

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

JHEIMERSON KÉCIO SANTOS NÓBREGA

**PANORAMA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO
BRASIL: DESAFIOS E ALTERNATIVAS**

Cajazeiras – PB
2025

JHEIMERSON KÉCIO SANTOS NÓBREGA

**PANORAMA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO
BRASIL: DESAFIOS E ALTERNATIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
à Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-
Campus Cajazeiras, sob Orientação da Prof.
Me. Wilza Carla Moreira Silva

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

N754p Nóbrega, Jheimerson Kécio Santos.
Panorama da reciclagem de resíduos da construção civil no brasil :
desafios e alternativas / Jheimerson Kécio Santos Nóbrega.– 2025.

43f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da
Paraíba, Cajazeiras, 2025.

Orientador(a): Prof^a. Me. Wilza Carla Moreira Silva.

1. Construção civil. 2. Resíduos sólidos. 3. Reciclagem. 4.
Sustentabilidade. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba. II. Título.

IFPB/CZ

CDU: 624:628.4(043.2)

JHEIMERSON KÉCIO SANTOS NÓBREGA

**PANORAMA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL
NO BRASIL: DESAFIOS E ALTERNATIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
à Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
Campus Cajazeiras, como parte dos
requisitos para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil

Aprovado em 27 de agosto de 2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **WILZA CARLA MOREIRA SILVA**
Data: 26/09/2025 18:52:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Me. Wilza Carla Moreira Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **GASTAO COELHO DE AQUINO FILHO**
Data: 26/09/2025 14:25:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Gastão Coelho de Aquino Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1

Documento assinado digitalmente
 **CICERO JOELSON VIEIRA SILVA**
Data: 26/09/2025 15:05:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Cicero Joelson Vieira Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela vida, pela saúde e pela força que me sustentaram ao longo desta caminhada.

Em especial, à minha mãe, Helenice, e à minha avó, Helenita, exemplos de dedicação, amor e perseverança, que sempre acreditaram em mim e foram meu alicerce nos momentos de maior dificuldade.

Estendo minha gratidão às minhas tias e ao meu tio, pelo carinho, incentivo e apoio constantes, fundamentais para que eu pudesse alcançar esta conquista.

À minha irmã, Alberlânia, agradeço pelo companheirismo, compreensão e apoio em todos os momentos, que foram essenciais durante esta caminhada.

Aos meus amigos, agradeço pelo suporte durante esta jornada. A Marlon, Carla e Aluísio, pela amizade e pelos momentos compartilhados no RPG, que foram essenciais para aliviar as tensões ao longo do período acadêmico. A Estanley, Ray, Ruy e Everson, pela força e apoio, tanto no início quanto na reta final do curso.

À minha orientadora, Prof^a. Wilza Carla Moreira Silva, expresse minha profunda gratidão, primeiramente pelo aceite em orientar este estudo e, sobretudo, pela dedicação, paciência e valiosas contribuições durante toda a sua construção.

Ao Instituto Federal da Paraíba (IFPB) - *Campus* Cajazeiras, sou imensamente grato pela oportunidade de formação e por ter proporcionado a base para toda esta trajetória acadêmica.

Por fim, agradeço a mim mesmo, pela dedicação, persistência e resiliência ao longo desta trajetória, que me permitiram superar os desafios e alcançar esta conquista.

RESUMO

A intensificação da geração de resíduos sólidos, impulsionada significativamente pelo crescimento do setor da construção civil, tem despertado crescentes preocupações socioambientais e evidenciado a urgência de práticas sustentáveis de gestão. Diante desse cenário, este estudo propõe uma análise abrangente do panorama atual da reciclagem de Resíduos da Construção Civil (RCC) no Brasil, explorando as tecnologias empregadas, os principais entraves enfrentados e as alternativas promissoras que podem transformar a cadeia produtiva da construção em direção a um modelo mais sustentável e circular. Trata-se de uma pesquisa bibliográfica, de caráter descritivo e abordagem quali-quantitativa, fundamentada em dados de 261 municípios brasileiros, além de documentos técnicos, normativos e publicações científicas. Os resultados evidenciam que, apesar da evolução normativa e de avanços tecnológicos como o *Building Information Modeling* (BIM) e a inteligência artificial, além de métodos alternativos de processamento como o coprocessamento, as taxas de reciclagem ainda permanecem baixas diante do elevado potencial de reaproveitamento existente no setor. Persistem desafios relacionados à necessidade de descentralização das unidades de processamento, gestão adequada dos resíduos e baixa aceitação de agregados reciclados. Conclui-se que a reciclagem de RCC é fundamental para o desenvolvimento sustentável da construção civil, sendo imprescindível a ampliação de investimentos em tecnologias, políticas públicas efetivas e ações de conscientização que favoreçam a gestão integrada e eficiente desses resíduos.

Palavras-chave: reciclagem; resíduos da construção civil; reaproveitamento; gestão de resíduos.

ABSTRACT

The intensification of solid waste generation, significantly driven by the growth of the construction sector, has raised growing socio-environmental concerns and highlighted the urgent need for sustainable management practices. Given this scenario, this study proposes a comprehensive analysis of the current landscape of Construction and Demolition Waste (CDW) recycling in Brazil, exploring the technologies employed, the main obstacles faced, and promising alternatives that can transform the construction production chain toward a more sustainable and circular model. This is a descriptive bibliographic study with a qualitative and quantitative approach, based on data from 261 Brazilian municipalities, as well as technical documents, regulations, and scientific publications. The results show that, despite regulatory developments and technological advances such as *Building Information Modeling* (BIM) and artificial intelligence, as well as alternative processing methods such as co-processing, recycling rates remain low, given the high potential for reuse existing in the sector. Challenges persist related to the need for decentralization of processing units, adequate waste management, and low acceptance of recycled aggregates. It can be concluded that recycling of RCC is essential for the sustainable development of the construction industry, and increased investment in technologies, effective public policies, and awareness-raising initiatives that promote the integrated and efficient management of this waste are essential.

Keywords: recycling; construction and demolition waste; reuse; waste management.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	OBJETIVO GERAL	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1	RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	12
3.2	HISTÓRICO DA RECICLAGEM DE RCC NO BRASIL	14
3.3	TIPOLOGIA, PROCESSOS E TECNOLOGIAS UTILIZADAS NA INDÚSTRIA DA RECICLAGEM DOS RCC	16
4	METODOLOGIA	21
4.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	21
4.2	ESTRATÉGIAS E TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO DE DADOS	21
4.2.1	<i>Método de obtenção de informações</i>	21
4.2.2	<i>Descrição detalhada das atividades executadas</i>	23
4.2.3	<i>Método de análise das informações</i>	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1	CENÁRIO DA RECICLAGEM NO BRASIL	25
5.2	INOVAÇÕES NO PROCESSAMENTO E NA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	30
5.2.1	<i>O potencial do BIM na gestão e na reciclagem de RCC</i>	30
5.2.2	<i>Uso de IA para otimização de processos em reciclagem de materiais da construção civil</i> ..	31
5.2.3	<i>Tecnologias aplicadas ao processamento de resíduos e para a produção de materiais reciclados</i>	32
5.2.4	<i>Recuperação energética e instalações de reciclagem alternativas</i>	33

5.3	DESAFIOS E CAMINHOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA RECICLAGEM DE RCC NO BRASIL.....	34
6	CONCLUSÃO.....	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a expansão dos centros urbanos resultam em um aumento na geração de resíduos sólidos, o que gera preocupações sob a perspectiva socioambiental. Segundo a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA, 2024), cerca de 81 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos foram produzidos no ano de 2023, o correspondente a mais de 221 mil toneladas por dia, sendo que 41,5% desses resíduos não tiveram o processo de destinação final ideal, o que equivale a mais de 28,7 milhões de toneladas de resíduos, dispostos inadequadamente, e contribuindo ativamente com possíveis riscos ao meio ambiente e à saúde pública.

A construção civil acompanha o crescimento e a densificação dos centros urbanos, sendo uma das forças motrizes do desenvolvimento econômico, do aumento da renda familiar e da geração de empregos no país. Contudo, também é responsável por impactos ambientais significativos quando suas atividades são más geridas (Soares; Amaral, 2021). Em 2023, estima-se que o Brasil tenha gerado aproximadamente 44 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD, também conhecido como RCC – Resíduos da Construção Civil), representando uma redução de 1,3% em comparação ao ano anterior (ABREMA, 2024). No entanto, para a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição (ABRECON, 2020), quando se adota uma perspectiva baseada em indicadores internacionais de geração per capita, especialmente utilizados em países com elevado nível de urbanização, as estimativas apontam para valores significativamente maiores, podendo chegar a 100 milhões de toneladas por ano. Essa estimativa mais elevada se baseia em um índice de 500 kg de RCC por habitante ao ano, que corresponde a uma realidade de infraestrutura urbana comparável a países com Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,80, ligeiramente superior ao IDH médio brasileiro. Embora tal valor possa parecer superestimado à primeira vista, ele não inclui o volume de solos de escavação, que é expressivo em grandes obras urbanas, como túneis, metrô, subsolos de edifícios e redes subterrâneas de saneamento. Países desenvolvidos que incorporam o solo escavado em suas estimativas reportam um dobro da média per capita, o que revela a subnotificação desse tipo de resíduo no Brasil, especialmente em grandes centros urbanos.

De acordo com Guerreiro (2023), os impactos causados pelo setor da construção civil ao meio ambiente vão desde o elevado consumo de recursos naturais e modificação das paisagens até a alta geração de resíduos, sendo esses resíduos objetos aos quais os pesquisadores

devem olhar com atenção, com o intuito de buscar reduzir a geração, bem como novas maneiras de reuso, além de adotar um manejo ideal.

Um sistema de gerenciamento eficiente prioriza a produção sem geração de resíduos e, em segundo plano, incentiva a reutilização, reciclagem, recuperação e, finalmente, a destinação adequada. Dessa forma, a gestão eficaz dos RCC oferece a vantagem de viabilizar a reciclagem de grande parte desse material, reduzindo o consumo de matérias-primas naturais e a extração ilegal, bem como diminuindo a necessidade de áreas e os custos de manutenção de aterros sanitários e pontos de descarte clandestino (Brustolin; Kern, 2024).

De acordo com a resolução nº 307, de 5 de julho de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) reciclagem é um processo que envolve a transformação de um resíduo para que posteriormente ele seja utilizado (Brasil, 2002). Lopes *et al.* (2023) concluem que, a reciclagem de RCC é, indubitavelmente, a melhor alternativa para a conservação ambiental. Além de minimizar os custos de disposição deles, contribui para reduzir significativamente os depósitos clandestinos de entulho. As pesquisas voltam-se não apenas para a redução na geração destes, mas também para viabilizar seu reuso, destinação adequada e sustentável, agregando valor de mercado a esses materiais.

Desta forma, o referido trabalho buscou apresentar uma análise do panorama atual da reciclagem de RCC no Brasil, considerando os desafios e as alternativas que essa prática oferece ao setor. Foram pesquisadas tecnologias existentes no mercado de reciclagem, bem como novos métodos e soluções que possam ter surgido recentemente. Com essas informações, foram analisados os possíveis desafios e alternativas na área.

