

Impulsionando a Sustentabilidade na Construção: ReBuild17 e a Valorização de Resíduos de Construção e Demolição

Raquel Galante[1*], Rogério Medeiros[1], Catarina Amaral[2], Fernando Cunha[1], Francisco Fernandes[2].
[1]CIMPA – Centro de Inovação em Materiais e Produtos Avançados, Lda, Rua da Tecnologia K – Epsilon, nº2, 9560-421 Lagoa, Azores, Portugal
[2]LREC – Laboratório Regional de Engenharia Civil, Ponta Delgada, Açores, Portugal

*autor correspondente: raquelgalante@cimpa.pt

RESUMO

A indústria da construção civil é um dos maiores contribuintes para o impacto ambiental global, devido ao seu elevado consumo de recursos e produção de resíduos. A reutilização de resíduos de construção surge como uma estratégia crucial para reduzir a pegada ecológica do setor, promovendo práticas mais sustentáveis e responsáveis. Neste contexto, o projeto ReBuild 17, apoiado pelo EEAGrants, apresenta-se como uma iniciativa inovadora que promove a economia circular no setor da construção civil em Portugal. No âmbito do projeto, foram identificados, mapeados e caraterizados resíduos de construção e demolição (RCDs) produzidos na Região Autónoma dos Açores (RAA). Partindo da caracterização, foram selecionadas 4 tipologias de resíduos não perigosos: madeira, vidro, plástico e poliestireno expandido. De modo a demonstrar a viabilidade da incorporação destes resíduos em novos produtos, foram desenvolvidos modelos demonstradores: microcimento, argamassa, betão e compósito. Realizaram-se dossiers técnicos, nos quais está descrita informação sobre a caraterização dos resíduos e dos modelos demostradores, bem como sobre os procedimentos experimentais de incorporação de RCDs. Com base nos estudos efetuados foram elaboradas rotas de valorização dos resíduos. Essas rotas estão aplicadas na plataforma digital ReBuild 17, assim, a plataforma irá dar orientações ao utilizador de como e quais parceiros poderá interagir, de modo a valorizar um determinado resíduo. Essa valorização poderá ser realizada passo-a-passo ou através dum plano, no qual são incluídas mais do que uma etapa. O projeto desenvolveu-se à escala regional, no entanto, poderá ser adaptado e replicado em outras regiões.

ABSTRACT

The construction industry is one of the largest contributors to global environmental impact due to its high resource consumption and waste production. The reuse of construction waste emerges as a crucial strategy to reduce the sector's ecological footprint, promoting more sustainable and responsible practices. In this context, the ReBuild 17 project, supported by the EEA Grants, presents itself as an innovative initiative that promotes the circular economy in the construction sector in Portugal. Within the scope of the project, construction and demolition waste (CDW) generated in the Autonomous Region of the Azores (RAA) was identified, mapped, and characterized. Based on this characterization, four types of non-hazardous waste were selected: wood, glass, plastic, and expanded polystyrene. To demonstrate the feasibility of incorporating these wastes into new products, demonstrative models were developed: microcement, mortar, concrete, and composite. Technical dossiers were prepared, containing information on the characterization of the wastes and demonstrative models, as well as on the experimental procedures for incorporating CDWs. Based on the studies conducted, waste valorization routes were developed. These routes are implemented on the ReBuild 17 digital platform, which provides guidance to the user on how and with which partners to interact in order to valorize a specific waste. This valorization can be carried out step by step or through a plan that includes more

than one stage. The project was developed on a regional scale; however, it can be adapted and replicated in other regions.

PALAVRAS-CHAVE: Economia Circular, Sustentabilidade na Construção, Reutilização de Resíduos, Modelos Demonstradores, Resíduos de Construção e Demolição (RCDs).

