara Municipal, 2016. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/p/ponta-grossa/decreto/2016/1099/10995/decreto-n-10995-2016-institui-o-plano-municipal-de-gestao-de-residuos-da-construcao-civil-pmgrcc>. Acesso em: 15 dez 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PONTA GROSSA. **Lei Ordinária nº 12.083**, de 23 de março de 2015. Institui normas para aquisição de produtos resultantes de resíduos sólidos e normatiza a participação de licitantes no município, e dá outras providências. Ponta Grossa: Câmara Municipal, 2015. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/p/ponta-grossa/lei-ordinaria/2015/1208/12083/lei-ordinaria-n-12083-2015-institui-normas-para-aquisicao-de-produtos-resultantes-de-residuos-solidos-e-normatiza-a-participacao-de-licitantes-no-municipio-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 15 dez. 2022.

ROSADO, L. P. *et al.* Life cycle assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State, Brazil. **Waste Management**, v. 85, p. 477-489, 2019.

SHIMA, H. *et al.* Concrete block production from construction and demolition waste in Tanzania. **Advanced Concrete Technology**, v. 3, n. 1, p. 53-67, 2005.

SILVA, V. A.; FERNANDES, A. L. T. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição. **Sociedade e Natureza**, v. 24, n. 2, p. 333-344, 2012.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil**: avanços institucionais e melhorias técnicas. São Paulo, 2015. Disponível em: <https://sindusconsp.com.br/download/manual-gestao-ambienta-de-residuos-da-construcao-civil/>. Acesso em: 15 dez. 2022.

SOUTSOS, M. N. *et al.* Concrete building blocks made with recycled demolition aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 2, p. 726-735, 2011.

SOUZA, F. da S. *et al.* Mapping and recycling proposal for the construction and demolition waste generated in the Brazilian Amazon. **Conservation and Recycling**, v. 176, p. 105896, 2022.

SOUZA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto**: aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado. Brasília, 2001. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

ZHENG, L. *et al.* Characterizing the generation and flows of construction and demolition waste in China. **Construction and Building Materials**, v. 136, p. 405-413, 2017.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto**. Campinas, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

Agradecimentos

Ao BNDES, pelo apoio financeiro no desenvolvimento da usina móvel.

Rafaella Salvador Paulino

Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Validação de dados, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Federal do Paraná | Centro Politécnico, Jardim das Américas | Curitiba - PR - Brasil | CEP 82590-300 | Tel.: (41) 3361-3110 | E-mail: rafaellaspaulino@gmail.com

Carlos Humberto Lazari

Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Validação de dados, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original.

Departamento de Construção Civil | Universidade Estadual de Londrina | Rod. Celso Garcia Cid, PR-445, Km 380, Campus Universitário | Londrina - PR - Brasil | CEP 86057-970 | Tel.: (43) 3371-4727 | E-mail: cartoshlazari@gmail.com

Leonardo Fagundes Rosemback Miranda

Conceitualização, Metodologia, Administração do projeto, Supervisão, Validação de dados e experimentos.

Departamento de Construção Civil | Universidade Federal do Paraná | Centro Politécnico, Jardim das Américas | Curitiba - PR - Brasil | CEP 81531-980 | Tel.: (41) 33613364 | E-mail: reciclagem.miranda@gmail.com

Vanessa Vogt

Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Redação do manuscrito original.

Instituto Federal do Paraná | Rua João Negrão, 1285, Rebouças, Campus Curitiba | Curitiba - PR - Brasil | CEP 81530-900 | Tel.: (41) 3535-1662 | E-mail: vogt.vanessa@gmail.com

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.