



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS - CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

PERLLA DE OLIVEIRA ROCHA

**CONSTRUINDO CONEXÕES SUSTENTÁVEIS: UMA ABORDAGEM
TECNOLÓGICA PARA MINIMIZAR OS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS
PELA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PALMAS – TO
2025**

PERLLA DE OLIVEIRA ROCHA

**CONSTRUINDO CONEXÕES SUSTENTÁVEIS: UMA ABORDAGEM
TECNOLÓGICA PARA MINIMIZAR OS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS
PELA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal do
Tocantins, Ciência e Tecnologia do Tocantins –
Campus Palmas, como exigência à obtenção
do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Pós Doc. Virley Lemos de
Souza

**PALMAS – TO
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

R672c Rocha, Perlla de Oliveira
CONSTRUINDO CONEXÕES SUSTENTÁVEIS: UMA
ABORDAGEM TECNOLÓGICA PARA MINIMIZAR OS IMPACTOS
AMBIENTAIS GERADOS PELA CONSTRUÇÃO CIVIL / Perlla de
Oliveira Rocha. – Palmas, TO, 2025.
48 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: PhD Virley Lemos de Souza

1. Gestão de Resíduos de Obra. 2. Aplicativos. 3. Inteligência
Artificial. I. Lemos de Souza, Virley. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**

PERLLA DE OLIVEIRA ROCHA

**CONSTRUINDO CONEXÕES SUSTENTÁVEIS: UMA ABORDAGEM
TECNOLÓGICA PARA MINIMIZAR OS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS
PELA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal do
Tocantins, Ciência e Tecnologia do Tocantins –
Campus Palmas, como exigência à obtenção
do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Aprovado em: 15/12/2025

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente
 **VIRLEY LEMOS DE SOUZA**
Data: 29/01/2026 17:24:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Pós Doc. Virley Lemos de Souza (Orientador)
IFTO – Campus Palmas

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANA SORAYA ALEXANDRIA MONTEIRO**
Data: 28/01/2026 17:19:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Msc. ~~ADRIANA SORAYA ALEXANDRIA~~ Monteiro
IFTO – Campus Palmas

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANO DOS GUIMARAES DE CARVALHO**
Data: 28/01/2026 16:35:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dsc. Adriano dos Guimaraes de Carvalho
IFTO – Campus Palmas

AGRADECIMENTOS

Em primeiro momento, sou grata a Deus pela oportunidade que tenho de estudar e principalmente de viver e poder ter desenvolvido este trabalho. Para mim é uma honra concluir essa etapa da minha vida com a ajuda d'Aquele que é Poderoso para fazer infinitamente mais do que pedimos ou imaginamos.

Sou profundamente grata às pessoas que mais amo e que me deram o direito de viver, meus pais, Emerico Rodrigues da Rocha Neto e Maria Edeleuza de Oliveira, que mesmo antes de pedirem em palavras, demonstraram por meio de suas ações que o estudo abre portas e transforma vidas. Agradeço por cada palavra de incentivo e até os sacrifícios silenciosos realizados por mim e que me trouxeram até aqui, em especial ao meu pai, pela honra do compromisso assumido desde o início até o fim.

Estendo meus agradecimentos a todos os familiares que de maneira direta ou indireta me ajudaram durante o caminho, por se alegrarem comigo, pelas palavras de apoio nos momentos difíceis, pelos incentivos emocionais e, algumas vezes, também financeiros. Aos meus avós, tios, tias, irmãos, primos(as), padrinho e madrinhas registro minha sincera gratidão.

Agradeço também aos professores, que compartilharam conhecimento, amizade e dedicação, e que diariamente assumem o compromisso de ensinar o ofício da nossa profissão. Em especial, ao meu orientador Virley Lemos, que idealizou este projeto comigo e acompanhou cada etapa do processo.

Aos amigos que caminham comigo desde antes da graduação e àqueles que conheci durante o percurso universitário, deixo minha sincera gratidão. Cada palavra de apoio, cada conversa e cada momento de descontração contribuíram para que esta jornada se tornasse mais leve e significativa.

