

APLICAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR EM UMA FÁBRICA DE ARGAMASSA



<https://doi.org/10.22533/at.ed.951112505054>

Data de Submissão: 09/09/2025

Data de aceite: 18/09/2025

Luciangela Mattos Galletti da Costa

UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/3693707648482339>

Natasha Thais Santos Guedes

UEZO - Universidade Estadual da Zona Oeste
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/0403780460322807>

RESUMO: A economia circular é um modelo econômico que visa minimizar o desperdício e maximizar a utilização de recursos, propondo um ciclo fechado de produção e consumo, por meio da manutenção de produtos, materiais e recursos em uso pelo maior tempo possível, incentivando a reutilização, reparação, renovação e reciclagem. A ideia inicial da aplicação da economia circular pela fábrica de argamassa estudada, foi devido a percepção de que a cada saco de argamassa vendido, após o uso do produto, na maioria das vezes a sua embalagem era descartada pelas obras sem qualquer preocupação com o meio ambiente. Para mitigar esse problema, a solução apresentada foi a de incorporar na

composição do processo de fabricação da argamassa a fibra de celulose contida na embalagem descartada que nesse trabalho será chamada de Argamassa Sustentável. A utilização de fibra de celulose proveniente de embalagens de argamassa no processo de fabricação ofereceu diversas vantagens, como melhoria na resistência e durabilidade da argamassa, controle de fissuras, redução do uso de aditivos químicos e maior sustentabilidade ao processo. Ainda, para o consumidor houve a redução de custos por deixar de pagar pela terceirização do serviço de coleta, transporte e destino adequado dos sacos de argamassa utilizados.

PALAVRAS-CHAVE: Economia Circular. Desenvolvimento Sustentável. Fabricação de Argamassa. Logística Reversa.

APPLICATION OF THE CIRCULAR ECONOMY IN A MORTAR FACTORY

ABSTRACT: The circular economy is an economic model that aims to minimize waste and maximize resource utilization. It proposes a closed cycle of production and consumption by keeping products, materials, and resources in use for as long as possible, encouraging reuse, repair, renewal, and recycling. The initial idea for

applying the circular economy at the mortar factory studied was based on the realization that, for each bag of mortar sold, after use, the packaging was often discarded by construction sites without any concern for the environment. To mitigate this problem, the proposed solution was to incorporate cellulose fiber from discarded packaging into the mortar manufacturing process. This solution, which will be referred to in this work as Sustainable Mortar, is used. The use of cellulose fiber from mortar packaging in the manufacturing process offered several advantages, such as improved mortar strength and durability, crack control, reduced use of chemical additives, and greater process sustainability. Furthermore, for the consumer, there was a reduction in costs by no longer having to pay for the outsourcing of the collection, transportation and proper disposal service for the mortar bags used.

KEYWORDS: Circular Economy. Sustainable Development. Mortar Manufacturing. Reverse Logistics.

INTRODUÇÃO

O modelo de produção linear nada mais é que “extrair, produzir, consumir e eliminar”, mas se observado com cautela, esse modelo é um tanto falho tendo em vista que para um crescimento econômico depende-se do consumo de recursos que são finitos, o que traz a um risco de esgotamento de matérias-primas e custos cada vez mais altos para sua extração. Além disso, ao fim do processo pode-se notar um descarte muito grande de resíduos, muitas vezes contaminados, causando grandes prejuízos ao ecossistema.

Com o aumento da população e, conseqüentemente, do consumo gera-se uma situação bem caótica, pois as matérias-primas “in natura” se encontram cada vez mais escassas e os resíduos da produção, geralmente, são descartados de forma irregular, causando inúmeros problemas ambientais e de saúde pública.

Tendo em vista esses problemas surge a economia circular, que é pautada nos 3 R's da sustentabilidade que são: reduzir, reutilizar e reciclar.

Conforme Murray et al. (2017), a economia circular é um modelo econômico que visa substituir o sistema linear tradicional de produção e consumo (extrair, produzir, descartar) por um sistema que prioriza a manutenção do valor dos recursos através da reutilização, remanufatura e reciclagem. Em essência, a economia circular busca minimizar o desperdício e a poluição, prolongando a vida útil dos produtos e materiais.

Diante do que foi apresentado, essa pesquisa se inicia com a seguinte problemática: **Como a aplicação da economia circular em uma indústria de argamassa pode contribuir positivamente na construção civil? Como a aplicação desse conceito impacta na produção de argamassas?**

REVISÃO DE LITERATURA

Apresentam-se a seguir conceitos nos quais se fundamentam este trabalho.

Economia circular

A estrutura da economia mundial, bem como dos sistemas urbano-industriais contemporâneos, fundamenta-se em um modelo linear e de caráter aberto, cuja lógica operacional envolve a extração de recursos naturais, sua transformação em bens, a produção em larga escala, a distribuição, o consumo e, por fim, o descarte. Esse modelo, conhecido como economia linear, não contribui para a promoção de um futuro sustentável, uma vez que a economia funciona sequenciada (extração, produção, consumo e resíduos), resultando no uso desmedido dos recursos naturais em um ritmo mais rápido do que a sua capacidade de renovação, em um lado, e na formação de montanhas de resíduos urbanos, no outro (COSENZA; ANDRADE; ASSUNÇÃO, 2020).

A crescente degradação ambiental e os impactos negativos acumulados ao longo do tempo, como poluição, esgotamento de recursos naturais, desastres ambientais, aumento de resíduos, mudanças climáticas e desigualdade social, foram os fatores que despertaram tanto a sociedade civil quanto órgãos governamentais para a urgência da sustentabilidade, que passou a ser uma pauta estratégica, e não apenas ambiental ou ética. (TIOSSI e SIMON, 2021).