O presente trabalho é dividido em seis capítulos. O primeiro capítulo é composto pela introdução, na qual são apresentadas: a contextualização do tema, a delimitação do problema, a justificativa da pesquisa e a estrutura do trabalho. O segundo capítulo expõe os objetivos do estudo, contemplando tanto o objetivo geral quanto os objetivos específicos. O terceiro capítulo compreende o referencial teórico, no qual são abordados os principais conceitos relacionados aos resíduos da construção civil, sua classificação, histórico, métodos de reciclagem abordados. O quarto capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados, incluindo a abordagem quali-quantitativa utilizada, os instrumentos de coleta de dados, as fontes consultadas e as técnicas empregadas para a análise das informações. No quinto capítulo, são apresentadas e discutidas as análises dos dados obtidos ao longo da pesquisa, relacionando os resultados com os objetivos propostos e com a literatura revisada. Por fim, o sexto capítulo contempla as conclusões do trabalho, destacando as contribuições da pesquisa, suas limitações e sugestões para estudos futuros.

2 OBJETIVOS

Neste capítulo estão delineados os objetivos do Trabalho de Conclusão do Curso (TCC).

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o atual cenário da reciclagem de Resíduos da Construção Civil (RCC) no Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- realizar levantamento do cenário da reciclagem de RCC no Brasil;
- pesquisar tecnologias e tipos de instalações destinadas ao processamento e reciclagem de materiais descartados em obras que auxiliam no processo de reciclagem de RCC;
- identificar os principais desafios e caminhos para o desenvolvimento sustentável no setor da construção civil.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na presente seção estão dispostos os estudos bibliográficos que destacam as seguintes temáticas: a definição de resíduos da construção civil (RCC) e/ou resíduos da construção e demolição (RCD); a descrição e a classificação dos resíduos da construção; o histórico da reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil; e, por fim, as tipologias, processos e tecnologias utilizadas na indústria da reciclagem dos resíduos da construção civil.

3.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Os termos RCC e RCD, conforme Nagalli (2020), são sinônimos, sendo os dois termos equivalentes. Para o CONAMA (Brasil, 2002) os resíduos da construção civil, são definidos como materiais gerados em atividades de construção, reforma, reparo e demolição de edificações, infraestrutura e escavação de solos. Esses resíduos incluem materiais como concreto, tijolos, metais, madeiras, plásticos, gesso, entre outros, sendo popularmente chamados de entulho, caliça ou metralha. Deve-se considerar que o termo “entulho”, segundo a ABRECON (2020), também é comumente utilizado para se referir a uma mistura de resíduos de construção e demolição sem qualquer tipo de triagem. Esse material é frequentemente encontrado em descartes irregulares e pode incluir não apenas resíduos provenientes da construção civil, mas também de outras origens. O Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos – SINIR (Brasil, 2019) ainda define como RCC os resíduos oriundos de obras, demolições, reparos, reformas e escavações na construção civil.

Na visão do CONAMA (Brasil, 2002), os resíduos da construção e demolição devem ser classificados, assim como, terem destinação final, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação, definição e destinação final dos RCC

CLASSE	DEFINIÇÃO	MATERIAIS	DESTINAÇÃO
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, advindos da construção, demolição, reformas, pavimentação, terraplanagem e canteiros de obra.	Componentes cerâmicos, argamassa, concreto.	Reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A (inertes).
B	Resíduos recicláveis para outras destinações.	Plásticos, papel, metais, vidros, madeiras, gesso e afins.	Reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário.
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.	Materiais sem possibilidade de reciclagem, e não considerados classe D.	Armazenados, transportados e destinados conforme normas técnicas específicas.
D	Resíduos perigosos oriundos do processo da construção civil.	Tintas, solventes, produtos químicos.	Armazenados, transportados e destinados

CLASSE	DEFINIÇÃO	MATERIAIS	DESTINAÇÃO
			conforme normas técnicas específicas.

Fonte: adaptado de CONAMA (Brasil,2002)

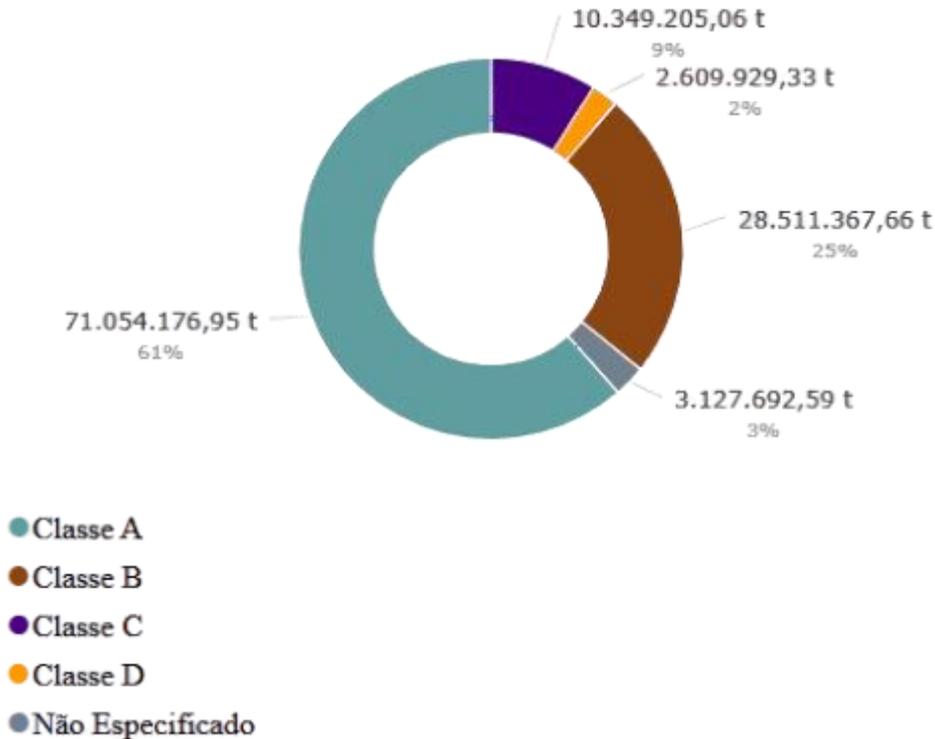
Observa-se no Quadro 1, que as classes A e B, são as únicas passíveis de reciclagem, sendo assim, as únicas que dispõem de tecnologia viável para o seu tratamento.

De acordo com Sousa (2016) os resíduos classe A surgem principalmente durante as etapas de vedações e acabamentos, muitas vezes devido a falhas no planejamento da execução, sendo os produtos à base de cimento Portland, resíduos compostos por concreto e argamassa sem impurezas, após o beneficiamento, podendo ser reutilizados na produção de argamassa e concreto não estrutural. Assim como, os produtos à base de argila (cerâmica vermelha), resíduos originados de produtos cerâmicos, podendo conter concreto e argamassa, desde que isento de impurezas.

Em pesquisa feita na Cidade de Cascavel - PR, Kochem, Dutra e Possan (2019) constataram que dos RCC, a classe A, representa cerca de 86,29% do volume total, enquanto a Classe B corresponde a cerca de 12,36%. Em outro estudo, realizado por Freitas (2016), na Cidade de Caçapava do Sul - RS, os percentuais obtidos para as classes A e B, foram respectivamente, cerca de 85% e 10%. Ao comparar os resultados obtidos por Kochem, Dutra e Possan (2019) em Cascavel – PR, com os apresentados por Freitas (2016) em Caçapava do Sul – RS, nota-se uma semelhança expressiva na predominância da Classe A dos resíduos da construção. Apesar de ambos os estudos terem sido conduzidos na mesma região do país (Sul), e de possíveis variações nos métodos construtivos e na gestão de resíduos, os percentuais se mantêm próximos. Em ambos os contextos, a maior parte do volume gerado é formada por materiais passíveis de reutilização ou reciclagem, como concreto, argamassa e cerâmica.

No ano de 2019, o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos – SINIR, em seu relatório, apresentou dados de 651 municípios declarantes no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS e 470 municípios declarantes no SINIR, sobre as massas de resíduos sólidos gerados nos respectivos municípios, com a devida caracterização gravimétrica dos materiais (Brasil, 2019). As informações obtidas constam na Figura 1.

Figura 1 - Massa de resíduos de construção civil gerada por classe.



Fonte: SINIR (2019)

3.2 HISTÓRICO DA RECICLAGEM DE RCC NO BRASIL

A crescente preocupação com os impactos ambientais gerados pelos resíduos da construção civil estimulou o desenvolvimento de pesquisas voltadas à reciclagem e reaproveitamento desses materiais, e com o tempo, no consequente surgimento de tecnologias e métodos que proporcionassem tais ações. No Brasil, os primeiros estudos científicos sobre o uso de agregados reciclados provenientes de resíduos de RCC foram desenvolvidos por Pinto em 1986 (*apud* Miranda; Angulo; Careli, 2009). Além disso, Miranda, Angulo e Careli (2009) destacam que, as primeiras usinas de reciclagem de resíduos da construção civil no país foram implantadas por iniciativas municipais, sendo a Prefeitura de São Paulo, SP, pioneira nesse processo com a inauguração de sua usina em 1991, seguida pela Prefeitura de Londrina, PR, em 1993, e pela Prefeitura de Belo Horizonte, MG, em 1994.

Os estudos realizados nesse período desempenharam um papel crucial na construção do conhecimento sobre os resíduos da construção e demolição e nas discussões sobre sua gestão. Por meio dessas pesquisas, foi possível evidenciar os impactos ambientais e urbanos causados pelo descarte inadequado desses resíduos, assim como a eficiência dos materiais reciclados e

reaproveitados. Segundo a ABRECON (2020), a metodologia considerada mais adequada para a gestão dos RCC no contexto brasileiro foi apresentada na tese de doutorado do Dr. Tarcísio de Paula Pinto, em 1999. Esse trabalho serviu como base conceitual para a formulação da Resolução CONAMA nº 307 e suas posteriores atualizações, as quais estabeleceram um marco regulatório fundamental para a gestão sustentável desses resíduos no país. Foi confirmada a relevância do tema ao analisar que os resíduos da construção civil podem representar mais de 50% da massa dos resíduos sólidos municipais (Pinto, 1999 *apud* Miranda; Angulo; Careli 2009).

Até o início dos anos 2000, não existia uma gestão adequada e satisfatória dos RCC no Brasil, o que gerava desperdício de muitos materiais que poderiam ser reaproveitados pois para Brasileiro e Matos (2015) nesse período, no país, não existiam políticas públicas que englobassem os materiais provenientes do setor da construção. De acordo com Miranda; Angulo; Careli (2009) em 2002, a Resolução CONAMA 307 foi homologada, estabelecendo que grandes geradores, tanto públicos quanto privados, devem elaborar e implementar um plano de gestão de resíduos da construção e demolição. O objetivo é promover a reutilização, reciclagem ou outra destinação ambientalmente adequada desses materiais. Como resultado, a reciclagem ganhou maior impulso, levando à adoção de planos de gerenciamento de RCC nos canteiros de obras. Além disso, Comitês Técnicos desenvolveram normas específicas para orientar essas práticas, as quais foram oficialmente publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em 2004:

- a) NBR 15113:2004 Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- b) NBR 15114:2004 Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- c) NBR 15115:2004 Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos;
- d) NBR 15116:2004 Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

Com o passar dos anos, a Resolução CONAMA passou por uma série de revisões e atualizações. Conforme apontado por Paulino *et al.* (2023), as Resoluções CONAMA nº 348 (Brasil, 2004), nº 431 (Brasil, 2011), nº 448 (Brasil, 2012) e nº 469 (Brasil, 2015) estabeleceram algumas mudanças na resolução original, sendo:

- a) Resolução nº 348 estabeleceu que, materiais como telhas e outros itens que contenham amianto passariam a ser classificados como resíduos da classe D, ou seja, perigosos;

- b) Resolução nº 431 promoveu uma reclassificação do gesso, movendo-o da classe C para a classe B, indicando seu potencial para reciclagem e outras formas de reaproveitamento;
- c) Resolução CONAMA nº 448, destacam-se a exigência de licenciamento ambiental para a instalação de aterros destinados a resíduos da classe A e a introdução do conceito de “Área de Transbordo e Triagem” (ATT), que designa os espaços dedicados ao recebimento, triagem, armazenamento temporário e possível transformação dos resíduos da construção e demolição. Além disso, essa resolução trouxe a responsabilidade dos geradores na gestão adequada dos resíduos e a obrigatoriedade de inclusão de diretrizes específicas no plano municipal para o gerenciamento dos resíduos gerados pelos pequenos geradores;
- d) Resolução CONAMA nº 469 fez ajustes significativos, incluindo as embalagens vazias de tintas, sem resíduos líquidos, na classe B e determinando sua inclusão no sistema de logística reversa.