Agradeço ao meu companheiro de vida pelo apoio constante e pela compreensão nos momentos em que a rotina acadêmica se tornou mais exigente. Sou grata pelo cuidado, pela paciência e por caminhar ao meu lado durante cada etapa desta conquista.

Rendo também homenagem ao meu primo Pedro Henrique, *in memoriam*, cujo carinho e apoio marcaram profundamente minha trajetória. Em 2019, me acompanhou em todos os vestibulares e acreditou na minha aprovação no IFTO antes mesmo de mim. Sua memória segue viva em meu coração e sempre fará parte desta conquista.

RESUMO

ROCHA, Perlla de Oliveira. **Construindo Conexões Sustentáveis: Uma Abordagem Tecnológica Para Minimizar Os Impactos Ambientais Gerados Pela Construção Civil**. Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins Campus Palmas, Palmas, TO, 2025. 48 p.

Este trabalho apresenta uma abordagem sobre o uso de tecnologias digitais e inteligência artificial para apoiar a gestão de resíduos da construção civil. Em um contexto marcado pelo aumento da geração de resíduos e pela dificuldade de aplicação efetiva da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), torna-se relevante buscar soluções que facilitem o reaproveitamento de materiais e promovam práticas sustentáveis no setor. O objetivo deste estudo é desenvolver um aplicativo capaz de auxiliar na gestão de resíduos de obras por meio de recursos de IA, examinando o processo de classificação de materiais, o potencial de reaproveitamento e a criação de conexões sustentáveis entre usuários. Para alcançar esse objetivo, realizou-se um levantamento bibliográfico sistemático sobre resíduos da construção, economia circular, sustentabilidade e tecnologias aplicadas ao setor, além da análise dos dados obtidos para identificar lacunas e oportunidades de inovação. O desenvolvimento do aplicativo *Reaproveita* utilizou o framework Flutter, banco de dados local Hive, integração com IA heurística e IA generativa, além de testes práticos das funcionalidades implementadas. Os resultados revelaram que o aplicativo atende a uma demanda real do setor ao oferecer uma ferramenta acessível, intuitiva e alinhada aos princípios sustentáveis, destacando a capacidade de classificar materiais, gerar relatórios ambientais, organizar informações e permitir interações entre usuários. Observou-se também que a proposta contribui tanto para a prática profissional quanto para a formação acadêmica, ampliando o acesso a conhecimentos sobre reaproveitamento de materiais. Diante dos resultados, podemos concluir que o uso da inteligência artificial representa um caminho promissor para aprimorar a gestão dos resíduos da construção civil, favorecendo práticas de reuso e reduzindo impactos ambientais. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a expansão do aplicativo para uma base de dados online sincronizada, a inclusão de geolocalização e o aperfeiçoamento dos algoritmos de IA, de modo a ampliar seu impacto social, ambiental e tecnológico.

Palavras-chave: Resíduos Da Construção Civil. Inteligência Artificial. Sustentabilidade. Economia Circular. Tecnologia. Reaproveitamento De Materiais.

ABSTRACT

ROCHA, Perlla de Oliveira. **Building Sustainable Connections: A Technological Approach to Minimize the Environmental Impacts Generated by Civil Construction.** Undergraduate Final Project, Bachelor's Degree in Civil Engineering – Federal Institute of Education Science and Technology of Tocantins Campus Palmas, Palmas, TO, Brazil, 2025. 48 p.

This study presents an approach to the use of digital technologies and artificial intelligence to support the management of construction and demolition waste. In a context marked by the increasing generation of waste and the challenges in effectively implementing the National Solid Waste Policy (PNRS), it becomes essential to seek solutions that facilitate material reuse and promote sustainable practices in the construction sector. The objective of this research is to develop an application capable of assisting in waste management through AI-based tools, examining material classification, reuse potential, and the creation of sustainable connections among users. To achieve this objective, a systematic literature review was carried out on construction waste, circular economy, sustainability, and technological innovations applied to the sector, alongside data analysis to identify gaps and opportunities. The development of the *Reaproveita* application employed the Flutter framework, a local Hive database, heuristic and generative AI resources, and practical testing of its implemented functionalities. The results revealed that the application meets a real demand in the sector by offering an accessible, intuitive, and sustainability-oriented tool, with the ability to classify materials, generate environmental reports, organize information, and enable interactions among users. The findings also indicate that the proposal contributes to both professional practice and academic learning by expanding access to knowledge on material reuse. In conclusion, this study demonstrates that artificial intelligence represents a promising path for enhancing construction waste management, fostering reuse practices and reducing environmental impacts. Future work is recommended to integrate an online synchronized database, add geolocation features, and improve AI algorithms to broaden the application's social, environmental, and technological impact.