Nesse cenário, e impulsionado pelos questionamentos em torno dos impactos ambientais crescentes, emerge o conceito de economia circular (EC) como uma alternativa aos modelos lineares de produção e consumo. Essa abordagem propõe ações como o compartilhamento, a locação, a reutilização, o reparo, a remanufatura e a reciclagem de produtos e materiais, com o objetivo de prolongar sua vida útil e reduzir a extração de recursos naturais. Além disso, a economia circular visa enfrentar desafios globais, como a mudança climática, a perda da biodiversidade, a poluição e a geração excessiva de resíduos, por meio de estratégias de design baseadas em três princípios fundamentais: a eliminação de resíduos e poluentes, a circulação contínua de produtos e materiais, e a regeneração dos sistemas naturais (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018).

A origem da EC não está vinculada a um único autor ou movimento, mas sim à convergência de várias escolas de pensamento e práticas desenvolvidas desde meados do século XX (ANDREWS, 2015; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2018).

Segundo Geisendorf e Pietrulla (2018) a economia circular é concebida como um modelo restaurativo e regenerativo por essência, cujo principal objetivo é manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor pelo maior tempo possível.

Para a Fundação Ellen MacArthur (2018, p. 5) “a economia circular é concebida como um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produtividade de recursos e minimiza riscos sistêmicos gerindo estoques finitos e fluxos renováveis. Ela funciona de forma efetiva em qualquer escala. Esse novo modelo econômico busca, em última instância, dissociar o desenvolvimento econômico

global do consumo de recursos finitos.” Suas bases teóricas estão ancoradas em diversas correntes do pensamento sustentável, como o Design Regenerativo, o conceito “Berço ao Berço” (*Cradle to Cradle*), a Ecologia Industrial, a Biomimética e Economia Azul.

Em suma, a EC significa uma transformação sistêmica fundamental para a sustentabilidade, pois promove um ciclo de produção e consumo mais eficiente, reduz o desperdício e a poluição, gerando benefícios econômicos e sociais.

Design regenerativo

O conceito design regenerativo foi aperfeiçoado pelo professor de arquitetura paisagista John T. Lyle, durante o final dos anos 70, que desenvolveu ideias que poderiam ser aplicadas a todos os sistemas. De modo geral, um sistema regenerativo é bem parecido com um sistema sustentável, com a diferença de que em um sistema sustentável os sistemas ecológicos perdidos não voltam a existência, enquanto em um sistema regenerativo, esses sistemas antes perdidos, podem se “regenerar” de volta a existência. O termo “regenerativo” se caracteriza por processos que restauram, renovam ou revitalizam as suas próprias fontes de energia e materiais, criando sistemas sustentáveis que integrem as necessidades da sociedade com a integridade da natureza. Dessa forma, o design regenerativo e a economia circular são conceitos complementares que visam a criação de sistemas mais sustentáveis e resilientes.

O design circular aplica e possibilita os três princípios da economia circular: eliminar, circular, regenerar. Seja no (re)desenho de um produto, serviço ou modelo de negócios, o design circular usa o pensamento sistêmico para criar soluções que oferecem resultados eficientes para todo o sistema (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2018).

Cradle to Cradle

O modelo *Cradle to Cradle* (C2C), o qual pode ser traduzido como “do berço ao berço”, foi desenvolvido e certificado pelo químico alemão Michael Braungart e pelo arquiteto americano Bill McDonough, que visavam a produção de impactos positivos, redução dos negativos e da ineficiência energética e material nos processos produtivos. A ideia está centrada na recuperação de recursos, reciclagem e reutilização, pois essa filosofia de projeto considera todos os materiais envolvidos nos processos industriais e comerciais para serem nutrientes, dos quais há duas principais categorias: técnicos e biológicos.

A economia circular propõe eliminar o conceito de lixo, pois cada material é aproveitado em fluxos cíclicos, o que possibilita sua trajetória do berço ao berço, preservando e transmitindo seu valor. A Figura 1 mostra os fluxos de materiais e recursos em um sistema circular, considerando os ciclos biológico e técnico.



Figura 1 - Fluxo de materiais e recursos em um sistema circular

Fonte: <https://ideiacircular.com/economia-circular/> (2025)

Como pode ser observado na Figura 1, nesse sistema circular, os resíduos se tornam nutrientes em novos processos e os produtos ou materiais podem ser mantidos em uso por meio de práticas como reutilização, reparo, remanufatura e reciclagem.

Economia Industrial

O conceito de Economia Industrial (EI) visa a criação de processos de ciclo fechado os quais os resíduos servem como insumo, eliminando dessa forma a noção de um subproduto indesejável. A EI adota um ponto de vista sistêmico, projetando processos de produção de acordo com as restrições ecológicas locais, enquanto observa seu impacto global desde o início, e procura moldá-los para que funcionem o mais próximo possível dos sistemas vivos (*ELLEN MCARTHUR FOUNDATION*, 2018). Assim, é possível entender o sistema industrial como um tipo especial de ecossistema, pois ele funciona com trocas de materiais, energia e informação, de forma parecida com o que acontece na natureza. Além disso, tudo o que esse sistema produz ou consome vem, direta ou indiretamente, da biosfera, ou seja, da natureza e, por isso, não pode ser separado dela (*ERKMAN*, 1997).

Biomimética

A biomimética é um campo de estudo que busca soluções para problemas humanos inspirando-se na natureza. Ela envolve o estudo de modelos, sistemas e elementos da natureza para criar tecnologias e designs inovadores, eficientes e sustentáveis. Em essência, a biomimética é a ciência que imita a vida para resolver problemas de engenharia, design, arquitetura, entre outros. Um exemplo é o Votu Hotel, localizado no Sul da Bahia, que se inspira em soluções da fauna e flora para promover melhor conforto térmico nos

edifícios e menor impacto ambiental para sua operação. A equipe envolvida no projeto do Votu Hotel - “votu”, em tupi-guarani, significa “vento” - foi treinada em biomimética.