De acordo com a ABRECON (2020) entre 2002 e 2010, novas gerações de usinas começaram a surgir, impulsionadas pela entrada da iniciativa privada, sendo considerada como a segunda geração, caracterizada pela maior regulamentação e um crescimento ainda pouco significativo do número de usinas. A partir de 2010, teve início um novo estágio na evolução das usinas de reciclagem de RCC, marcado pela disseminação das unidades móveis e pelo surgimento das usinas híbridas, que integram características operacionais tanto das fixas quanto dos móveis.

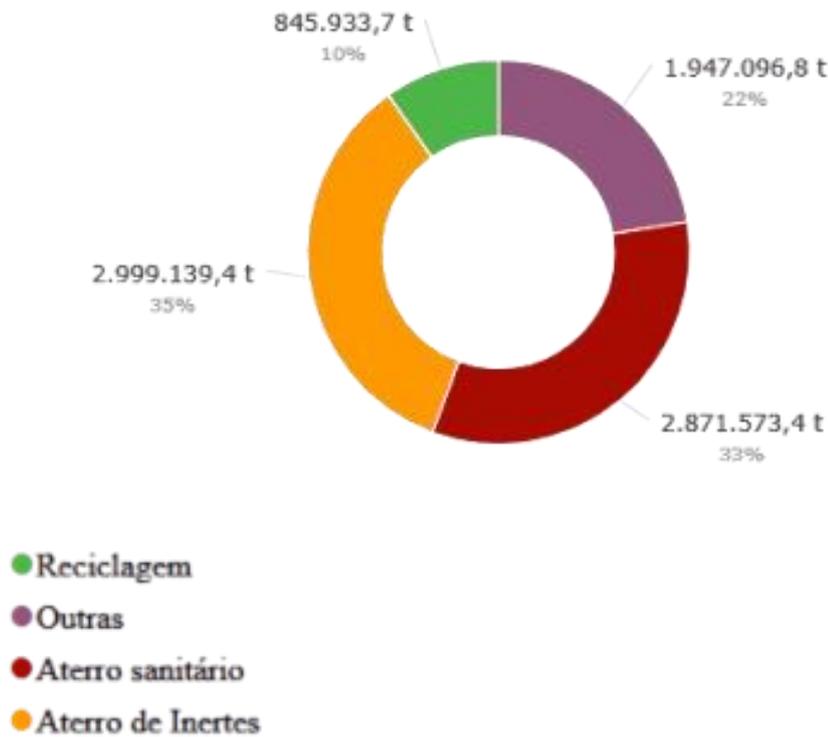
Nesse período, também foi observada a introdução de mais operações de processamento em áreas de transbordo e triagem, com destaque para o crescimento das usinas de grande porte, que incorporaram tecnologias mais avançadas, como projetos de mesas de triagem, sistemas de peneiras rotativas, remoção de impurezas leves por aero classificador, e processos de lavagem, além da diversificação das rotas de produtos, fazendo que o processo de descontaminação dos materiais reciclados ganhasse mais relevância. A associação também classifica as mudanças referentes aos processos e tecnologias a partir de 2020, definindo assim a quarta geração, que possui um controle mais rígido de produção e triagem, introdução de novos procedimentos e a otimização dos processos por meio de softwares.

3.3 TIPOLOGIA, PROCESSOS E TECNOLOGIAS UTILIZADAS NA INDÚSTRIA DA RECICLAGEM DOS RCC

Como aponta o Relatório Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos (Brasil, 2019), a taxa

de reciclagem de RCC no ano de referência, considerando o informado pelos municípios declarantes, corresponde a apenas cerca de 10% do total gerado, conforme ilustrado na figura 2.

Figura 2 - Tipo de destinação adotada para os resíduos de construção civil.



Fonte: SINIR (Brasil, 2019)

De acordo com Teixeira Júnior *et al.* (2020) a reciclagem de resíduos da construção civil tem ganhado espaço entre as construtoras, pois ajuda a reduzir a extração de recursos naturais e torna as obras mais sustentáveis e econômicas. Além de aliviar os impactos ambientais, essa prática vem chamando a atenção do setor por proporcionar uma redução significativa nos custos, mostrando que é possível construir de forma mais consciente e eficiente.

Paschoalin Filho *et al.* (2021) afirmam que, no âmbito da reciclagem dos resíduos da construção e demolição, as Usinas de Reciclagem de Entulho (URE) desempenham um papel fundamental, pois vão além de uma mera alternativa de destinação final. Elas representam um ponto estratégico de reintegração desses materiais à cadeia produtiva da construção civil, contribuindo significativamente para a redução da extração de recursos naturais, a minimização do volume de resíduos descartados em aterros e a promoção de práticas sustentáveis no setor. Além disso, as URE fomentam a economia circular, possibilitando a reutilização de insumos e incentivando a adoção de tecnologias e processos mais eficientes e ambientalmente

responsáveis.

A ABRECON (2020) define como usinas fixas, instalações industriais localizadas em áreas específicas, nas quais é necessário transportar os resíduos até o local para que sejam processados. Devido a esse aspecto, essas usinas envolvem diversas etapas de britagem e limpeza dos materiais, sendo capazes de processar resíduos mistos e gerar diferentes tipos de agregados reciclados, incluindo aqueles de melhor qualidade, dependendo das operações realizadas. A configuração dessas usinas pode ser ajustada para lidar com resíduos de diferentes composições, como os cimentícios e os que contêm cerâmica vermelha. O agregado reciclado misto é geralmente utilizado em sub-bases de pavimento, enquanto o agregado reciclado cimentício é empregado na produção de artefatos de concreto e argamassa, entre outras possíveis aplicações.

A associação ainda define como usinas móveis instalações industriais compactas, projetadas para oferecer maior mobilidade e utilizadas principalmente em grandes canteiros de obras, como os de infraestrutura, ou em projetos de demolição. Nesses locais, os resíduos são processados diretamente, o que traz um grande potencial para reduzir os custos logísticos tanto na destinação dos resíduos quanto na aquisição de agregados. Além disso, esse tipo de usina contribui para a diminuição dos impactos ambientais relacionados ao transporte de agregados, otimizando o processo de reutilização no próprio canteiro de obras.

A indústria de cimento tem apresentado o coprocessamento como uma alternativa para a reciclagem dos resíduos da construção civil. De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2024), essa técnica de gestão sustentável envolve uma ampla gama de resíduos, integrando-os novamente na cadeia produtiva dentro do conceito da economia circular, ajudando a reduzir os impactos ambientais.

Rocha, Lins e Santo (2011) explicam que o coprocessamento envolve a queima de resíduos em fornos rotativos de clínquer, operando sob condições controladas. Esses resíduos são processados a altas temperaturas, em um ambiente alcalino, com uma atmosfera oxidante, proporcionando uma mistura eficiente de gases e produtos, e com um tempo de residência acima de 2 segundos, o que geralmente já é o necessário para a destruição de resíduos perigosos. No entanto, a adoção de combustíveis alternativos na fabricação de clínquer apresenta algumas limitações, como a quantidade de combustível secundário necessária para alimentar o forno e aspectos relacionados à segurança ambiental.

Os resíduos utilizados no processo de coprocessamento, podem ser tanto matéria prima para fabricação de cimento, a exemplo do gesso que funciona como retardante de pega, assim como, fonte energética para alimentar os fornos responsáveis pelo processo, como restos de

madeiras entre outros resíduos de classe B (ABCP, 2024)

O setor da construção civil brasileira possui grande capacidade de estimular a economia e garantir condições de crescimento, sendo os investimentos em infraestrutura fundamentais para o desenvolvimento do país, o qual deve ocorrer de forma eficiente e sustentável. Entretanto, esse setor ainda carece de incentivos que favoreçam o surgimento de inovações no tratamento e na destinação de seus resíduos sólidos, considerando sua expressiva relevância econômica (Silva *et al.*, 2016). Diante desse cenário, surge a necessidade de explorar alternativas tecnológicas que permitam aliar desenvolvimento econômico e práticas sustentáveis, destacando-se, entre elas, a produção de agregados reciclados.

Nesse âmbito, Altschul, Oliveira e Nóbrega (2020) apontam que as tecnologias voltadas à produção de agregados reciclados caracterizam-se pela relativa simplicidade de aplicação, podendo ser implementadas tanto nos próprios canteiros de obra quanto em instalações específicas, por meio de unidades fixas ou móveis. Para que esse processo ocorra de forma eficiente, torna-se imprescindível o diagnóstico prévio dos resíduos gerados, tanto em relação à quantidade quanto à tipologia, uma vez que tais informações orientam a escolha adequada dos métodos e equipamentos destinados à reciclagem. A partir desse diagnóstico inicial, torna-se possível compreender a importância das etapas subsequentes do processamento dos resíduos.

O processamento do RCD se inicia com a triagem prévia, realizada manualmente ou com auxílio de equipamentos como pás carregadeiras e retroescavadeiras, etapa indispensável para a retirada de materiais indesejados, como metais, madeira, gesso acartonado, papelão e louças, desde que não haja contaminação por resíduos orgânicos. Após essa separação, os materiais são devidamente estocados para reciclagem ou destinação final, enquanto o resíduo triado segue em correias transportadoras para a cominuição em britadores de mandíbulas e posterior peneiramento. Dependendo do nível tecnológico da usina, podem ser empregados equipamentos complementares, como aeração separadores, que utilizam insuflamento de ar para remover partículas leves, e ímãs, responsáveis pela captação de metais ferrosos remanescentes. O peneiramento pode ser realizado com moinhos tubulares rotativos, permitindo a obtenção de diferentes granulometrias, enquanto etapas mais avançadas podem envolver tecnologias como o jigge a ar (seco) e as espirais concentradoras, que demandam pesquisas, ensaios em bancada e projetos piloto para definição de parâmetros operacionais, ainda que haja controvérsias quanto à eficiência da jigagem seca (Altschul; Oliveira; Nóbrega, 2020).

Nessa direção, Silva *et al.* (2016) ressaltam que as inovações tecnológicas apresentam elevado potencial para a obtenção de resultados concretos quando incorporadas à cadeia produtiva da construção civil, desde a utilização dos recursos até a destinação final dos resíduos.

Sob a ótica de uma gestão mais eficiente e sustentável, torna-se essencial que as empresas do setor direcionem esforços para a adoção de estratégias de produção que integrem práticas inovadoras. Assim, a inovação assume papel decisivo na consolidação de métodos que favoreçam o reaproveitamento e a destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos provenientes da atividade construtiva, reforçando a necessidade de alinhar desenvolvimento econômico e responsabilidade ambiental.