Keywords: Construction And Demolition Waste. Artificial Intelligence. Sustainability. Circular Economy. Technology. Material Reuse.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cadeia da construção civil	13
Quadro 1 - Estimativas de Geração de resíduos da Construção Civil em diferentes países	14
Figura 2 - Coleta de RCD pelos municípios no Brasil e regiões em 2021	16
Quadro 2 - Referência de estimativa RCD	17
Gráfico 1 - Percentual de Geração de RCD por área programa no Estado do Tocantins	18
Tabela 1 - Estimativa de geração de RCD para os municípios da área programa de Palmas (ton/mês)	19
Figura 6 - As revoluções da indústria	23
Figura 7 - áreas relacionadas à inteligência artificial	24
Figura 8 - Círculos concêntricos IA, ML e DL	25
Figura 9 - Escada de leitura	30
Figura 10 - Fluxo de Desenvolvimento	32
Figura 11 - Estrutura do aplicativo no Android Studio	35
Quadro 3 - Versões Git	36

LISTA DE SIGLAS

3D	Tridimensional
Abrelpe	Associação Brasileira De Empresas De Limpeza Pública E Resíduos Especiais
BIM	Building Information Modeling
C&D	Construção e demolição
DL	Deep Learning
IA	Inteligencia artificial
IEC	Comissão Eletrônica Internacional
ISO	Organização Internacional de Normalização
ML	Machine Learning
NBR	Norma Brasileira
PERS-TO	Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Tocantins
PIB	Produto Interno Bruto
RCD	Resíduos da construção e demolição
Semarh-TO	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Tocantins

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 PROBLEMA DE PESQUISA	9
3 JUSTIFICATIVA	10
4 OBJETIVOS	11
4.1 Objetivo Geral	11
4.2 Objetivos Específicos	12
5 REVISÃO DE LITERATURA	12
5.1 Resíduos da construção	12
5.2 Gestão de Resíduos de Obra	19
5.3 Inteligência Artificial	22
5.4 Aplicativos	27
6 METODOLOGIA	28
6.1 Caracterização da Pesquisa	28
6.2 Desenvolvimento da ferramenta tecnológica	31
6.3 Etapas de desenvolvimento	32
6.4 Considerações éticas	33
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
7.1 Estrutura da Aplicação	34
7.2 Versões Git	36
7.3 Interface e Experiência do Usuário	37
7.4 Funcionalidade de Cadastro e Edição de Materiais	37
7.5 Inteligência Artificial Heurística: Classificação e Sugestão de Uso	38
7.6 Inteligência Artificial Avançada: Relatório Ambiental Completo	38
7.7 Funcionalidade de Chat e Comunicação entre Usuários	39
7.8 Exportação, Importação e Backup de Dados	39
7.9 Avaliação Geral do Aplicativo Reaproveita	39
8 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais representativos e influentes no Brasil, desempenhando papel crucial desde os primeiros dias da colonização. Durante este período, a construção de infraestrutura básica foi fundamental para o estabelecimento das cidades e para o desenvolvimento econômico.

Em meados da década de 1960, com a intensificação do êxodo rural e o consequente crescimento das áreas urbanas, a construção experimentou uma expansão significativa. Esse aumento na demanda impulsionou o progresso da urbanização no país, consolidando ainda mais a importância da construção civil na economia nacional.

No cenário econômico, a construção civil desempenha um papel fundamental, pois é um dos principais influenciadores no que tange ao crescimento econômico e na geração de empregos. Este setor é responsável por uma significativa parcela do PIB (Produto Interno Bruto), agindo numa vasta cadeia produtiva que vai desde a fabricação de materiais de construção até os serviços de engenharia.