1. INTRODUÇÂO

A indústria da construção civil é amplamente reconhecida como um dos maiores consumidores de recursos naturais e um dos principais contribuintes para a degradação ambiental a nível global (Manzi and Bignozzi 2020). Responsável por cerca de 36% do consumo mundial de energia e aproximadamente 40% das emissões de dióxido de carbono (Chen, Huang et al. 2023), as operações deste sector têm impactos significativos sobre o meio ambiente, desde a extração de matérias-primas até a gestão de resíduos de construção e demolição (RCDs) (Coelho and de Brito 2012, Chen, Wang et al. 2021). Em Portugal, o cenário não é diferente, com o sector da construção civil a representar uma parte substancial do consumo energético nacional e da produção de resíduos sólidos, que frequentemente acabam em aterros, contribuindo para a contaminação do solo e da água (Tejo 2019).

Neste contexto, a promoção de práticas sustentáveis torna-se imperativa. A reutilização de RCDs emerge como uma estratégia vital para mitigar os impactos ambientais associados à construção civil (Braga, Silvestre et al. 2017, Akhtar and Sarmah 2018, Florez, Castano Giraldo et al. 2024). Além de reduzir a quantidade de resíduos enviados para aterros, a reciclagem e a reutilização de materiais podem significativamente diminuir a demanda por recursos virgens, reduzindo assim a pegada ecológica do sector. Por exemplo, a reutilização de materiais como madeira, vidro, plástico e poliestireno expandido não só preserva recursos naturais e reduz a energia consumida em processos de fabricação, como também promove a economia circular, essencial para um desenvolvimento sustentável.

O projeto ReBuild 17, apoiado pelo EEAGrants, insere-se nesta visão de sustentabilidade, servindo como um modelo inovador de economia circular aplicada à construção civil em Portugal. Focando na Região Autónoma dos Açores, uma área com características únicas e desafios específicos devido à sua localização geográfica e condições climáticas, o projeto visa a valorização de RCDs através de sua incorporação em novos produtos como microcimento, argamassa, betão e compósitos. Estas iniciativas não apenas ajudam a reduzir o impacto ambiental, mas também promovem a inovação e o desenvolvimento local, ao transformar o que antes era considerado resíduo em novos recursos valiosos.

A importância de projetos como o ReBuild 17 reside não apenas na contribuição direta para a redução da pegada ecológica, mas também no seu papel como catalisador para mudanças nas práticas da indústria e na perceção pública sobre os RCDs. Ao demonstrar a viabilidade técnica e económica da reutilização de resíduos, tais projetos incentivam outras empresas e regiões a adotar práticas semelhantes, potencializando o impacto ambiental positivo em uma escala muito maior.

A economia circular na construção civil tem recebido crescente atenção como uma solução potencial para os desafios de sustentabilidade enfrentados pelo sector (Corvellec, Stowell et al. 2022, Ma and Hao 2024). Este modelo económico enfatiza a maximização do valor dos materiais ao longo do tempo, procurando eliminar resíduos através do redesenho, reutilização, reciclagem e recuperação de produtos no fim da sua vida útil (Lazarevic, Valve et al. 2017). Especificamente no contexto da construção civil, a reutilização de resíduos como vidro e madeira tem-se destacado, oferecendo tanto desafios quanto oportunidades significativas para a indústria.

Estudos anteriores indicam que o vidro reciclado, quando processado adequadamente, pode ser transformado em agregados para betão (Ahmad, Aslam et al. 2021, Navaneetha, Rao et al. 2023), argamassa (Kameche, Djelil et al. 2023, Abderraouf Belkadi, Kessal et al. 2024) e outros materiais de construção (Dadouch, Belal et al. 2024). Esta

reutilização não apenas contribui para reduzir o consumo de matérias-primas virgens, mas também diminui a quantidade de resíduos destinados a aterros. No entanto, o uso de vidro reciclado enfrenta desafios técnicos, como a gestão da reatividade química do vidro com alguns cimentos, que pode comprometer a durabilidade do material Soluções como a alteração das misturas de betão e o tratamento superficial dos agregados de vidro têm sido exploradas para superar essas barreiras (BYARS, MORALES-HERNANDEZZ et al. 2004, Müller, Rübner et al. 2006).