A concepção das suítes, Figura 2, foi inspirada no cão de pradaria que faz suas tocas enterradas no solo com entradas e saídas de ar com altura e diâmetro distintos permitindo que o vento/brisa sempre possa entrar e ventilar sua toca.

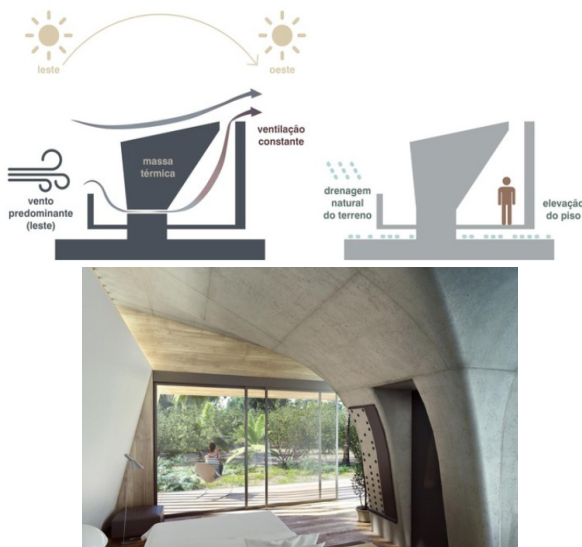


Figura 2 – Projeto da suíte do Votu Hotel na Bahia

Fonte: <https://www.archdaily.com.br/br/887431/aprendendo-com-a-natureza-conheca-o-projeto-do-votu-hotel> (2025)

Como pode ser observado na Figura 3, o fechamento da construção foi inspirado na capacidade de auto-sombreamento de alguns tipos de cactos. Ainda, a cobertura da cozinha é uma laje jardim que atua como um grande trocador de calor inspirado nos bicos dos tucanos.

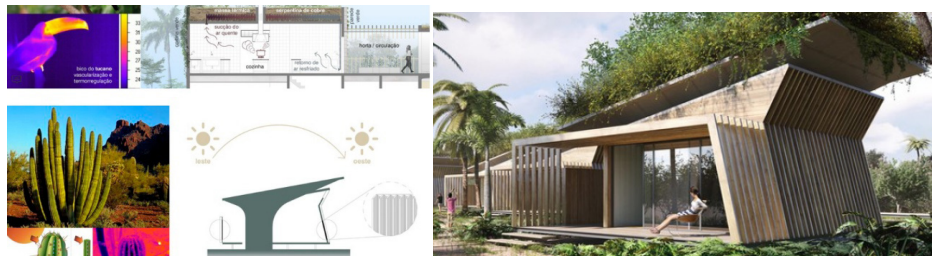


Figura 3 – Projeto do Votu Hotel localizado na Bahia

Fonte: <https://www.archdaily.com.br/br/887431/aprendendo-com-a-natureza-conheca-o-projeto-do-votu-hotel> (2025)

A Economia Azul nasceu como um movimento colaborativo e aberto, baseado em exemplos reais que mostram como podemos usar melhor os recursos naturais. A ideia central é simples, o que sobra na produção de um item pode virar matéria-prima para outro, evitando desperdícios. Essa economia é guiada por 21 princípios que busca soluções adaptadas ao ambiente local e valoriza o uso da gravidade como principal fonte de energia natural (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2018).

Na construção civil pode-se citar a utilização de materiais sustentáveis, a redução de resíduos, a otimização do consumo de energia e água e a promoção de projetos que integrem a natureza.

Logística reversa e a construção civil

A logística reversa (LR) é o processo que visa o retorno de produtos ou materiais ao ciclo produtivo ou a outra destinação adequada após o consumo ou uso. Consiste em um conjunto de ações, procedimentos e meios que permite a coleta e a restituição de resíduos sólidos ao setor empresarial, com o objetivo de reaproveitamento, reciclagem ou descarte adequado.

A LR, conforme definida por Valle e Souza (2014), é um processo que engloba o planejamento, implementação e controle do fluxo de materiais, produtos e informações do ponto de consumo ao ponto de origem, com o objetivo de recuperar, reciclar ou descartar de forma ambientalmente adequada os resíduos gerados durante todo o ciclo de vida dos produtos. A logística reversa não se limita apenas à reciclagem, mas também engloba a recuperação de valor dos produtos, a redução de resíduos, a conservação de recursos naturais e a diminuição do impacto ambiental, viabilizando a economia circular, pois garante o retorno dos produtos ao ciclo produtivo após o seu uso. Portanto, é considerada um instrumento de desenvolvimento econômico e social, com foco na responsabilidade compartilhada entre fabricantes, distribuidores, consumidores e poder público.

A Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece a logística reversa como um de seus instrumentos para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, incluindo aqueles gerados pela construção civil. A PNRS visa a redução da quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários, a promoção da reciclagem e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos.

A construção civil é uma grande geradora de resíduos no país. A PNRS exige que esse setor adote medidas específicas para evitar impactos ambientais. Dentre as medidas estão a elaboração e cumprimento de plano de gerenciamento de resíduos da construção civil (PGRCC); segregação dos resíduos nos canteiros de obra; reutilização e reciclagem de materiais sempre que possível; proibição de descarte irregular em vias públicas, encostas,

corpos d'água e, apenas os resíduos que não são reaproveitados podem ser destinados a aterros.

Norma Brasileira (NBR)

A sigla NBR significa Norma Brasileira. É utilizada para identificar as normas técnicas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Essas normas são documentos que estabelecem critérios e diretrizes técnicas para diversos setores e atividades, com o objetivo de padronizar processos, produtos e serviços no Brasil. Em outras palavras, as NBRs são guias que visam garantir a qualidade, segurança e eficiência em diferentes áreas, desde a construção civil até a indústria e saúde.