Contudo, segundo John e Agopyan (2003), o setor da construção civil consome entre 15% e 50% dos recursos naturais e é considerado o principal gerador de resíduos na sociedade. Diante do pressuposto, é de grande importância racionalizar o estudo da sustentabilidade nessa área para tentar equilibrar os desafios.

No âmbito da sustentabilidade¹, esta pesquisa sobre design e desenvolvimento de aplicativo móveis para gestão de resíduos da construção civil é de grande importância devido aos desafios ambientais contemporâneos, que impulsionam com relevância a criação de esforços que visam a gestão de resíduos, especialmente daqueles oriundos da construção civil.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

De acordo com Charles J. Kibert (2016), cada fase do ciclo de vida de um edifício, desde a extração de matérias-primas até o descarte final, impacta

¹ “A sustentabilidade surgiu para equilibrar a economia e os cuidados necessários para o meio ambiente.” (Leite *et al.*, 2023).

significativamente o meio ambiente, envolvendo o consumo de recursos naturais, a emissão de carbono e a geração de resíduos.

Em consonância com essa perspectiva, Karpinski *et al.* (2009) destacam que a crescente demanda por recursos naturais tem incentivado, cada dia mais, a busca por soluções que promovam o desenvolvimento econômico alinhado ao crescimento sustentável.

Entretanto, observa-se que a busca pelo desenvolvimento humano frequentemente desconsidera as consequências futuras da exploração desses recursos, acarretando problemas significativos como poluição, degradação ambiental e uma intensa necessidade de insumos naturais para sustentar o progresso.

Essa negligência tem provocado um impacto ambiental crescente, o que evidencia a urgência de adotar práticas mais sustentáveis, a fim de assegurar o equilíbrio entre desenvolvimento e preservação ambiental. Diante desse cenário, emerge o seguinte problema de pesquisa: Como a inteligência artificial pode contribuir para a melhoria da gestão de resíduos advindos da construção?

3 JUSTIFICATIVA

A gestão de resíduos gerados pela construção civil é desencadeada principalmente pelo avanço do setor nas últimas décadas, o que resulta em impactos ambientais de grande escala para a sociedade.

Dentre esses impactos, destacam-se o consumo excessivo de água, o uso de minerais e materiais de construção, a emissão de dióxido de carbono e a geração de resíduos de construção e demolição (RCD). Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, da Abrelpe (2022), a quantidade de resíduos de construção e demolição no ano de 2021 foi estimada em cerca de 227 kg/hab/ano.

Nesse cenário, o setor da construção civil enfrenta desafios ambientais significativos devido ao grande volume de resíduos gerados nas etapas de construção e demolição. A gestão inadequada desses materiais contribui diretamente para a poluição e o esgotamento dos recursos naturais, evidenciando a necessidade de práticas mais sustentáveis e eficientes. Uma gestão apropriada dos resíduos, além de mitigar os impactos ambientais, promove economia e benefícios operacionais para as empresas do setor.

Para alcançar esse gerenciamento adequado de RCD, é essencial o uso de ferramentas de apoio à avaliação e ao monitoramento eficaz. Conforme apontado por Cervantes *et al.* (2018), foram propostas diversas ferramentas, algumas fundamentadas no uso de indicadores, com o objetivo de impulsionar o desenvolvimento da gestão municipal de resíduos sólidos em diferentes contextos.

No que diz respeito à aplicabilidade da Inteligência Artificial (IA) na construção civil, destaca-se seu potencial na gestão de resíduos por meio de ferramentas capazes de classificar automaticamente os materiais descartados. Além disso, a IA pode atuar na detecção de padrões de geração de resíduos, propor estratégias de reutilização de materiais, indicar rotas de coleta e, assim, fomentar práticas de economia circular no setor construtivo.

A pretensão de integrar a inteligência artificial à promoção da sustentabilidade na construção civil está diretamente relacionada à intenção de reduzir os custos operacionais, minimizar desperdícios e adotar práticas sustentáveis como a reciclagem e a reutilização. Com base nesse cenário, observa-se que estratégias de reaproveitamento de materiais podem contribuir de forma significativa para a mitigação dos impactos ambientais.