Por outro lado, a madeira, um material historicamente fundamental na construção civil, oferece vantagens distintas quando reciclada. A reutilização de madeira não só ajuda na conservação das florestas, mas também reduz a emissão de gases de efeito de estufa, dado que o material armazena carbono ao longo da sua vida útil (Johnston and Radeloff 2019, Zhang, Chen et al. 2020). Pesquisas mostram que a madeira reciclada pode ser eficazmente utilizada para a produção de painéis de partículas, mobiliário (Costa, Serra et al. 2024) e até mesmo como reforço em novos materiais compósitos (Lopez, Gonçalves et al. 2020, Škultecké, Vaitkus et al. 2023). Contudo, a qualidade do material reciclado pode variar, e a presença de contaminantes como pregos, adesivos e tratamentos antigos pode complicar o processo de reciclagem.

A incorporação destes materiais em novos usos na construção civil não é apenas uma questão técnica, mas também económica e regulatória. A falta de normas claras que regulem a qualidade e o uso de materiais reciclados é um obstáculo significativo, assim como a resistência do mercado em aceitar produtos que utilizam materiais reciclados. Além disso, a variação na disponibilidade de resíduos, especialmente em regiões menos industrializadas, pode limitar a aplicação prática da economia circular.

No âmbito do projeto ReBuild 17, uma variedade de resíduos de construção e demolição (RCDs) foi cuidadosamente selecionada e reutilizada para a criação de modelos demonstradores de novos produtos de construção, com o objetivo de promover práticas sustentáveis e inovadoras no setor da construção civil em Portugal. Os materiais escolhidos para este projeto incluem madeira, vidro, plástico e poliestireno expandido, cada um deles submetido a processos específicos para garantir sua viabilidade e eficácia na incorporação em novos compostos e aplicações. No âmbito deste artigo, será dado foco ao caso de valorização da madeira e do vidro.

2. MATERIAIS

Os resíduos de madeira (essencialmente criptoméria) e de vidro foram recolhidos junto a um operador de resíduos de construção e demolição de São Miguel, nomeadamente a Tecnovia Ambiente.

A resina de pinheiro, ECOTACK 1001 - GUM ROSIN ELLIOTTI, foi adquirida à PinoPine. A resina de Poliuretano, TPU RAVATHANE® (TPE-U) Ravago, foi adquirido à Resinex.

3. METODOLOGIAS

3.1. Madeira

3.1.1. Secagem da madeira

A madeira, um material natural celulósico, possui a característica intrínseca de absorver humidade, o que pode comprometer sua qualidade e eficácia quando usada em processos de reciclagem e reutilização.

Para mitigar esse problema, é imperativo implementar uma etapa inicial de secagem. O processo adotado envolve a utilização de estufas aquecidas com convecção forçada,

permitindo uma extração eficaz do vapor de água e outras substâncias voláteis. Os resíduos de madeira são colocados a uma temperatura controlada de 110°C por um período de 48 horas.

3.1.2. Trituração e segmentação da madeira

Após a secagem, a madeira passou por uma caracterização inicial, baseada na observação manual e remoção de agentes contaminantes como pregos e outros componentes metálicos.

Seguiu-se o processo de trituração e segmentação. O objetivo foi produzir uma matéria-prima com tamanho homogéneo, adequada para combinação com materiais poliméricos. Utilizou-se um triturador, configurado para cortar os resíduos em partículas de tamanhos específicos, variando entre 500 e 2000 µm. Esta granulometria foi escolhida para otimizar a interface de adesão nos materiais compósitos a serem produzidos posteriormente.

3.1.3. Produção de ecocompósito

O processo de moldação por compressão foi empregado na fabricação dos compósitos. Durante este processo, uma mistura pré-determinada de resíduos de madeira e matriz polimérica foi colocada dentro de um molde.

Os materiais, inicialmente no estado sólido e já misturados, foram submetidos a calor e pressão durante um ciclo de tempo definido para facilitar a mistura e homogeneização completas dos componentes. Foram analisadas diferentes proporções de polímero/resíduo, variando entre 50:50 e 70:30 (resina: resíduo), para verificar a influência dessas proporções nas propriedades físicas, mecânicas e estéticas dos compósitos.