4 METODOLOGIA

Esta seção apresenta os procedimentos metodológicos adotados para alcançar os objetivos estabelecidos.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa bibliográfica de natureza básica, conforme o conceito de Prodanov e Freitas (2013), que descrevem esse tipo de pesquisa como voltada para a geração de novos conhecimentos úteis para o avanço da ciência, sem uma aplicação prática imediata. No que se refere aos objetivos, a pesquisa caracteriza-se como descritiva, já que, segundo Gil (2002), as pesquisas descritivas buscam, prioritariamente, caracterizar com precisão os elementos de uma população ou fenômeno, podendo também analisar possíveis relações existentes entre diferentes variáveis, sendo o foco deste trabalho, identificar e organizar informações acerca das práticas de reciclagem de RCC no Brasil.

A abordagem metodológica utilizada será quali quantitativa, combinando a análise qualitativa e quantitativa. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), a análise qualitativa busca uma compreensão aprofundada dos fenômenos estudados, interpretando contextos, significados e relações complexas, sendo um método subjetivo. Já a análise quantitativa, por outro lado, permite objetividade e precisão na identificação de padrões e na quantificação de dados. Dessa forma, a combinação dessas abordagens proporciona uma análise mais ampla e enriquecedora, ao integrar a profundidade interpretativa da pesquisa qualitativa com a capacidade de generalização e a objetividade da pesquisa quantitativa.

4.2 ESTRATÉGIAS E TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO DE DADOS

Neste item, são apresentadas as estratégias e técnicas utilizadas para a coleta dos dados essenciais à pesquisa.

4.2.1 Método de obtenção de informações

Inicialmente, foi realizada uma etapa de levantamento e seleção de estudos com o objetivo de embasar a análise. Essa etapa envolveu a busca por artigos científicos, Trabalhos de Conclusão de Curso (TCCs), dissertações, publicações técnicas, bem como documentos e informações disponibilizados nos sites oficiais de instituições governamentais e de associações vinculadas à construção civil e ao meio ambiente. A busca foi direcionada por palavras-chave como “reciclagem”, “RCC”, “gestão” e “sustentabilidade”, visando encontrar publicações que

tratam especificamente dos resíduos gerados pela construção civil e das metodologias de reciclagem, bem como os desafios e caminhos apontados nos resultados e conclusões dos referidos trabalhos.

A fim de compreender o panorama atual da reciclagem no Brasil, delimitou-se o recorte espacial às dez maiores cidades de cada unidade federativa, considerando também o Distrito Federal, o que resultou em um universo de 261 municípios, sendo as informações referentes à população municipal obtidas a partir das estimativas populacionais divulgadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024). A seleção dessas cidades teve como objetivo garantir uma representatividade nacional, permitindo compreender a distribuição e as tipologias das usinas de reciclagem em diferentes regiões do país.

A identificação e catalogação das usinas presentes nos municípios analisados foram realizadas por meio do mapa disponibilizado pela ABRECON. Para complementar e atualizar as informações, procedeu-se à busca de referências em bases científicas reconhecidas, como *Google Scholar*, *SciELO* e Periódicos da CAPES, priorizando publicações dos últimos dez anos, a fim de retratar com maior fidelidade o cenário contemporâneo da reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil. No entanto, considerando a necessidade de contextualização histórica do tema, também foram incluídas fontes mais antigas, especialmente aquelas que abordam a evolução normativa, a implantação das primeiras usinas de reciclagem no país e marcos teóricos relevantes para a consolidação do setor. Complementarmente, informações foram obtidas em sites oficiais de instituições governamentais e de associações ligadas à construção civil e ao meio ambiente, a fim de ampliar a base de dados e garantir a consistência e a diversidade das fontes consultadas.

O procedimento metodológico supracitado está sistematizado de forma visual, possibilitando uma melhor compreensão das etapas descritas anteriormente, na Figura 3.

A análise dos dados obtidos ao longo do estudo foi conduzida por meio de uma abordagem quali-quantitativa, visando proporcionar uma compreensão ampla e aprofundada sobre o cenário da reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil. Os dados quantitativos foram sistematizados em planilhas elaboradas com base nas informações extraídas das fontes consultadas, especialmente do levantamento realizado nas 261 cidades mais populosas do país. Esse procedimento permitiu a identificação de padrões, proporções regionais, tipos de usinas de reciclagem existentes e sua distribuição geográfica, além da produção de um mapa temático utilizando a plataforma *Google My Maps*, indicando dentre as cidades analisadas, as que possuem usinas de reciclagem de RCC. Essa ferramenta permitiu a representação espacial, facilitando a visualização das regiões de maior e menor concentração de usinas e contribuindo para a análise das desigualdades regionais.

Concomitantemente, foi desenvolvida uma análise qualitativa por meio da interpretação dos dados à luz do referencial teórico. Essa análise possibilitou contextualizar os resultados obtidos e extrair significados relevantes. Os dados coletados e analisados foram confrontados com a literatura científica recente, assegurando que a discussão estivesse fundamentada em estudos atualizados e alinhada ao contexto nacional da gestão de resíduos sólidos na construção civil.

Após essa coleta, os dados foram organizados em tabelas e gráficos elaborados no *software Microsoft Excel*, com a finalidade de facilitar a visualização e análise quantitativa e qualitativa. A análise comparativa considerou fatores como a distribuição territorial das usinas, o volume estimado de geração de RCC por região, e a relação entre oferta de infraestrutura de reciclagem e demanda potencial. Paralelamente, foi realizada uma análise crítica dos dados com base no referencial teórico previamente levantado, relacionando os achados com os desafios históricos, normativos e operacionais do setor.

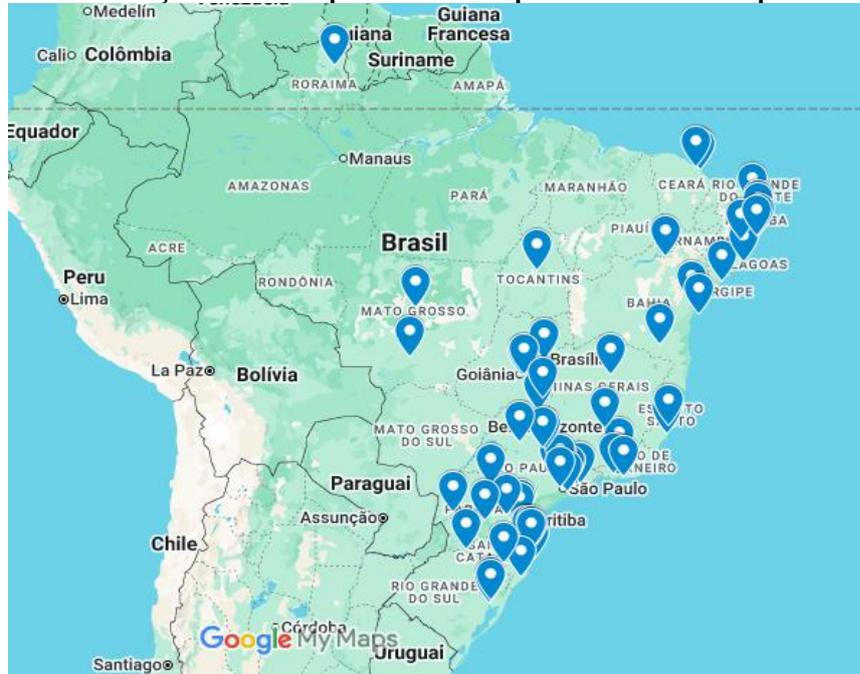
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção tem como propósito apresentar, interpretar e discutir os principais resultados obtidos ao longo da pesquisa, buscando atender aos objetivos propostos e estabelecer conexões com o referencial teórico previamente abordado.

5.1 CENÁRIO DA RECICLAGEM NO BRASIL

A análise do panorama da reciclagem de RCC no Brasil revela um cenário contrastante. Para visualizar essa realidade, foram avaliadas as 261 cidades mais populosas do país (correspondentes às dez maiores de cada unidade federativa, incluindo o Distrito Federal), sendo possível identificar a presença de 85 usinas de reciclagem de RCC localizadas em um raio de até 25 km dos centros urbanos analisados. A Figura 4 evidencia a forte concentração de infraestrutura em determinadas áreas, em detrimento de vastas regiões que permanecem desassistidas.

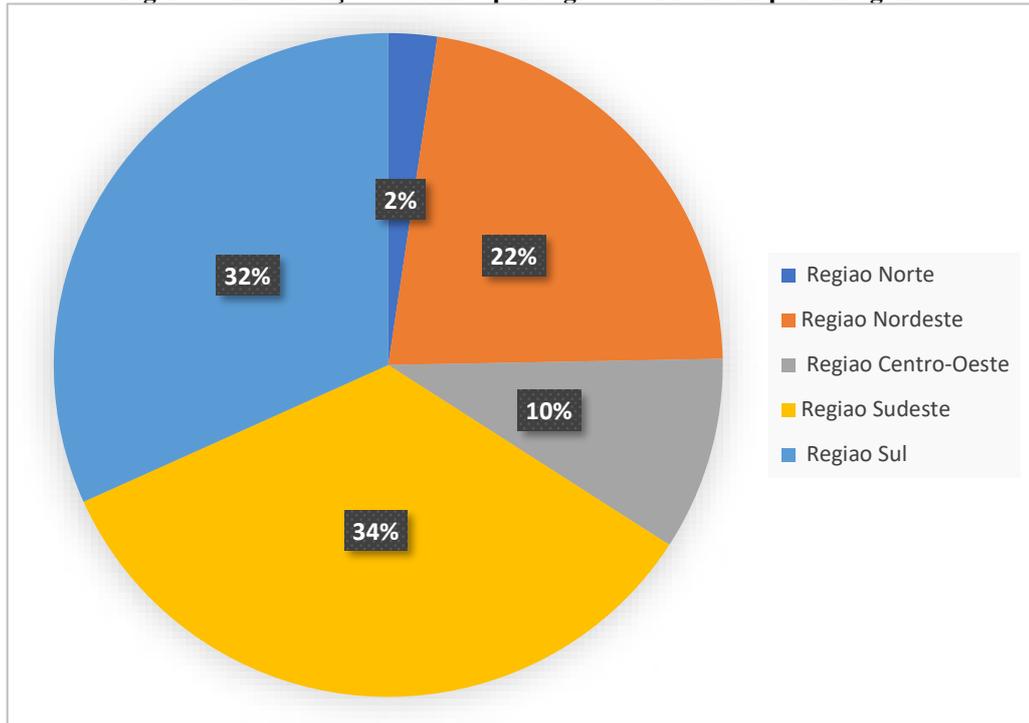
Figura 4 - Distribuição dos municípios analisados que contêm usinas de processamento.



Fonte: Autoria própria através do *Google My Maps* (2025)

Esses dados evidenciam que nem todas as cidades analisadas contam com a presença de unidades, enquanto outras concentram mais de uma, algo que foi considerado na interpretação dos resultados. A Figura 5 mostra o percentual de usinas catalogadas em cada região do país.

Figura 5 -Distribuição de usinas por região do Brasil em porcentagem.