Diante da importância ambiental e econômica de uma gestão eficiente dos resíduos da construção civil e da contribuição positiva que a Inteligência Artificial pode oferecer nesse contexto, este trabalho se justifica por buscar explorar a IA como uma ferramenta potencialmente eficaz para os desafios enfrentados atualmente pelo setor construtivo.

Considerando esses aspectos, torna-se fundamental investir em soluções inovadoras e sustentáveis, com o intuito de mitigar os impactos que as atividades da construção civil vêm gerando sobre o meio ambiente.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Esse trabalho de conclusão de curso tem como objetivo geral utilizar a inteligência artificial como ferramenta, através de um aplicativo, para auxiliar na gestão de resíduos de obras interligando os agentes envolvidos nos processos de produção, descarte e reciclagem de resíduos.

4.2 Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento bibliográfico sistemático sobre a gestão de resíduos de obras no Brasil, com ênfase no estado do Tocantins e no município de Palmas;
- Analisar os dados obtidos a fim de identificar possíveis soluções para os desafios da gestão de resíduos na construção civil;
- Desenvolver uma ferramenta tecnológica voltada à gestão de resíduos da construção civil.

Assim, este trabalho baseia-se em teorias que defendem a preservação e a manutenção do meio ambiente, aproveitando novas tecnologias para promover a sustentabilidade e fortalecer a economia garantindo um desenvolvimento sustentável.

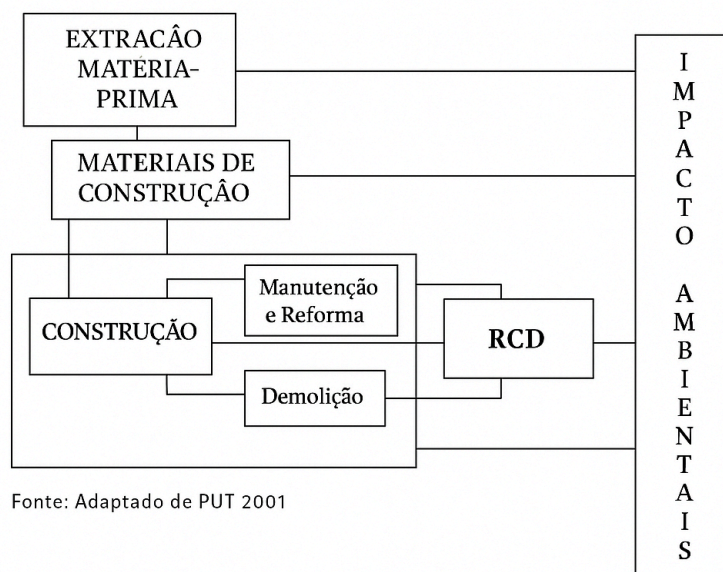
5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Resíduos da construção

Com o advento da Revolução Industrial nos séculos XVIII e XIX, regiões das Américas e da Europa começaram a se desenvolver rapidamente devido à criação das fábricas nas cidades. A migração de pessoas indo do campo para os centros urbanos gerou a necessidade de adequar esses locais para atender às necessidades básicas dos aglomerados humanos que estavam se formando.

Brasileiro e Matos (2015a) explicam que, até o século XX, apenas cerca de 34% da população mundial aproximadamente 300 milhões de pessoas vivia em áreas urbanas, com isso a preocupação acerca dos problemas ambientais gerados pela urbanização eram mínimas, tendo em vista que a produção dos resíduos ainda era pequena comparada à de hoje.

Com base nisso, observa-se que a construção civil, ao adaptar os locais para atender às necessidades básicas humanas, utilizou recursos naturais de fontes não-renováveis, gerando subprodutos e resíduos de diversas naturezas em todas as fases construtivas. A figura 1 mostra como a construção influencia nesses aspectos citados.