3.2. Vidro

3.2.1. Limpeza

Em primeiro lugar, os resíduos de vidro foram submetidos a um processo seleção e remoção de contaminantes, e de seguida de limpeza, com água e detergente. Posteriormente foram secos à temperatura ambiente.

3.2.2. Trituração e segmentação

Depois de limpos e secos, os vidros foram triturados, sendo reduzidos a micropartículas entre 180 e 500 µm.

3.2.3. Produção do microcimento

O processo de produção do microcimento iniciou-se com a combinação das micropartículas de vidro com a resina polimérica e outros aditivos, em proporções cuidadosamente controladas para manter a consistência e as propriedades físicas do microcimento.

Esta etapa é crítica para garantir a homogeneização completa dos componentes e para otimizar a reologia do compósito. As proporções típicas estudadas no projeto variaram em peso, normalmente numa relação de 5:1 (resíduo: resina), dependendo das características finais desejadas.

3.2.4. Aplicação do microcimento

Após a preparação da mistura, o microcimento foi aplicado manualmente em camadas sucessivas, cada uma com uma espessura aproximada de 2 a 3 mm, somando um total de 6 a 10 camadas para alcançar a espessura final desejada.

Cada camada foi cuidadosamente espalhada usando espátulas, garantindo uma aplicação uniforme e contínua, ideal para superfícies sem interrupções visuais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Madeira

A implementação das técnicas de secagem, trituração e moldação por compressão resultou na produção de ecocompósitos de madeira com características promissoras.

Os testes realizados demonstraram que as diferentes proporções de polímero/resíduo, nomeadamente 50:50 e 70:30, influenciaram significativamente as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos. As amostras com maior proporção de resina (70:30) apresentaram maior resistência mecânica e estabilidade dimensional, enquanto que as amostras com menor proporção de resina (50:50) destacaram-se pela sua sustentabilidade ambiental, oferecendo um melhor balanço entre uso de recursos naturais e desempenho mecânico. Este resultado está alinhado com os objetivos de sustentabilidade do projeto, que visa a maximização do uso de materiais reciclados sem comprometer a qualidade e a durabilidade dos produtos finais.

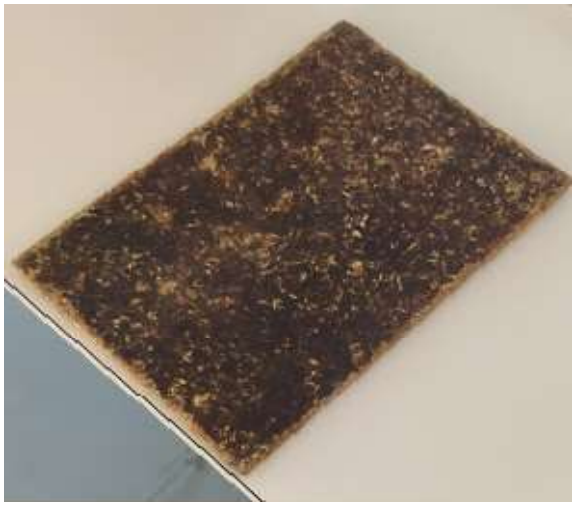


Figura 1 – Exemplo ilustrativo de uma placa de ecocompósito.

4.2. Microcimento de Vidro

No que se refere ao desenvolvimento do microcimento, a incorporação de micropartículas de vidro como substituto parcial da componente cimentícia convencional provou ser uma estratégia eficaz para a melhoria das propriedades do material.

As misturas preparadas com uma proporção de 5:1 (resíduo: resina) apresentaram uma excelente trabalhabilidade e aderência, características essenciais para a aplicação em revestimentos de superfícies extensas. Os testes de aderência e durabilidade indicaram que o microcimento com adição de resíduos de vidro mantém uma performance comparável ou superior a soluções tradicionais, validando a abordagem de redução de cimento no compósito.



Figura 2 – Exemplo ilustrativo de microcimentos aplicados em substrato de madeira.