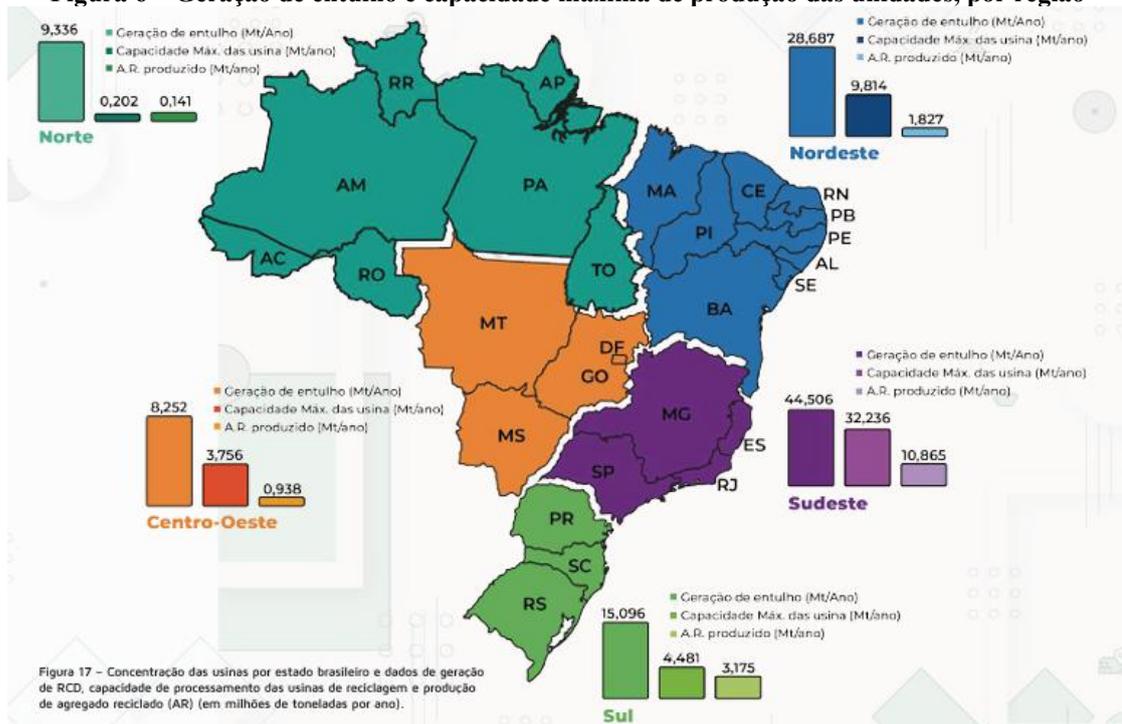
Fonte: Autoria Própria (2025)

A distribuição percentual de usinas por região (Figura 5) demonstra uma concentração de 34% das unidades na Região Sudeste, seguida pela Região Sul, com 32%. Em contrapartida, as Regiões Nordeste, Centro-Oeste, e Norte, representam respectivamente 22%, 10% e 2% do total de usinas mapeadas, que se somadas, obtêm-se pouco mais que o total registrado na Região Sul e, igualam-se ao número de usinas encontradas na Região Sudeste.

Essa distribuição desigual de usinas de reciclagem de RCC torna-se mais significativa quando relacionada aos padrões regionais de geração de resíduos da construção civil. Conforme dados da ABRECON (2020) a Região Sudeste, lidera amplamente a geração de RCC no Brasil, com cerca de 45 milhões de toneladas anuais, o que representa 45% do total nacional, seguida pelas Regiões Nordeste, Sul, Norte e Centro-Oeste, nesta ordem. Entre os estados, São Paulo destaca-se como o maior gerador de resíduos, com 23,1 milhões de toneladas por ano, equivalente a 23,1% do volume nacional, seguido por Minas Gerais, Rio de Janeiro e Bahia.

A correlação entre a geração de entulho e a capacidade máxima de processamento das usinas, assim como, o número de agregados produzidos em cada região está ilustrada na Figura 6, que apresenta a relação detalhada entre esses indicadores, evidenciando como as usinas espalhadas pelo Brasil ainda não fazem uso de todo o seu potencial de processamento e produção de agregados.

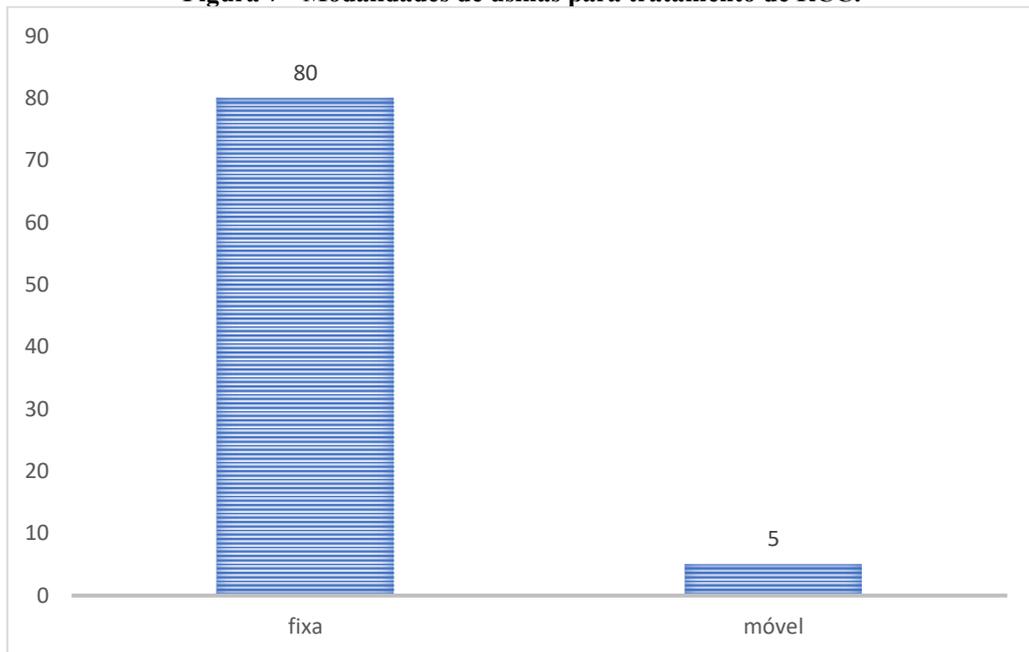
Figura 6 – Geração de entulho e capacidade máxima de produção das unidades, por região



Fonte: ABRECON (2020)

Ao confrontar esses dados com os resultados aqui apresentados, observa-se uma correlação entre os maiores centros geradores e a presença de usinas, especialmente no Sudeste. No entanto, tal relação não se mantém de forma proporcional em todo o país. A Região Nordeste, por exemplo, ocupa a segunda posição em volume de geração, mas fica atrás da Região Sul no número de usinas, demonstrando uma clara defasagem entre geração e capacidade instalada para o reaproveitamento. Outra situação, é a da Região Norte, que, embora seja a quarta maior geradora de resíduos, aparece como a última em número de usinas identificadas, evidenciando um cenário com pouca motivação na área de reciclagem de resíduos oriundos da construção.

Além da distribuição geográfica, também foi analisado o tipo de tecnologia adotada pelas unidades de reciclagem como observado na Figura 7.

Figura 7 - Modalidades de usinas para tratamento de RCC.

Fonte: Autoria Própria (2025)

Os dados obtidos demonstram a predominância das usinas fixas, que operam em locais definidos e requerem o transporte dos resíduos até seus centros de processamento. Embora essas unidades sejam capazes de realizar etapas completas de triagem, britagem e geração de agregados reciclados de diferentes composições (cimentícios e mistos), sua eficiência está fortemente condicionada à logística de transporte. Em municípios com baixa geração de resíduos ou com acesso difícil às usinas, o deslocamento de cargas torna-se mais inviável.

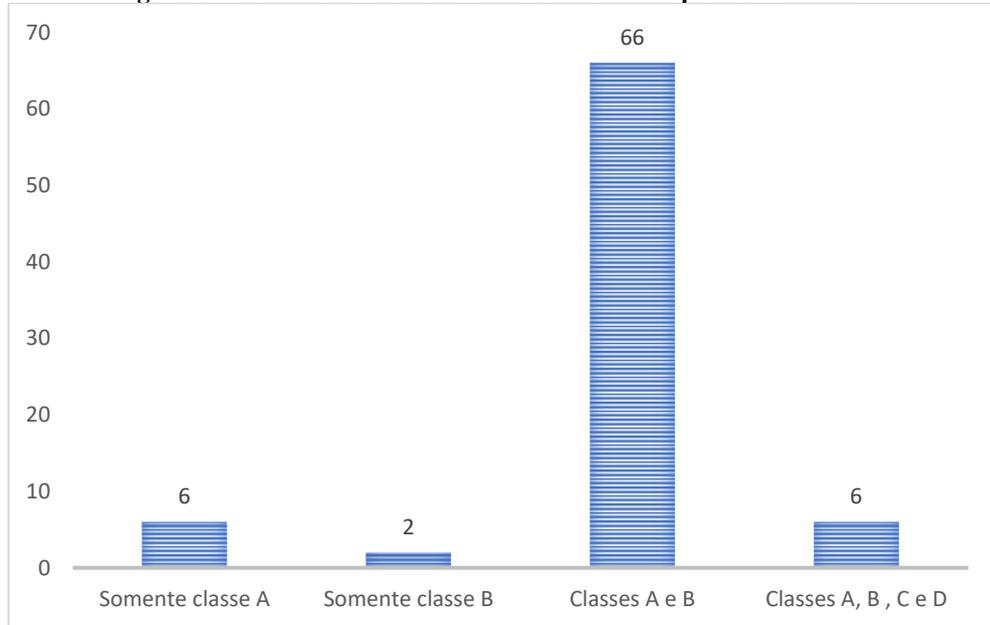
Quanto às usinas móveis, foram registradas apenas 5 unidades nos municípios avaliados, indicando que essas modalidades ainda são minoritárias no cenário nacional. A predominância de estruturas fixas reforça a desigualdade já identificada na distribuição das usinas, uma vez que tendem a se instalar onde há maior demanda contínua por agregados reciclados ou onde possuem maiores incentivos. Cidades de médio e pequeno porte, especialmente no Norte, Centro-Oeste e interior do Nordeste, permanecem desassistidas, mesmo podendo se beneficiar do reaproveitamento local de seus resíduos.

No caso do Brasil, observa-se que a Região Sul, apesar de gerar menos RCC do que o Nordeste, apresenta maior número de usinas. Segundo Cunha *et al.* (2023, *apud* ABRELPE, 2021), as desigualdades regionais impactam significativamente a coleta de resíduos e a instalação de usinas de reciclagem no Brasil, sendo mais críticas nas regiões menos desenvolvidas. Sendo assim, justifica-se um ambiente mais favorável à operação dessas unidades nas Regiões Sul e Sudeste. Tal constatação reforça a necessidade de medidas específicas para ampliar a cobertura de usinas em regiões com alta geração, mas de baixa

capacidade instalada, como é o caso do Nordeste.

Outro ponto observado durante a pesquisa foi o tipo de materiais que estão sendo efetivamente tratados por essas unidades, como demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Classes de resíduos recebidos/tratados pelas unidades.



Fonte: Autoria Própria (2025)

A análise dos dados constatou que a maioria das unidades operacionais ainda concentra seu tratamento/recebimento em resíduos da Classe A, o que inclui materiais como concreto, argamassa e cerâmica, que possuem alto potencial de reaproveitamento na forma de agregados reciclados.

Em seguida, nota-se a presença da Classe B, ainda que em proporção significativamente inferior. Embora sua participação seja menor, destaca-se que alguns resíduos, como madeira e gesso, podem ser processados nas próprias usinas, recebendo destinações que possibilitam sua reinserção como matéria-prima no setor da construção civil. Por outro lado, materiais como papel, plástico, vidro e metais geralmente são triados e encaminhados a outras empresas especializadas no tratamento desses tipos de resíduos, não sendo usualmente processados diretamente nas usinas de RCC.

As Classes C e D, por sua vez, aparecem com representatividade quase nula ou inexistente, a baixa representatividade pode ser explicada pelo fato de que não há tecnologias economicamente viáveis ou processos consolidados para sua reciclagem. Dessa forma, é provável que esses resíduos, quando recebidos, sejam apenas armazenados, transportados e destinados conforme normas técnicas específicas, sem passar por processo de

reaproveitamento.