Figura 1 - Cadeia da construção civil

Fonte: Adaptado de PUT 2001

Fonte: Put *apud* Scheneider (2003)

Segundo John e Agopyan (2000), os resíduos de construção são gerados em diferentes fases do ciclo de vida das edificações, incluindo a fase de construção propriamente dita no canteiro de obras, durante a manutenção e reformas, e finalmente, na demolição de edifícios.

Os subprodutos gerados pela urbanização, também caracterizados por resíduos da construção e demolição (RCD) alcançaram níveis altos com o passar do tempo. Chung e Lo (2003) destacam que os resíduos de construção e demolição frequentemente constituem a principal fração dos resíduos sólidos descartados nas cidades de países desenvolvidos, podendo representar de 20% a 30% e, em alguns casos, ultrapassar 50% do total.

Com o passar do tempo, observou-se que a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) atingiu níveis alarmantes em escala global. Essa constatação despertou uma crescente preocupação quanto à necessidade de minimizar os impactos negativos causados por esses resíduos ao longo da cadeia produtiva da construção civil.

A partir disso, diversos estudos e políticas públicas começaram a ser desenvolvidos com o objetivo de promover práticas mais sustentáveis de gestão desses materiais. Nesse contexto, o Quadro 1 do Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil, do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2012),

apresenta uma estimativa da geração de resíduos em alguns países, conforme explorado ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Quadro 1 - Estimativas de Geração de resíduos da Construção Civil em diferentes países

País	Quantidade Anual		Fonte
	Mton/ano	Kg/hab.	
Suécia	1,2 - 6	136 - 680	Tolstoy, Borklund e Carlson (1998) e EU (1999)
Holanda	12,8 - 20,2	820 - 1300	Lauritzen (1998), Brossink, Brouwers e Van Kessel (1996) e EU (1999)
EUA	136 - 171	463 - 584	EPA (1998), Peng, Grosskopf e Kibert (1994)
Reino Unido	50 - 70	880 a 1120	Detr (1998) e Lauritzen (1998)
Bélgica	7,5 - 34,7	735 - 3359	Lauritzen (1998) e EU (1999)
Dinamarca	2,3 - 10,7	440 - 2010	
Itália	35 - 40	600 - 690	
Alemanha	79 - 300	963 - 3658	
Japão	99	785	Kasai (1998)
Portugal	3,2 - 4,4	325 - 447	EU (1999) e Ruivo e Veiga (apud Marques Neto, 2009)
Brasil	31	230 - 760	Abrelpe (2011), Pinto (1999), Carneiro <i>et al.</i> (2001) e Pinto e González (2005)

Fonte: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – ipea 2012

Em um estudo mais recente que aborda a quantidade de RCD produzido em alguns países, Brasileiro e Matos (2015b) expõem que:

nos Estados Unidos, estima-se que os RCD correspondem de 10 a 30% do total de resíduos gerados no país². Para se ter uma ideia de grandeza da geração desses resíduos, no Reino Unido este setor produz em torno de 109 milhões de toneladas por ano, sendo que esta quantidade equivale a 66% dos 165 milhões de toneladas de agregados naturais consumidos anualmente na construção civil^{3 4}. Estima-se também, que, aproximadamente, 200 milhões de toneladas de resíduos de concreto são atualmente produzidos anualmente no continente da China⁵. Enquanto que

² A. Coelho, J. D. Brito, Waste Manag. Res. 29, 7 (2011) 739.

³ A. E. B. Cabral, “Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade do RCD”, Tese Dr., Eng. Ambiental, Universidade de S. Paulo (2007) 254p.

⁴ K. Rahal, Build. Environm. 42, 1 (2007) 407.

⁵ J. Xiao, W. Li, Y. Fan, X. Huang, Const. Build. Mater. 31, 6 (2012) 364.

em Taiwan, cerca de 14 milhões de toneladas de RCD é gerada a cada ano⁶. Em Hong Kong, de acordo com dados do Departamento de Proteção Ambiental a partir de 2009, a cidade passou a produzir mais de 15 milhões de toneladas de RCD por ano^{7 8}. [...] Na União Europeia (EU), em torno de 850 milhões de toneladas de RCD são geradas anualmente. Isso representa um total de 31% dos resíduos gerados na EU⁹.