A NBR 5739 estabelece o método de ensaio para determinar a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto. Essa norma padroniza os procedimentos para a realização do ensaio de compressão, garantindo resultados confiáveis e comparáveis entre diferentes laboratórios e obras.

A NBR 15961 estabelece os requisitos mínimos para projeto e execução de estruturas de alvenaria de blocos de concreto. Essa norma visa garantir a segurança, desempenho e durabilidade dessas estruturas, abrangendo tanto a análise estrutural quanto os detalhes construtivos.

A NBR 13528 estabelece os procedimentos para determinar a resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassas inorgânicas aplicadas em paredes. Essa norma visa garantir a segurança e qualidade dos revestimentos, verificando se a argamassa adere adequadamente ao substrato.

A NBR 15258 estabelece o método de ensaio para determinar a resistência potencial de aderência à tração de argamassas para revestimento de paredes e tetos. Essa norma define como avaliar a capacidade da argamassa de resistir à força que tende a separá-la do substrato.

METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa exploratória de caráter qualitativo. As seções a seguir descrevem em detalhes todos os passos adotados.

A fábrica de argamassas

A pesquisa foi desenvolvida por uma empresa brasileira fabricante de uma vasta linha de argamassas, formuladas para atender as necessidades de cada fase da obra: assentamento, emboço, revestimento, contrapiso, chapisco e argamassas colantes.

Há mais de 20 anos no mercado, a empresa solidificou sua marca de argamassas industrializadas atendendo a grandes construtoras e lojas de materiais de construção no Rio de Janeiro e Grande Rio, tendo sempre o compromisso de preservar o meio-ambiente.

Como a instituição atua há vários anos na área da construção civil, conhece a problemática de descarte dos sacos de argamassa que, por serem contaminados pelo cimento, não podem ser descartados em lixo comum, sendo necessária a contratação de empresa para transportar e dar o destino adequado a esse rejeito.

Para minimizar o impacto ambiental dos sacos de argamassa, é crucial adotar práticas de redução, reutilização e reciclagem. Isso inclui o uso de materiais de embalagem mais sustentáveis, como sacos de papel ou plástico reciclado, a implementação de sistemas de devolução e reciclagem dos sacos vazios e a escolha de argamassas com menor impacto ambiental, como aquelas com menor teor de cimento ou que utilizem resíduos da construção civil como agregados. Além disso, a otimização do processo de construção para reduzir o desperdício de materiais e a adoção de tecnologias mais eficientes, como argamassas estabilizadas, contribuem significativamente para a sustentabilidade.

Portanto, foi desenvolvido um estudo para verificar a viabilidade da incorporação da embalagem de argamassa, após o uso do produto, ao processo produtivo de nova argamassa a fim de substituir o aditivo de celulose e minimizar o descarte inadequado das embalagens vazias. Para a realização do estudo, foram necessários testes laboratoriais que contaram com a parceria de uma universidade localizada no Rio de Janeiro.

O produto original

A argamassa comum é constituída basicamente de cimento, areia, água e alguns aditivos que depende do objetivo final do produto, ou seja, se é para assentamento, revestimento, entre outros. Dentre os aditivos mais usados está a fibra de celulose, que é também usada na fabricação das embalagens de papel que acondicionam a argamassa. Tendo isso em vista, foi observado grande potencial de utilização das embalagens vazias do produto no processo de fabricação de argamassa, até mesmo porque não há o risco de contaminação com resíduos de cimento, areia, aditivos e outros, pois estes fazem parte da composição do produto.

A partir dessa constatação, iniciou-se um estudo junto a uma grande universidade do Rio de Janeiro para que fossem avaliados os comportamentos desse novo produto, como a compressão, flexão em corpos-de-prova prismáticos, aderência à tração e durabilidade.

Testes da Argamassa Sustentável

Serão apresentados os resultados obtidos pelo estudo laboratorial realizado entre a empresa estudada e a universidade carioca. Foram feitos ensaios laboratoriais utilizando

a argamassa comum e argamassa com adição de papel reciclado moído chamada de Argamassa Sustentável (AS) para fins desse trabalho.

A AS foi produzida em um misturador do tipo planetário seguindo dosagens estabelecidas pela empresa estudada conforme mostra a Tabela 1, e os sacos foram triturados em moinhos de facas com telas, inicialmente com três diferentes espaçamentos e incorporados nas diversas formulações estudadas no projeto.

Materiais	0	A	B
Argamassa	1,5 kg	1,5 kg	1,5 kg
Água	285 ml	285 ml	285 ml
Papel Reciclado	0	(X %) g	(Y %) g
Meilose GMC 1151		0,001% (em massa)	

Tabela 1 - Consumo de materiais para produção de argamassa
Fonte: Empresa estudada (2025)

Importante mencionar que a Meilose GMC 1151 (Hidroxipropil Metilcelulose) é um aditivo de celulose muito utilizado na fabricação de cimentícios devido às suas propriedades químicas e físicas, além de ser um excelente agente de retenção de água. Os valores de tamanho e percentual de papel não foram informados por questão de sigilo.

O primeiro objetivo desse experimento era apenas dar finalidade ao papel, por isso foi testada a argamassa A com a adição do papel sem retirar o aditivo e surpreendentemente foram alcançados ótimos resultados, o que levou ao teste do traço sem aditivo e mais uma vez os testes foram muito satisfatórios.

A Figura 4 apresenta o foro do moinho de facas, equipamento utilizado para triturar as embalagens recicladas, que apresenta um sistema de facas sequenciais em forma de cunha gerando perfeição de moagem.