5.2 INOVAÇÕES NO PROCESSAMENTO E NA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Este tópico visou pesquisar inovações tanto em tecnologias que podem auxiliar no processo de reciclagem de RCC, assim como, em tipos de instalações empregadas no processamento dos resíduos.

5.2.1 O potencial do BIM na gestão e na reciclagem de RCC

O uso da *Building Information Modeling* (BIM) na gestão de resíduos da construção civil tem despertado crescente atenção entre os pesquisadores, inclusive no Brasil. Essa tecnologia, que permite maior controle e precisão no planejamento e reaproveitamento de materiais, vem sendo vista como um caminho promissor para a construção sustentável. O interesse brasileiro por esse tipo de solução tem se destacado entre as pesquisas.

Considerando a afiliação do primeiro autor, entre os vinte e quatro países identificados, observou-se que a China foi responsável pelo maior número de publicações, representando 34,6% do total. Seguindo a China, o Brasil contribuiu com 7,8%, enquanto países como o Reino Unido, os Estados Unidos e a Coreia do Sul contribuíram cada um com 6,7%. O Canadá contribuiu com 5,6% das publicações, enquanto Espanha e Austrália tiveram 4,4% cada, e a Itália contribuiu com 3,3%. Outros países como Egito, Grécia e Polônia tiveram uma participação de 2,2% cada. Da mesma forma, Bélgica, França, Alemanha, Irã, Israel, Japão, Luxemburgo, República Tcheca, Paquistão, Romênia, Indonésia e Vietnã contribuíram com 1,1% cada (Lins *et al.*, 2024, p 8).

Essa diversidade de contribuições evidencia que, embora em diferentes magnitudes, vários países têm direcionado esforços para compreender e aprimorar a gestão e a reciclagem dos resíduos da construção civil. A eficiência na reciclagem dos RCC tem início muito antes do processamento físico dos materiais, abrangendo etapas fundamentais como o planejamento e a quantificação. Nesse contexto, a metodologia BIM destaca-se como uma ferramenta essencial. Lins *et al.* (2024), afirmam que o uso do BIM viabiliza o controle digital das informações de um projeto ao longo de todas as suas etapas, desde a concepção inicial até a fase de uso, reformas e eventual desconstrução. Essa abordagem favorece uma gestão mais precisa e integrada dos resíduos, permitindo sua quantificação, simulação e otimização de forma mais eficiente.

Saka *et al.* (2024) em seu estudo apresenta uma inovação significativa ao integrar o BIM com o Aprendizado de Máquina (*Machine Learning - ML*) para prever a circularidade de resíduos de demolição. O estudo demonstra que sistemas inteligentes podem fornecer informações detalhadas sobre as quantidades de materiais destinados à reutilização, reciclagem ou descarte, otimizando o planejamento e a gestão de RCC. A elevada precisão alcançada com o modelo XGBoost ($R^2 = 0,9977$) reforça o potencial desses sistemas na previsão da geração de resíduos e na definição de estratégias sustentáveis para sua destinação. Lins *et al.* (2024) reforçam essa tendência ao destacarem a integração do BIM com tecnologias avançadas para aprimorar a quantificação e segregação de RCC. Os autores destacam que o uso de drones com tecnologia LIDAR (*Light Detection and Ranging*) tem se expandido na coleta precisa de informações espaciais em áreas de demolição, possibilitando medições volumétricas detalhadas e a identificação dos materiais presentes. Softwares especializados, como o Pix4D e o FARO As-Built, desempenham um papel fundamental na conversão desses dados em modelos tridimensionais utilizáveis.

O Revit continua sendo uma das principais plataformas BIM utilizadas no setor, enquanto ferramentas de programação visual, como o Dynamo, têm sido incorporadas para automatizar tarefas relacionadas à quantificação de resíduos e à avaliação de possibilidades de reaproveitamento de materiais, contribuindo para a redução de falhas humanas e o aumento da eficiência operacional.

5.2.2 *Uso de IA para otimização de processos em reciclagem de materiais da construção civil*

As tecnologias de Inteligência Artificial (IA) emergem como ferramentas cruciais para otimizar a gestão de RCC, conforme destacado por diversos estudos recentes. Alimi *et al.* (2025) oferecem uma análise abrangente das aplicações de IA em oito subcampos principais na gestão de RCC, sendo utilizáveis desde a etapa de planejamento até o monitoramento, sendo esses subcampos: (1) Aprendizado de Máquina, (2) Visão Computacional, (3) Robótica, (4) Processamento de Linguagem Natural, (5) Sensores Inteligentes e IoT, (6) Otimização de Eficiência Energética, (7) Sistemas de Apoio à Decisão e (8) Simulação e Realidade Virtual. Para os autores, a IA demonstra um potencial considerável na otimização de processos de resíduos, especialmente através de tecnologias de Aprendizado de Máquina e Processamento de Linguagem Natural (*Natural Language Processing - NLP*).

Complementando essa perspectiva, Langley *et al.* (2025) aprofundam a discussão sobre a aplicação de Visão Computacional e Aprendizado Profundo (*Deep Learning - DL*) para a análise de RCC mistos em instalações de recuperação de materiais. De forma geral, os

resultados obtidos apontam que, o uso de tecnologias avançadas, como visão computacional e aprendizado profundo, pode facilitar a automação de processos complexos de separação dos resíduos, diminuir os custos operacionais e elevar a qualidade dos materiais reciclados. Além disso, a implementação eficaz dessas ferramentas tecnológicas tende a ampliar o conhecimento sobre a composição dos resíduos, o que pode influenciar a criação de normas mais adequadas e alinhar as práticas do setor aos princípios da sustentabilidade e da economia circular, porém, também aponta grandes desafios que limitam seu uso efetivo.

5.2.3 Tecnologias aplicadas ao processamento de resíduos e para a produção de materiais reciclados

Além das tecnologias de gestão e identificação, o avanço nos processos de transformação dos RCC em novos produtos é fundamental. Thomas *et al.* (2022) explora o potencial do concreto de geopolímero com agregados reciclados como uma alternativa sustentável ao concreto convencional.

O termo “cimento geopolimérico” surgiu mais recentemente para descrever um tipo de aglutinante obtido pela combinação de materiais que contêm sílica e alumínio (como o metacaulim e as cinzas volantes) com soluções alcalinas de silicato de sódio ou potássio. Essa mistura, ao ser devidamente homogeneizada, forma uma pasta com propriedades semelhantes às do cimento convencional, sendo adequada para aplicação em concretos. (Schimanowsk, Oliveira, Pedrozo, 2021).

Nesse contexto, Thomas *et al.* (2022) destacam que o uso de agregados reciclados em concreto de geopolímero pode melhorar significativamente a funcionalidade da mistura. Este é um aspecto positivo para a aceitação e aplicação prática do material. No entanto, o mesmo estudo aponta desafios importantes, como o aumento da absorção de água, além de reduções na resistência à flexão e à tração por compressão diametral e uma menor resistência ao ataque de ácido sulfúrico em comparação com concretos de agregados naturais. Essas limitações são atribuídas principalmente devido à presença de argamassa aderida nos agregados reciclados.

Diante desses desafios, Peiris *et al.* (2025) realizaram uma revisão abrangente que envolveu cerca de 150 estudos sobre métodos de tratamento de remoção de argamassa aderida em agregados reciclados. Os principais métodos analisados para a remoção da argamassa aderida foram: (1) tratamento mecânico, (2) limpeza ultrassônica, (3) tratamento térmico, (4) pré-imersão em soluções e (5) tratamento bacteriano. Os autores apontam que, entre as estratégias de remoção da argamassa aderida, dois tratamentos mecânicos foram mais eficientes. A moagem de bolas (*ball mill*) destaca-se pela eficácia quanto às propriedades físicas

e mecânicas do agregado reciclado e do concreto resultante, sendo também mais indicada para a produção de concreto estrutural, blocos de concreto e asfalto. A limpeza autogênica também demonstrou qualificação para uso em concreto e asfalto, porém suas propriedades de durabilidade devem ser melhor analisadas. Além disso, as conclusões ainda citam que duas ou mais técnicas podem ser utilizadas em conjunto para a obtenção de um agregado com melhores propriedades, porém levando em consideração que o tratamento do agregado pode se tornar custoso e prolongado.

Nesse sentido, os estudos analisados evidenciam que o futuro da reciclagem dos RCC passa não apenas pela gestão eficiente e pela identificação adequada dos resíduos, mas também pela transformação tecnológica que permita ampliar seu aproveitamento. O desenvolvimento de concretos geopoliméricos e as técnicas de remoção de argamassa aderida apontam caminhos complementares que, embora ainda apresentem limitações técnicas e econômicas, reforçam o potencial de evolução da área.

5.2.4 Recuperação energética e instalações de reciclagem alternativas

Em seu estudo Cudecka-Purina *et al.* (2024), afirmaram que a madeira presente nos resíduos da construção civil representa um dos principais materiais com potencial para recuperação energética. Esse resíduo pode ser transformado em cavacos ou *pellets* e aproveitados como combustível de biomassa em tecnologias como a combustão ou gaseificação. Porém, além da madeira, parte dos resíduos pertencentes a classe B também possuem qualificação para serem utilizados na recuperação de energia.

A análise também sugere que 20 a 30% do fluxo total de RCD pode ser usado para recuperação de energia. Mais pesquisas são necessárias para quantificar com precisão o potencial de recuperação de energia dos RCD e identificar práticas eficazes de gestão de resíduos para aproveitar esse potencial (Cudecka-Purina *et al.*, 2024, p. 21).

Além da utilização de resíduos da construção civil como fonte de energia por meio da recuperação energética, estudos também têm explorado a aplicação de resíduos da Classe A como matéria-prima na produção de cimento.

Nesse sentido, Pereira Filho (2017) investigou a viabilidade ambiental, técnica e econômica do uso de resíduos oriundos da indústria de revestimentos cerâmicos como insumo para a fabricação do cimento Portland. Os resultados do estudo indicam que o coprocessamento desses resíduos atende às normas regulamentadoras vigentes, com desempenho positivo

comprovado por laudos e análises laboratoriais. A pesquisa ainda demonstrou que a incorporação de 5% de resíduo cerâmico à mistura permite um reaproveitamento anual estimado em 48 mil toneladas, contribuindo não apenas para a mitigação de impactos ambientais, mas também para o prolongamento da vida útil das jazidas de matérias-primas e a redução no consumo de recursos naturais.

Dando continuidade às pesquisas sobre o aproveitamento de resíduos cerâmicos na cadeia produtiva do cimento, Augusto Junior (2020) apresentou resultados igualmente promissores ao estudar o Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV), proveniente principalmente de blocos cerâmicos de alvenaria. Segundo o autor, esse material pode ser utilizado tanto como adição pozolânica no cimento Portland quanto como substituto integral da argila natural na produção de clínquer. A composição química do RCV (rica em sílica, alumina e óxido de ferro) favorece ambas as aplicações. Quando utilizado como adição, o material apresentou atividade pozolânica e proporcionou um incremento de 4% na resistência à compressão da argamassa. Já na fabricação de clínquer, foi possível produzir clínqueres do tipo belítico (a 1300°C e 1380°C) e Portland (a 1420°C), todos com formação cristalina adequada e baixo teor de cal livre, indicando boa formulação e processo de queima.