Os dados apresentados por Brasileiro e Matos (2015b) mostram que lidar com os resíduos da construção e demolição é um desafio compartilhado por muitos países, independentemente do seu desenvolvimento econômico. Os números deixam evidente que a construção civil contribui significativamente para o volume de resíduos sólidos urbanos, alcançando quantidades que vão de dezenas a centenas de milhões de toneladas por ano.

Esse contexto internacional reforça a ideia de que o RCD constitui uma pressão crescente sobre os sistemas de gestão ambiental, reforçando a necessidade de políticas públicas, infraestrutura adequada e estratégias de reciclagem. Com essa compreensão global, torna-se possível contextualizar a realidade brasileira e analisar como o país tem respondido a esse cenário por meio de suas normas e diretrizes específicas.

No Brasil, a gestão dos resíduos da construção civil é normatizada pela Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Essa resolução estabelece diretrizes, critérios e procedimentos específicos para o manejo adequado desses resíduos, em resposta ao significativo aumento dos RCD observado desde o final do século XX.

Com esse propósito, a Resolução nº 307 busca minimizar os impactos ambientais causados por esses resíduos, incentivar a reciclagem e a reutilização de materiais e garantir uma gestão sustentável — refletindo, assim, a crescente preocupação com a sustentabilidade no setor da construção civil.

Complementando esse marco normativo, em 2010 foi sancionada a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essa legislação estabelece princípios e diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos no país, tendo como principal

⁶ T. R. Araújo, “Aspectos qualitativos e quantitativos dos resíduos de construção e demolição (RCD) na cidade de campina grande”, Diss. Mestrado, Universidade Estadual da Paraíba, PB (2011) 82p.

⁷ A. E. B. Cabral, K. M. V. Moreira, “Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil”, Sinduscon-CE (2011) 44p.

⁸ A. T. W. Yu, C. S. Poon, A. Wong, R. Yip, L. Jaillon, *Waste Management* 33, 1 (2012)138.

⁹ C. Fischer, M. Werge, “EU as a Recycling Society: Present recycling levels of Municipal Waste and Construction and Demolition Waste in the EU”, ETC/SCP, Copenhagen (2009) 73p.

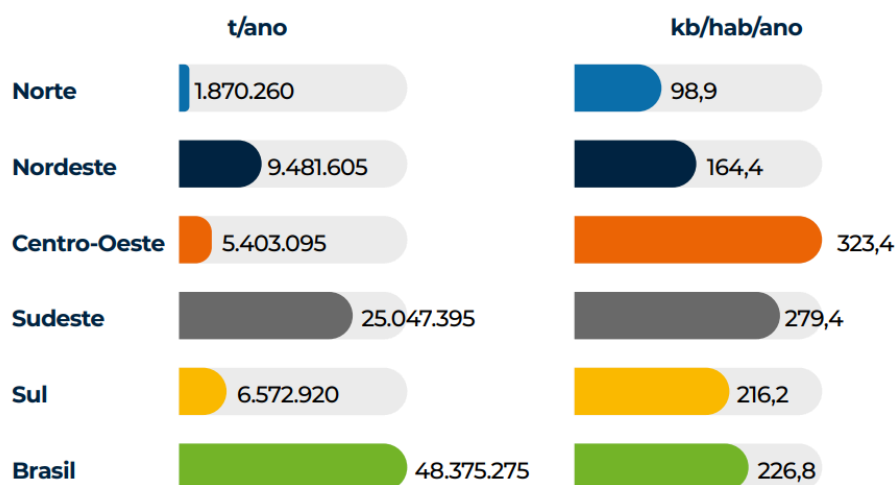
objetivo orientar e estruturar a gestão desses materiais de forma eficiente e responsável.

A seguir, o artigo 3º da PNRS apresenta a classificação dos resíduos, definindo-os como:

XVI – resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semi sólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Brasil, Lei nº 12.305/10, inciso XVI, art. 3º).

A figura 2 é a exposição de um gráfico que tem como informação o total de RCD coletado nas regiões brasileiras e no Brasil como um todo no ano de 2021.