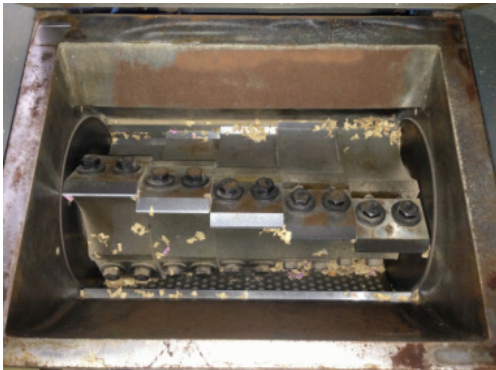


Figura 4 – Foro do moinho de facas
Fonte: Empresa estudada (2025)

Diante dos resultados dos ensaios mecânicos como compressão, flexão em corpos de prova prismáticos, aderência à tração e durabilidade e de retração realizados, foi determinada a melhor porcentagem e diâmetro do papel reciclado a ser incorporado à argamassa.

As Figuras 5 e 6, mostram os flocos de papel aumentados microscopicamente.

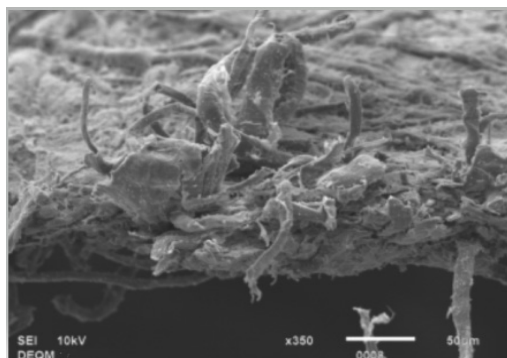


Figura 5 - Micrografia do papel reciclado após o processo de moagem

Fonte: Empresa estudada (2025)

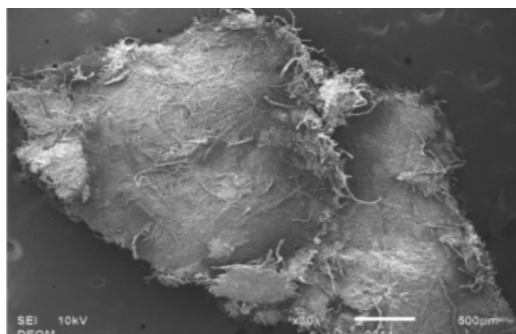


Figura 6 - Micrografia do papel reciclado após processo de moagem

Fonte: Empresa estudada (2025)

Os próximos resultados que serão apresentados são de testes com a argamassa de referência e a argamassa aditivada apenas de flocos de papel craft que é utilizado para fazer as embalagens.

A Tabela 2 mostra os resultados dos ensaios de compressão, realizados em cilindros e prismas. O teste de compressão em argamassa, seja em cilindros ou prismas, é um ensaio mecânico utilizado para determinar a resistência à compressão desse material. Esse teste é fundamental para garantir a qualidade e a segurança das estruturas que utilizam argamassa, como alvenarias e revestimentos.

Corpos de prova cilíndricos são moldados e curados conforme a norma aplicável geralmente a NBR 5739 para concreto e pode ser usada como referência para argamassa. Após o período de cura, os cilindros são submetidos a uma carga crescente até a ruptura. O principal objetivo é determinar a resistência à compressão da argamassa, que é um parâmetro importante para a avaliação de seu desempenho em aplicações estruturais.

Prismas de alvenaria são construídos utilizando blocos e argamassa, simulando uma seção da parede. Esses prismas são submetidos a ensaios de compressão axial. O ensaio em prismas permite avaliar a resistência à compressão da alvenaria como um todo, considerando a interação entre os blocos e a argamassa de assentamento. Ele é especialmente importante para o projeto e a execução de paredes de alvenaria estrutural.

A NBR 15961 estabelece os procedimentos para ensaios em prismas de alvenaria, enquanto a NBR 5739 trata de ensaios de compressão em corpos de prova cilíndricos de concreto e pode ser usada como referência para argamassa.

Após os testes, verificou-se que a AS apresenta resistência a compressão muito próxima a argamassa de referência, além disso mostra que ensaios de compressão realizados em seções prismáticas resultam em valores superiores àqueles obtidos em cilindros.

Material	Força (kN)		Tensão (Mpa)	
	Cilindro	Prisma	Cilindro	Prisma
O	14,59 (1,37)	18,57 (1,46)	7,43 (0,70)	11,60 (0,9)
B	12,28 (0,71)	16,51 (0,95)	6,25 (0,36)	10,31 (0,59)

Tabela 2 - Média e desvio padrão dos resultados de compressão axial.

Fonte: Empresa estudada (2025)

Cabe mencionar que em física, kN significa quiloNewton que é uma unidade de medida de força. Já em engenharia e construção, MPa (Megapascal) é uma unidade de medida de pressão, sendo mais especificamente a medida da resistência à compressão do concreto. Essa unidade é usada para avaliar a força ou resistência do concreto e outros materiais.

A Tabela 3 apresenta resultados obtidos a partir dos ensaios de flexão em 3 pontos para a argamassa de referência e da argamassa sustentável. Foram obtidos resultados de flexão superiores aos da argamassa de referência.

Material	Força (kN)	Tensão (Mpa)
O	0,72 (0,007)	2,55 (0,02)
B	0,70 (0,010)	2,46 (0,05)

Tabela 3 - Média e desvio padrão dos resultados de flexão em 3 pontos aos 28 dias de idade

Fonte: Empresa estudada (2025)

As Tabelas 4 e 5 apresentam os resultados obtidos a partir de ensaios de aderência à tração realizados na argamassa de referência, sem aditivo HPMC (Hidroxipropilmetilcelulose) e com e sem inclusão de papel reciclado. O HPMC é um aditivo não iônico derivado da celulose, solúvel em água e com alta capacidade de formar géis e viscosidade.