5.3 DESAFIOS E CAMINHOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA RECICLAGEM DE RCC NO BRASIL

A análise realizada evidenciou um conjunto de desafios estruturais, logísticos, culturais e institucionais que limitam o avanço da reciclagem de Resíduos da Construção Civil no país.

Um dos principais desafios enfrentados pela reciclagem dos RCC no Brasil está diretamente relacionado à gestão inadequada dos resíduos. A resolução CONAMA nº 448 (Brasil, 2012) estabeleceu a necessidade da responsabilização de todos os geradores de resíduos, desde os pequenos geradores, alinhando-se aos critérios técnicos e condições do município ou região onde eles estão, aos grandes geradores, que devem elaborar Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), que detalham como os resíduos serão gerenciados durante toda a obra, desde a geração até a destinação final.

No âmbito nacional, a implementação do gerenciamento de resíduos sólidos enfrenta grandes dificuldades, resultando frequentemente na destinação inadequada desses resíduos. Essa situação contribui para o surgimento de problemas ambientais e sanitários, incluindo o aumento do risco de vetores de doenças e diferentes tipos de poluição (Vieira; Cicero, 2023). Leão *et al.* (2024), afirmam que no Brasil a aplicação das normas vigentes é frequentemente

negligenciada nos âmbitos municipal, estadual e federal. A gestão de resíduos tende a ser mais efetiva em edificações certificadas; contudo, fatores como tempo e custo dificultam sua priorização. O autor ainda atesta que, no país os PGRCC ainda não estão plenamente consolidados, e há carência de ferramentas que tornem sua execução mais eficiente, incluindo a ausência de metodologias capazes de estimar de forma precisa a quantidade de resíduos que será gerada por cada empreendimento.

Na visão de Paulino *et al.* (2023) a adequada separação dos resíduos de construção e demolição em obras de pequeno porte pode ser alcançada e deve ser incentivada por meio da implementação de políticas públicas, assim como a reutilização dos resíduos classificados como classe A.

Outro entrave identificado é a desigualdade regional na distribuição das usinas de processamento. Enquanto o Sudeste e Sul concentram grande parte das unidades, o Norte e parte do Nordeste apresentam baixa cobertura, mesmo sendo regiões com volume expressivo de geração de resíduos, sendo que neste último, as usinas em maior parte estão localizadas próximas às capitais e regiões metropolitanas dos estados, porém, muitas das maiores cidades analisadas na pesquisa encontravam-se no interior dos estados. Essa disparidade compromete a eficiência da gestão, pois obrigaria o transporte de materiais por longas distâncias, elevando custos ou inviabilizando o processo. De acordo com Blengini e Garbarino (2010) possíveis impactos podem ocorrer relacionados ao transporte dos resíduos, em contrapartida aos benefícios que a reciclagem pode causar. Para contornar esse problema o ideal seria a adoção de usinas móveis ou híbridas nas regiões que não possam ser assistidas por unidades de processamento de resíduos, fazendo assim com que a reciclagem seja estimulada na produção de agregados para utilização no próprio canteiro de obras.

Uma solução seria o uso de usinas móveis em municípios de pequeno porte, ou a instalação de usinas fixas em pontos estratégicos entre dois ou mais municípios de médio e grande porte. Essas alternativas já são conhecidas pelas prefeituras; no entanto, a ausência de planejamento e/ou dificuldade de pôr em prática as soluções compartilhadas resulta nesse cenário de ineficiência dos SMGRCC (Rosado, Penteado, 2019, p. 80).

Um fator importante a ressaltar, e que dificulta a disseminação do agregado reciclado no mercado, são fatores culturais que envolvem a preferência por agregados naturais. A Figura 6 mostra que as usinas distribuídas pelo país possuem muito mais capacidade de produção do que produzem atualmente, porém fatores influenciam a baixa produção.

Além dos aspectos culturais, Lopes *et al.* (2023) afirmam que as normas vigentes não asseguram a uniformidade dos agregados reciclados nem garantem sua plena aceitação no mercado. Embora o custo do controle de qualidade seja relativamente baixo, torna-se imprescindível a implementação de um programa sistemático de controle tecnológico, de modo a assegurar a qualidade do material reciclado e elevar a produtividade do setor. Além disso, é fundamental promover a divulgação das usinas existentes, das características e potencialidades dos materiais produzidos e de sua aplicação em diferentes tipos de obras da construção civil. Também é importante fiscalizar quanto à disposição final dos RCC e a revisão da carga tributária incidente sobre os serviços e produtos do segmento, que atualmente representa um dos principais entraves à expansão das atividades e ao fortalecimento do mercado.

Além desses entraves, Leão *et al.* (2024) concluem que a reciclagem, em particular, enfrenta obstáculos relevantes, como a fragilidade do mercado e os altos custos de transporte. Outro fator decisivo é que a demanda por agregados reciclados supera consideravelmente a capacidade de produção, o que acaba desestimulando seu uso por parte das empresas. Soma-se a isso a carência de conhecimento disseminado sobre reciclagem, logística e logística reversa. A correta segregação dos materiais também se apresenta como um aspecto fundamental a ser aprimorado, pois, quando os resíduos são depositados de forma misturada, os custos de processamento tornam-se mais elevados (Lucezzi, Terence, 2013).

A adoção de incentivos e reduções fiscais configura-se como uma das principais estratégias para fomentar a reciclagem de RCC, especialmente por meio da diminuição de tributos para empresas que realizam essa prática, tornando o agregado reciclado mais competitivo em relação ao agregado natural equivalente. Também se recomenda a concessão de benefícios fiscais para equipamentos empregados no gerenciamento dos RCC, como britadores móveis de pequeno porte, capazes de produzir agregados reciclados diretamente no canteiro de obras, reduzindo a necessidade de destinação em aterros e os impactos associados ao transporte (Ajayi; Oyedele, 2017 *apud* Rosado; Penteado, 2020).

6 CONCLUSÃO

A análise realizada neste estudo possibilitou uma compreensão abrangente do cenário atual da reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil. O levantamento evidenciou avanços significativos no campo normativo, mas também revelou entraves estruturais e disparidades regionais que ainda dificultam a consolidação de práticas sustentáveis no setor. Os resultados indicam que, embora exista um arcabouço legal robusto, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos e as resoluções do CONAMA, sua efetividade está condicionada à aplicação prática, à fiscalização contínua e à capacidade de adaptação às especificidades locais.

No que se refere à infraestrutura disponível, verificou-se que a concentração das usinas de reciclagem nas regiões Sul e Sudeste está associada não apenas à elevada geração de resíduos nessas áreas, mas também a condições econômicas e institucionais mais favoráveis à implantação e operação dessas unidades. Essa concentração, entretanto, acentua a desigualdade de acesso a soluções de reciclagem em regiões Norte e Nordeste, reforçando a necessidade de políticas públicas voltadas à interiorização de unidades, ou adoção de uma tipologia de usinas diferentes, no caso as usinas móveis ou híbridas.

Outro aspecto relevante identificado foi a limitada inserção cultural dos agregados reciclados na construção civil, frequentemente associada a barreiras de mercado, resistência por parte das construtoras e à percepção generalizada de baixa qualidade desses materiais. Tais obstáculos revelam que, para além de incentivos econômicos, é imprescindível investir em mecanismos de certificação, rigorosos controles de qualidade e ações de conscientização que evidenciem a viabilidade técnica, econômica e ambiental dos agregados reciclados, contribuindo para sua aceitação e valorização no setor da construção civil.

Dessa forma, o avanço da reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil exige uma abordagem sistêmica, capaz de articular ações normativas eficazes, incentivos econômicos estratégicos, investimentos em infraestrutura descentralizada e campanhas de comunicação que valorizem o uso de agregados reciclados. A sinergia entre esses elementos é fundamental para mitigar os impactos ambientais da construção civil e consolidar um modelo de economia circular no setor, promovendo práticas mais sustentáveis e socialmente responsáveis.

À luz das tecnologias abordadas neste estudo, verifica-se que ferramentas digitais, como a integração entre BIM e inteligência artificial, assim como técnicas de visão computacional, possuem grande potencial para aprimorar a quantificação e a segregação dos RCC, contribuindo para a redução de perdas e maior precisão nos processos. De forma semelhante, avanços no processamento, incluindo o uso de agregados reciclados em concretos geopoliméricos e a

remoção mecânica da argamassa aderida, demonstram capacidade de ampliar a aceitação técnica dos materiais reciclados. Além disso, estratégias como a recuperação energética e o coprocessamento surgem como alternativas promissoras para ampliar os métodos de reciclagem atualmente empregados. Entretanto, a efetiva implementação dessas soluções exige estudos adicionais que possibilitem sua validação em escala nacional, bem como o fortalecimento da regulamentação e de incentivos de mercado, de modo que sua incorporação à gestão de RCC configure uma perspectiva de médio prazo, em vez de uma realidade imediata.

Como desdobramento deste estudo, sugerem-se diferentes linhas de investigação que podem contribuir para o avanço do conhecimento e para o fortalecimento da reciclagem de RCC no Brasil. Entre elas, destaca-se o desenvolvimento de modelos de viabilidade econômica e logística para a implantação de usinas móveis ou híbridas em municípios de pequeno e médio porte, contemplando as particularidades de diferentes contextos regionais.

Outra vertente relevante consiste na avaliação do desempenho técnico de agregados reciclados em aplicações estruturais e não estruturais, com especial atenção à normatização e aos processos de certificação, de modo a ampliar a confiabilidade e a aceitação no mercado. Além disso, mostra-se pertinente aprofundar os estudos sobre novas tecnologias, tanto as abordadas neste trabalho quanto outras ainda não exploradas, com o objetivo de avaliar de forma mais precisa os impactos e vantagens que poderiam trazer ao mercado de reciclagem de RCC em larga escala.

Recomenda-se, ainda, investigar o impacto de políticas públicas específicas, como a concessão de incentivos fiscais, de modo a incentivar a expansão do mercado de agregados reciclados no país. Além disso, estudos comparativos internacionais podem fornecer subsídios valiosos para a identificação de boas práticas adotadas em países com elevada taxa de reciclagem de RCC, possibilitando sua adaptação à realidade brasileira. Por fim, a análise socioeconômica e ambiental da interiorização das usinas, considerando custos evitados, geração de empregos e redução das emissões associadas ao transporte de resíduos, pode oferecer evidências concretas para fundamentar políticas e decisões estratégicas no setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIMI, Kenny; JIN, Ruoyu; NGUYEN, Bao Ngoc; NGUYEN, Quan; CHEN, Weifeng; HOSKING Lee. Exploring artificial intelligence applications in construction and demolition waste management: a review of existing literature. **Journal of Science and Transport Technology**, p. 104-136, 2025. Disponível em: <https://www.jstt.vn/index.php/en/article/view/329>. Acesso em: 13 ago. 2025.

ALTSCHUL, Joyce Sholl; OLIVEIRA, Isabel Pereira Vidigal de; NÓBREGA, Marcelo de Jesus Rodrigues da. Resíduo da construção e demolição-tecnologias e problemas: um estudo de caso. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 3, n. 1, p. 13-31, 2020. Disponível em: <https://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/article/view/1202>. Acesso em: 21 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Panorama do coprocessamento 2024**: ano base 2023. São Paulo: [s.n.], 2024. 20 p. Disponível em: <https://abcp.org.br/panorama-do-coprocessamento-brasil-2024/>. Acesso em: 13 ago. 2025.

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 RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE-ABREMA. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024**. São Paulo: ABREMA; 2024. 51 p. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/>. Acesso em: 13 ago. 2025.