A integração de resíduos de construção e demolição em novos produtos, como demonstrado nos ecocompósitos de madeira e no microcimento de vidro, mostra um potencial significativo para a transição da indústria da construção civil para práticas mais sustentáveis. As técnicas utilizadas não apenas facilitaram a reutilização de materiais que normalmente seriam descartados, mas também promoveram a redução da pegada de carbono associada à produção de novos materiais de construção.

Entretanto, enfrentam-se desafios como a aceitação do mercado e a necessidade de normativas claras que regulamentem a qualidade e o uso de materiais reciclados em construções civis. A viabilidade comercial dos produtos desenvolvidos depende também da continuidade das investigações para otimizar as formulações e os processos de fabricação, assegurando que os materiais não só atendam aos requisitos técnicos, mas também aos critérios de custo-eficácia.

Os resultados obtidos neste projeto reforçam a viabilidade técnica e ambiental de incorporar RCDs em produtos de construção, sugerindo um caminho promissor para a sustentabilidade na construção civil.

5. CONCLUSÃO

O projecto ReBuild 17 demonstrou de forma eficaz como a integração de resíduos de construção e demolição (RCDs) em novos produtos pode contribuir significativamente para a sustentabilidade na indústria da construção civil. Através da implementação de técnicas inovadoras no tratamento e reutilização de materiais, como madeira e vidro, foi possível desenvolver ecocompósitos e microcimento com propriedades promissoras para aplicações construtivas.

Os resultados obtidos enfatizam a importância de explorar resíduos como recursos valiosos, promovendo a economia circular e reduzindo a dependência de matérias-primas virgens. Os ecocompósitos de madeira demonstraram que é possível alcançar um equilíbrio entre desempenho mecânico e impacto ambiental, ajustando as proporções de resina e resíduos de madeira. Similarmente, a incorporação de micropartículas de vidro no microcimento não só reduziu a quantidade de cimento necessária mas também melhorou as características estéticas e funcionais do material final.

Contudo, os desafios relacionados com a normalização e aceitação de produtos reciclados no mercado ainda persistem, exigindo esforços contínuos para a elaboração de normas claras que regulamentem o uso de materiais reciclados em contextos construtivos. A colaboração entre investigadores, indústria e reguladores será essencial para superar essas barreiras e para garantir que as soluções desenvolvidas sejam não apenas tecnicamente viáveis, mas também comercialmente atrativas.

O projeto ReBuild 17 serve como um modelo exemplar para futuras iniciativas que procuram promover práticas mais sustentáveis na construção civil. Através de uma abordagem baseada na inovação e sustentabilidade, demonstrou-se que é possível transformar desafios ambientais em oportunidades de desenvolvimento, incentivando a

adoção de tecnologias verdes em escala global. Continuar a investigação e o desenvolvimento nesta direção não só contribuirá para a proteção ambiental, mas também para a criação de um futuro mais resiliente e sustentável para o sector da construção civil.

REFERÊNCIAS

Abderraouf Belkadi, A., O. Kessal, A. Berkouche, A. Noui, S. Eddine Daguiani, M. Dridi, S. Benaniba and T. Tayebi (2024). "Experimental investigation into the potential of recycled concrete and waste glass powders for improving the sustainability and performance of cement mortars properties." Sustainable Energy Technologies and Assessments 64: 103710.

Ahmad, J., F. Aslam, R. Martinez-Garcia, J. de-Prado-Gil, S. M. A. Qaidi and A. Brahmia (2021). "RETRACTED ARTICLE: Effects of waste glass and waste marble on mechanical and durability performance of concrete." Scientific Reports 11(1): 21525.

Akhtar, A. and A. K. J. J. o. C. P. Sarmah (2018). "Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective." 186: 262-281.

Braga, A. M., J. D. Silvestre and J. J. J. o. c. p. de Brito (2017). "Compared environmental and economic impact from cradle to gate of concrete with natural and recycled coarse aggregates." 162: 529-543.

BYARS, E. A., B. MORALES-HERNANDEZZ and Z. J. C. HuiYing (2004). "Waste glass as concrete aggregate and pozzolan: laboratory and industrial projects." 38(1): 41-44.