Observa-se que para todas as misturas foi obtido um valor médio de aderência igual ou superior a 0,30MPa. Para este tipo de argamassa a norma brasileira NBR 13528 recomenda um valor médio de aderência à tração igual ou superior a 0,30 MPa.

Cabe destacar que a NBR 13528 trata da qualidade e desempenho das argamassas usadas para fixar revestimentos, enquanto a NBR 15258 se concentra em como avaliar a aderência dessas argamassas ao substrato.

Resistencia de Aderência (NBR 15258 – 2021)										
CP#	Carga (kgf)	Seção (cm²)	Tensão (MPa)	Forma de ruptura						
				A	B	C	D	E	F	G
1	57,2	19,63	0,30				100			
2	61,8	19,63	0,31				100			
3	62,5	19,63	0,31				100			
4	61,0	19,63	0,30				100			
5	62,2	19,63	0,31				100			
6	52,5	19,63	0,30				100			
Média	59,53	19,63	0,31							

Tabela 4 -Ensaio de aderência à tração em argamassa de referência

Fonte: Empresa estudada (2025)

Resistencia de Aderência (NBR 15258 - 2021)										
CP#	Carga (kgf)	Seção (cm²)	Tensão (MPa)	Forma de ruptura						
				A	B	C	D	E	F	G
1	61,0	19,63	0,30	100						
2	51,6	19,63	0,30				100			
3	85,5	19,63	0,43	100						
4	65,3	19,63	0,33				100			
5	47,9	19,63	0,30	100						
6	69,9	19,63	0,35	100						
Média	63,53	19,63	0,34							

Tabela 5 - Ensaio de aderência à tração da argamassa sustentável

Fonte: Empresa estudada (2025)

- A = ruptura no substrato
- B = ruptura na interface substrato/chapisco
- C = ruptura no chapisco
- D = ruptura na interface chapisco/argamassa
- E = ruptura na argamassa
- F = ruptura na interface argamassa/cola
- G = falha na colagem da peça metálica

Foram observados também que com a adição dos flocos de papel houve diminuição das fissuras, como mostra a Figura 7. Foi percebido que as fibras de celulose controlaram as fissuras.

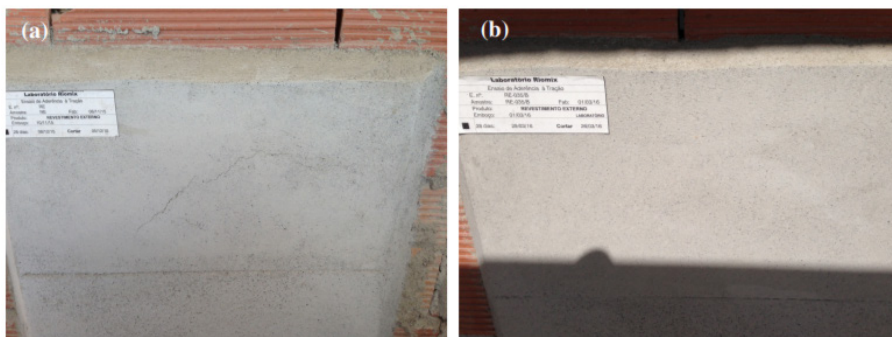


Figura 7 - (a) argamassa de referência e (b) argamassa sustentável

Fonte: Empresa estudada (2025)

Na Figura 8 são apresentadas as fotos das argamassas expostas em condições de temperatura e umidade controladas e expostas ao ambiente.

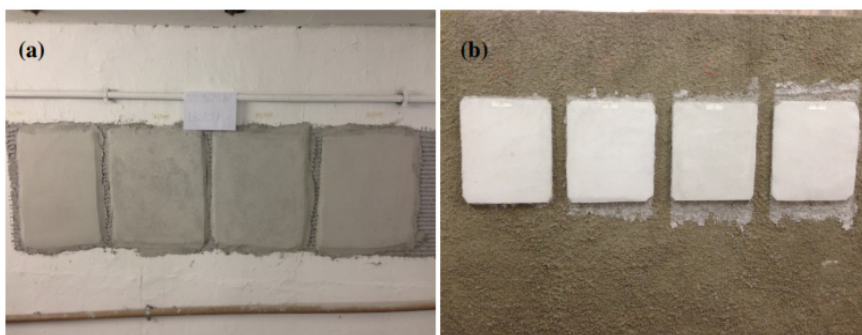


Figura 8 - Monitoramento de fissuras por retração (a) amostras expostas a condições de temperaturas e umidade controladas e (b) expostas ao meio ambiente.

Fonte: Empresa estudada (2025)

Nenhuma fissura foi observada durante os 4 meses de monitoramento para as argamassas expostas em condições controladas de temperatura e umidade. Já para as argamassas expostas ao tempo foi observada a formação de uma fissura com abertura de 0,1 mm apenas para a argamassa de referência como pode ser comprovado pela Figura 9.

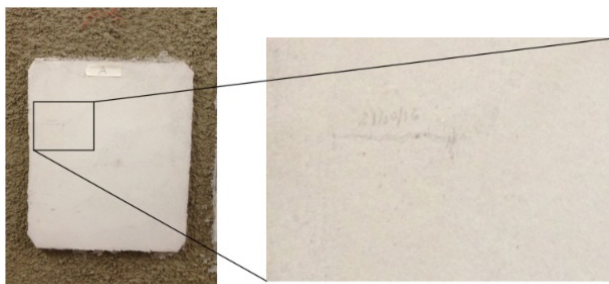


Figura 9 - Argamassa de referência fissurada após 4 meses de exposição ao tempo.