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

AUGUSTO JUNIOR, José. **Caracterização e reciclagem de resíduos cerâmicos de construção civil para aplicação como adição pozolânica e como componente de clínqueres visando novos cimentos**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Materiais) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2020. 168p. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/a3604ed5-fc82-42ad-b2cc-a1cbea0693c0>. Acesso 13 ago. 2025.

BLENGINI, G. A.; GARBARINO, E. Resources and waste management in Turin (Italy): the role of recycled aggregates in the sustainable supply mix. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 10, p. 1021-1030, 2010. DOI 10.1016/j.jclepro.2010.01.027.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 de julho de 2002. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305. Acesso em: 13 ago. 2025.

BRASIL. Lei 12.305, de 02 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**, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em: 13 ago.2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 348, de 16 de dezembro de 2004. Dispõe sobre diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 17 dez. 2004.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 431, de 3 de junho de 2011. Estabelece critérios para a gestão de resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 6 jun. 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 448, de 18 de dezembro de 2012. Dispõe sobre o plano de gerenciamento de resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 19 dez. 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 469, de 25 de agosto de 2015. Atualiza critérios para a gestão de resíduos da construção civil e inertes. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 26 ago. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos – SINIR. **Relatório nacional de gestão de resíduos sólidos 2019**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://sinir.gov.br/relatorios/nacional/>. Acesso em: 13 ago. 2025.

BRASILEIRO, Luzana Leite; MATOS, José Milton Elias de. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, p. 178-189, 2015. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscaador.html?task=detalhes&id=W2403625519>. 13 ago. 2025.

BRUSTOLIN, Julia Rambo; KERN, Andrea Parisi. Reciclagem de RCD e legislação municipal: diagnóstico em cidades brasileiras. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: ANTAC, 2024.

CUDECKA-PURINA, Natalija; KUZMINA, Jekaterina; BUTKEVICS, Janis; OLENA Arsirii; IVANOV, Oleksii; ATSTAJA, Dzintra. A comprehensive review on construction and

demolition waste management practices and assessment of this waste flow for future valorization via energy recovery and industrial symbiosis. **Energies**, v. 17, n. 21, p. 5506, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/21/5506>. Acesso em: 13 ago. 2025.

CUNHA, Késia da Silva; ROBERTO, José Carlos Alves; SOUTO, Sístina Pereira; LIMA, Suelen Costa. Resíduos sólidos na construção civil no Brasil. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 6, p. 8671-8692, 2023. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/2255>. Acesso em: 13 ago. 2025.

FREITAS, Cássia de Sena. **Composição gravimétrica dos resíduos de construção civil do município de Caçapava do Sul – RS**. 2016. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso – (Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/server/api/core/bitstreams/64f22177-5bd0-4051-b6bb-b3e5b4b04783/content>. Acesso em: 13 ago. 2025.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GUERREIRO, Rafael Duarte. **Resíduos de construção civil: um panorama acerca dos aspectos legais pertinentes no Brasil e Colômbia**. 2023. 111 f. Dissertação (Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2023.

Google. **Mapa de localização das usinas no Brasil**. Google My Maps. 2025. Disponível em: <https://www.google.com/maps/d/edit?hl=pt-BR&mid=18Cp1HsBCge3xsDwItzIG2lwpWr-TxNE&ll=-12.870232021767372%2C-47.75799604999999&z=4>. Acesso em: 13 ago. 2025.

IBGE. Diretoria de Pesquisas – DPE – Coordenação de População e Indicadores Sociais – COPIS. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2024**. [S.l.]: IBGE, 2024. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2024/estimativa_dou_2024.pdf. Acesso em: 19 ago. 2025.

KOCHEM, K.; DUTRA, M.; POSSAN, E. Caracterização do resíduo da construção civil da cidade de Cascavel, PR. *In*: FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 8, 2017, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba, 2017.

LANGLEY, Adrian; LONERGAN, Matthew; HUANG, Tao; AZGHADI, Mostafa Rahimi. Analyzing mixed construction and demolition waste in material recovery facilities: evolution, challenges, and applications of computer vision and deep learning. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 217, p. 108218, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344925000977>. Acesso em: 13 ago. 2025.

LEÃO, Úrsula Maíra Maciel Rigon; LEÃO, Marlon; SANCHES, João Carlos Machado; SCHNEIDER, Karen Wrobel Straub; VALENZUELA, Rafaely Gianotto; SCHNEIDER, Roselene Maria. O cenário do gerenciamento de resíduos da construção civil no Brasil. **Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído**, v. 20, 2024. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/5915>. Acesso em: 15 ago. 2025.

LINS, Eduardo José Melo; PALHA, Rachel Perez; SOBRAL, Maria do Carmo Martins; ARAÚJO, Adolpho Guido de; MARQUES, Érika Alves Tavares. Application of building information modelling in construction and demolition waste management: systematic review and future trends supported by a conceptual framework. **Sustainability**, v. 16, n. 21, p. 9425, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/21/9425>. Acesso em: 13 ago. 2025.

LOPES, Diogo Plachi; SANTOS, Gustavo Soares; MARCOMINI, Luiz Henrique de Brito; MELO, Ruan Aparecido de; PEDROSO, Vinicius Augusto. Reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 1, p. 926-940, 2023. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/8320>. Acesso em: 13 ago. 2025.

LUCHEZZI, C.; TERENCE, M. C. Logística reversa aplicada na construção civil. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, [S. l.], v. 13, n. 1, 2014. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/view/6458>. Acesso em: 21 ago. 2025.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach; ANGULO, Sérgio Cirelli; CARELI, Elcio Duduchi. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/7183>. Acesso em: 13 ago. 2025.

NAGALLI, André. **Aspectos quantitativos da geração de resíduos da construção civil**. 1. Ed., São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2020. Disponível em: <https://encurtador.com.br/ecyfn>. Acesso em: 13 ago. 2025.

PASCHOALIN FILHO, J. A; FRASSON, Sueli Aparecida; CAMELO, Diego Gonçalves; CONTI, Diego de Melo; CORTESE, Tatiana Tucunduva Philippi. Usinas de reciclagem de entulho e os entraves existentes no setor da construção civil: uma pesquisa exploratória. **Exacta**, v. 19, n. 1, p. 52–72. 2021. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/10318>. Acesso em: 13 ago. 2025.

PAULINO, Rafaella Salvador; LAZARI, Carlos Humberto; MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach; VOGT, Vanessa. Atualização do cenário da reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 2008-2020. **Ambiente construído**, v. 23, n. 3, p. 83-97, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/QNNFCRvKbhfCRwx5sgNwxvM/?lang=pt>. Acesso em: 13 ago. 2025.

PEIRIS, Dulshi; GUNASEKARA, Chamila; LAW, David W.; PATRISIA, Yulin; TAM, Vivian W. Y.; SETUNGE, Sujeeva. Impact of treatment methods on recycled concrete aggregate performance: a comprehensive review. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-34, 2025. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-025-36497-y>. Acesso em: 13 ago. 2025.

PEREIRA FILHO, Geraldo Marques. Coprocessamento de resíduos cerâmicos: avaliação do passivo gerado da indústria de revestimento cerâmico como viabilidade ambiental, técnica e econômica para a indústria do cimento. In: V SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - SIMEP, 2017, [S. l.]. **Anais... [S.l.: s.n.]**, 2017.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 275 p. ISBN 978-85-7717-158-3.

ROCHA, Sônia Denise Ferreira; LINS, Vanessa de Freitas Cunha; SANTO, Belinazir Costa do Espírito. Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, p. 1-10, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/3FybtBWKMpCPqCKSXhVnQvp/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 ago. 2025.

ROSADO, Laís Peixoto; PENTEADO, Carmenlucia Santos Giordano. Avaliação do ciclo de vida do sistema municipal de gerenciamento de resíduos da construção civil da região metropolitana de Campinas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 71-82, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/NgJQqJwkW4RR6TMfvtVYSgL/?lang=pt>. Acesso em: 21 ago. 2025.

ROSADO, Laís Peixoto; PENTEADO, Carmenlucia Santos Giordano. Gestão municipal dos resíduos da construção civil: influência da taxa de disposição em aterros. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, p. e00321, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/9YKyTKSnpZpzcynw8zjWk6J/?lang=pt>. Acesso em: 15 ago. 2025.

SAKA, Abdullahi; TAIWO, Ridwan; SAKA, Nurudeen; OLULEYE, Benjamin; DAUDA, Jamiu; AKANBI, Lukman. Integrated BIM and Machine learning system for circularity prediction of construction demolition waste. **arXiv preprint arXiv:2407.14847**, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2407.14847>. Acesso em: 13 ago. 2024.

SCHIMANOWSKI, Eric Renã Zavitzki; OLIVEIRA, Gabrielli Tápia de; PEDROZO, Éder Claro. Geopolímeros na engenharia civil: uma alternativa ao cimento convencional. *In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 28., 2021, Ijuí. **Anais... Ijuí: Unijuí**, 2021. Disponível em: <https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/view/20993>. Acesso em: 13 ago. 2025.

SILVA, Fabrício Carvalho da; LIMA, Francisco Valdivino Rocha; PAIXÃO, Ana Eleonora Almeida; SANTOS, João Antônio Belmiro dos. Mapeamento de tecnologias associadas ao reaproveitamento de resíduos sólidos e reciclagem de materiais utilizados no setor da construção civil brasileira. *In: Anais do International Symposium on Technological Innovation*. 2016. Disponível em: <https://encurtador.com.br/JmUDU>. Acesso em: 15 ago. 2025.

SOARES, Núbia Cristina; AMARAL, Diego Roger Borba. Resíduos na construção civil. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 66-87, 2021. Disponível em: <https://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/article/view/1483>. Acesso em: 13 ago. 2025.

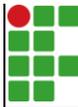
SOUSA, Angélica Costa de. **Gerenciamento de resíduos na construção civil**. 2016. Monografia (Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento

de Engenharia de Materiais e Construção) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

TEIXEIRA JÚNIOR, Airton Braga; PRADO, Danielle Aparecida do; SILVA JUNIOR, Milton Gonçalves da; PARADA, Joaquim Orlando; FELICIANO, Aurélio Caetano; PEREIRA, Rafael Gonçalves Fagundes; DIAS, Jéssica. Estudo do reaproveitamento e reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil. **Revista Uniaraguaia**, p. 62-84, 2020. Disponível em: <https://sipe.uniaraguaia.edu.br/index.php/REVISTAUNIARAGUAIA/article/view/941>. Acesso em: 13 ago. 2025.

THOMAS, Blessen Skariah; YANG, Jian; BAHURUDEEN A.; CHINNU, S.N.; ABDALLA, Jamal A.; HAWILEH, Rami A.; HAMADA, Hussein M. . Geopolymer concrete incorporating recycled aggregates: a comprehensive review. **Cleaner Materials**, v. 3, p. 100056, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772397622000168>. Acesso em: 13 ago. 2025.

VIEIRA, Daniel Lima da Silva; CÍCERO, Rafael Sebastião. Desafios na gestão de resíduos sólidos no setor da construção civil. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Sociais Aplicadas EDUVALE**, Jaciara-MT, v. 1, p. 33-47, jan./mar. 2023.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Cajazeiras - Código INEP: 25008978
	Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CEP 58.900-000, Cajazeiras (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0005-07 - Telefone: (83) 3532-4100

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

ENTREGA DE TCC

Assunto:	ENTREGA DE TCC
Assinado por:	Kecio Nobrega
Tipo do Documento:	Dissertação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Jheimerson Kécio Santos Nóbrega, ALUNO (201712200035) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS**, em 26/09/2025 20:28:40.

Este documento foi armazenado no SUAP em 26/09/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1624081

Código de Autenticação: 68138d4e87