Chen, K., J. Wang, B. Yu, H. Wu and J. J. J. o. C. P. Zhang (2021). "Critical evaluation of construction and demolition waste and associated environmental impacts: A scientometric analysis." 287: 125071.

Chen, L., L. Huang, J. Hua, Z. Chen, L. Wei, A. I. Osman, S. Fawzy, D. W. Rooney, L. Dong and P.-S. Yap (2023). "Green construction for low-carbon cities: a review." Environmental Chemistry Letters 21(3): 1627-1657.

Coelho, A. and J. de Brito (2012). "Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings." Waste Management 32(3): 532-541.

Corvellec, H., A. F. Stowell and N. J. J. o. i. e. Johansson (2022). "Critiques of the circular economy." 26(2): 421-432.

Costa, D., J. Serra, P. Quinteiro and A. C. Dias (2024). "Life cycle assessment of wood-based panels: A review." Journal of Cleaner Production 444: 140955.

Dadouch, M., T. Belal and M. S. Ghembaza (2024). "Valorization of glass waste as partial substitution of sand in concrete – Investigation of the physical and mechanical properties for a sustainable construction." Construction and Building Materials 411: 134436.

Florez, R., C. H. Castano Giraldo, S. M. Restrepo-Arcila and H. A. Colorado (2024). "Valorization of spent Zn-C battery and construction and demolition waste (CDW): Fabrication and characterization of geopolymer composites for radiation shielding applications." Open Ceramics 18: 100588.

Johnston, C. M. and V. C. J. P. o. t. N. A. o. S. Radeloff (2019). "Global mitigation potential of carbon stored in harvested wood products." 116(29): 14526-14531.

Kameche, Z. e.-A., M. Djelil and B. Dahmani (2023). "Effects of incorporating silica glass powder as a supplementary cementitious material on selected properties of portland cement mortar." Journal of Building Engineering 78: 107550.

Lazarevic, D., H. J. E. R. Valve and S. Science (2017). "Narrating expectations for the circular economy: Towards a common and contested European transition." 31: 60-69.

Lopez, Y. M., F. G. Gonçalves, J. B. Paes, D. Gustave, A. C. Theodoro Nantet and T. J. Sales (2020). "Resistance of wood plastic composite produced by compression to termites Nasutitermes corniger (Motsch.) and Cryptotermes brevis (Walker)." International Biodeterioration & Biodegradation 152: 104998.

Ma, W. and J. L. Hao (2024). "Enhancing a circular economy for construction and demolition waste management in China: A stakeholder engagement and key strategy approach." Journal of Cleaner Production 450: 141763.

Manzi, S. and M. C. Bignozzi (2020). 12 - Self-compacting concrete with recycled aggregates. Advances in Construction and Demolition Waste Recycling. F. Pacheco-Torgal, Y. Ding, F. Colangelo, R. Tuladhar and A. Koutamanis, Woodhead Publishing: 229-252.

Müller, U., K. J. C. Rübner and C. Research (2006). "The microstructure of concrete made with municipal waste incinerator bottom ash as an aggregate component." 36(8): 1434-1443.

Navaneetha, E., P. N. Rao and A. Bahurudeen (2023). "Compatibility of waste glass with other by-products for the production of sustainable concrete." Journal of Building Engineering 80: 107922.

Škultecké, J., A. Vaitkus and O. Šernas (2023). "Laboratory investigation on the use of wood waste fibres in SMA mixtures." Construction and Building Materials 400: 132727.

Tejo, C.-C. d. C. e. D. R. d. L. e. V. d. (2019). "Estudos para uma Região RICA Resiliente, Inteligente, Circular e Atrativa." Economia Circular no Setor da Construção Civil I - Ciclo dos materiais: 54.

Zhang, X., J. Chen, A. C. Dias, H. J. E. s. Yang and technology (2020). "Improving carbon stock estimates for in-use harvested wood products by linking production and consumption—a global case study." 54(5): 2565-2574.