Fonte: Empresa estudada (2025)

Análise geral dos testes

Após diversos ensaios, onde foram testadas as propriedades mecânicas, de durabilidade e retração das misturas, verificou-se que é possível utilizar os resíduos de papel que são os flocos de celulose como substituto ao aditivo de celulose antes utilizado o HPMC. Com a inclusão dos flocos sem a adição do aditivo, a argamassa sustentável, conseguiu manter propriedades de compressão, flexão e aderência similares a argamassa de referência.

Além disso, ensaios de envelhecimento acelerado, demonstram que existe apenas uma pequena redução na resistência à compressão após os ciclos de molhagem e secagem, porém essa redução na resistência à compressão também é observada em argamassas convencionais quando submetidas a ciclos de envelhecimento acelerado.

Os flocos de celulose atuam também no controle de fissuras decorrente da retração por secagem de argamassas. Foi observado que argamassas com inclusão de papel reciclado quando testadas de acordo com a norma da ASTM C 1581 apresentam formação de fissuras em estágio mais avançado, de forma estável e com menor abertura.

A norma ASTM C1581 (2009), especificada pela ASTM *International* (*American Society for Testing and Materials*), estabelece um método de ensaio para determinar a idade no aparecimento de fissuras e as características de tensão de tração induzida em argamassa ou concreto sob retração restringida. Fundamentalmente, avalia a tendência de um material de concreto ou argamassa a fissurar quando submetido a restrições durante a retração, seja por secagem ou devido ao calor de hidratação.

Nesse tipo de teste a abertura de fissura média observada na argamassa sustentável com adição de X% de papel reciclado apresentou abertura média de 0,25 mm enquanto

para a argamassa de referência a abertura média de fissura foi de 0,58 mm, conforme apresenta a Tabela 6.

As Figuras 10, 11 e 12 mostram as fissuras nas amostras feitas com a argamassa de referência, a argamassa aditivada e com a argamassa sustentável, respectivamente.



Figura 10 - Amostra de referência sem aditivo celulósico

Fonte: Empresa estudada (2025)

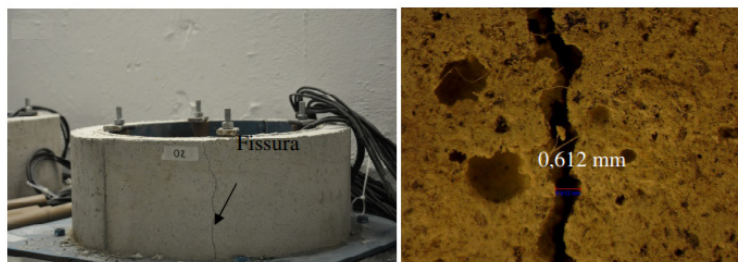


Figura 11 - Amostra de referência com aditivo celulósico

Fonte: Empresa estudada (2025)



Figura 12 – Amostra da argamassa sustentável

Fonte: Empresa estudada (2025)

Abertura de Fissura em (mm)			
Posição	Referência sem aditivo celulósico	Referência com aditivo celulósico	X% de flocos de celulose
Topo	0,684	0,503	0,283
1	0,723	0,612	0,263
2	0,713	0,644	0,296
3	0,704	0,570	0,154
Base	0,680	0,572	0,249
Média	0,70	0,58	0,25

Tabela 6 - Abertura de fissuras determinadas em 5 pontos diferentes.

Fonte: Empresa estudada (2025)

Depois de analisar todos os resultados da pesquisa foi evidenciado que utilizar argamassas com adição de papel reciclado não causa nenhum prejuízo ou redução de desempenho mecânico e de durabilidade. Vale ressaltar também que quanto à retração houve melhoria significativa no desempenho da argamassa aditivada em relação à de referência.

Economia financeira da argamassa sustentável

Após a conclusão de todos os ensaios laboratoriais, iniciou-se a produção da argamassa sustentável. Nos produtos argamassa para revestimento interno (AS-RI), argamassa para revestimento externo (AS-RE) e argamassa para assentamento houve a substituição de 100% do aditivo celulósico pelos flocos de papel reciclado originado dos sacos de argamassa após a sua utilização. Nos produtos argamassas estruturais foi possível reduzir em 50% o aditivo celulósico pelos flocos de papel reciclado oriundos dos sacos de argamassa após a sua utilização.

Serão utilizados como exemplo para o cálculo da economia financeira os produtos AS-RI e AS-RE, pois são os mais vendidos pela empresa e, em seus traços foi possível substituir 100% do aditivo celulósico pelos flocos de papel reciclado das embalagens de argamassa após a sua utilização.

Para a produção da AS-RI ou AS-RE são utilizados 0,005 Kg/saco de aditivo celulósico. O preço do aditivo celulósico varia de acordo com o dólar, mas custa em média R\$ 43,25/kg, portanto há uma economia média de R\$ 0,22/saco ($0,005 \text{ Kg/saco} \times \text{R\$ } 43,25/\text{kg}$) ao substituir em 100% o aditivo celulósico pelos flocos de papel reciclado das embalagens de argamassa.

Considerando que a empresa vende anualmente cerca de 2,5 milhões de argamassa revestimento interno e argamassa revestimento externo, a economia financeira com a substituição do aditivo celulósico pelos flocos de papel reciclado das embalagens de argamassa será em torno de R\$ 550.000,00.

A produção das AS-RI e AS-RE se justificaria apenas por essa economia para a fábrica, mas, além disso, é importante mencionar que o descarte dos sacos de argamassa gera custos para o cliente final, pois para que os sacos sejam destinados adequadamente é necessário o aluguel de uma caçamba que custa em média R\$ 300,00. A cada 100 sacos de argamassa vazios há a utilização de aproximadamente 1 m² e cada caçamba mede em média 5 m², ou seja, comporta em média 500 sacos vazios. Dessa forma, para descartar cada saco de argamassa após a sua utilização, há um custo aproximado de R\$ 0,60/saco ($R\$ 300,00 \div 500 \text{ sacos}$), sem levar em consideração a contratação de serviço de transporte e descarte adequado desse resíduo.

O cliente da argamassa sustentável além de economizar no descarte da embalagem, ajuda no controle da poluição ambiental, pois o recolhimento dos sacos vazios é feito por meio da logística reversa. Ou seja, no momento da entrega dos novos produtos as embalagens de argamassa vazias são recolhidas.

CONCLUSÕES

A indústria da construção civil, embora vital para o desenvolvimento urbano e econômico, é uma das maiores geradoras de resíduos sólidos e emissões de gases de efeito estufa. Diante disso, práticas alinhadas à economia circular ganham relevância estratégica, não apenas por seu impacto ambiental positivo, mas também pelos ganhos operacionais e de imagem para as empresas do setor.

A economia circular busca propor um fluxo contínuo de recursos por meio da reutilização, reciclagem, recuperação e reprocessamento de materiais. Atuando com esse propósito, a empresa estudada apresentou a solução de incorporar na composição do processo de fabricação da argamassa a fibra de celulose contida na embalagem descartada, denominando esse produto de Argamassa Sustentável.

A utilização de fibra de celulose proveniente de embalagens de argamassa no processo de fabricação da AS ofereceu diversas vantagens, como melhoria na resistência e durabilidade, controle de fissuras, redução do uso de aditivos químicos e maior sustentabilidade ao processo. A Argamassa Sustentável apresenta economia financeira com a substituição do aditivo celulósico pelos flocos de papel reciclado das embalagens de argamassa, preserva a extração da matéria-prima virgem e evita o descarte de grandes volumes de sacos vazios de argamassa em aterros sanitários ou no meio ambiente, contribuindo para a diminuição do passivo ambiental da construção civil. Para o consumidor houve a redução de custos por deixar de pagar pela terceirização do serviço de coleta, transporte e destino adequado dos sacos de argamassa utilizados, estimulando a aplicação da logística reversa.

Quanto ao processo produtivo não houve muitos impactos, o único equipamento adquirido foi um moinho de facas e o processo como um todo continua da mesma maneira, sem qualquer alteração para que o modo Argamassa Sustentável seja feito.

Para o consumidor final nada muda, a forma de usar a AS no canteiro de obras continua igual a argamassa tradicional, não precisando de treinamento e gerando a economia de descarte.

O trabalho apresentado recomenda que a posteriori seja feito um estudo comparativo de vendas entre a argamassa comum e a Argamassa Sustentável, que seja realizada uma campanha de divulgação, para engenheiros e encarregados pelas obras, sobre os benefícios econômicos e sociais da utilização da AS, bem como a importância de retornar os sacos vazios para a fábrica, através da logística reversa, a fim de fechar o ciclo sustentável desse produto e promover a economia circular.

Conclui-se, portanto que a adoção de práticas baseadas nos princípios da economia circular, como a reciclagem de embalagens de argamassa, evidencia a viabilidade de integrar eficiência operacional, responsabilidade socioambiental e inovação tecnológica nos processos produtivos. Tal iniciativa reforça a inserção estratégica da sustentabilidade na cadeia da construção civil, ao mesmo tempo em que posiciona a organização como agente indutor de transformações estruturais rumo a um setor mais resiliente, ético e ambientalmente responsável.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 5739: Concreto - **Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, 1994.

ABNT. NBR 15961: **Alvenaria estrutural – Blocos de concreto**, 2011.

ABNT. NBR 13528: **Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas — Determinação da resistência de aderência à tração**, 2019.

ABNT. NBR 15258: **Argamassa para revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração**, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1581: standard test method for determining age at cracking and induced tensile stress characteristics of mortar and concrete under restrained shrinkage**. Pennsylvania, 2009.

ANDREWS, Deborah. **The circular economy, design thinking and education for sustainability**. Local Economy. p. 305-315, 2015.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a **Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Seção 1, p. 3.

COSENZA, José Paulo; ANDRADE, Eurídice Mamede; ASSUNÇÃO, Gardênia Mendes. **Economia circular como alternativa para o crescimento sustentável brasileiro: análise da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 9, n. 1, p. 16147, 2020.

ECONOMIA CIRCULAR. **Ellen MacArthur Foundation**, 2018. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/temas/economia-circular-introducao/visao-geral>>. Acesso em: 15 jul. 2025.

ECONOMIA CIRCULAR. **Ideia Circular**, 2025. Disponível em: <<https://ideiacircular.com/economia-circular/>>. Acesso em: 15 jul. 2025.

ERKMAN, S. **Industrial Ecology: Historical View**. Journal of Cleaner Production. vol. 5, n. 1-2, p. 1-10, 1997.

GEISENDORF, Sylvie; PIETRULLA, Felicitas. **The circular economy and circular economic concepts—a literature analysis and redefinition**. Thunderbird International Business Review, v. 60, n. 5, p. 771-782, 2018.

KORHONEN, Jouni; HONKASALO, Aantero; SEPPÄLÄ, Jvri. **Circular economy: the concept and its limitations**. Ecological Economics, vol.143, p.37-46, 2018.

MURRAY, Alan; SKENE, Keith; HAYNES, Kathryn. **The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context**. Journal of business ethics, v. 140, n. 3, p. 369-380, 2017.

ARCH DAILY. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/887431/aprendendo-com-a-natureza-conheca-o-projeto-do-votu-hotel>>. Acesso em: 06 ago. 2025.

TIOSSI, Fabiano Martin.; SIMON, Alexandre Tadeu. **Economia Circular: suas contribuições para o desenvolvimento da Sustentabilidade**. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 11912–11927, 2021.

VALLE, Rogério; SOUZA, Ricardo Gabbay de. **Logística Reversa: processo a processo**. São Paulo: Atlas, 2013.