Figura 2 - Coleta de RCD pelos municípios no Brasil e regiões em 2021



Fonte: ABRELPE (2021)

A análise da Figura 2 mostra que a região Sudeste é, disparadamente, a maior geradora de resíduos da construção e demolição no Brasil, acumulando mais de 25 milhões de t/ano. Esse resultado é coerente com o seu elevado grau de urbanização, densidade populacional e concentração de atividades econômicas e industriais.

Em contrapartida, a região Norte apresenta o menor volume de RCD coletado, algo esperado em função da menor população, da ocupação territorial mais dispersa e do ritmo reduzido de obras quando comparado às demais regiões.

O Centro-Oeste se destaca ao apresentar o maior índice per capita (323,4 kg/hab/ano) indicando que, embora tenha menor população que o Sudeste e Nordeste, seu volume de obras e expansão urbana resulta em maior geração proporcional de resíduos.

No panorama nacional, os dados evidenciam diferenças regionais importantes, que refletem tanto o nível de desenvolvimento quanto as dinâmicas de urbanização e crescimento das cidades brasileiras.

Em consulta ao site da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Tocantins – SEMARH-TO, é possível obter dados quanto à estimativa de coleta de RCD no estado através no relatório do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Tocantins PERS-TO (2016).

O estado atualmente não possui nenhum sistema ou controle de quantificação de volume de RCD. No entanto, a estimativa é feita a partir da metodologia proposta por Pinto (1999), a qual consiste na aplicação de valores que variam de 300 kg/hab.ano a 500 kg/hab.ano, dependendo do PIB *per capita* do município. A imagem a seguir mostra a referência de estimativa de RCD.

Quadro 2 - Referência de estimativa RCD

PIB Per Capita (R\$)	Geração de Resíduos
≥ R\$ 3.000,00 e < 9.000,00	300 kg/hab.ano
≥ R\$ 9.000,00 e < 18.000,00	400 kg/hab.ano
≥ R\$ 18.000,00	500 kg/hab.ano

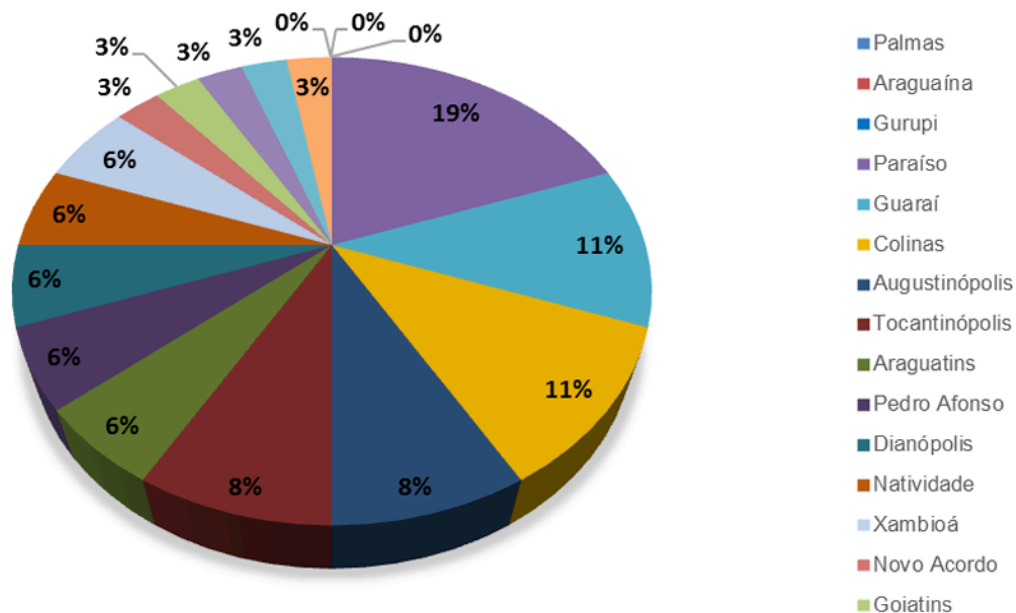
Fonte: Pinto (1999 *apud* PERS-TO, 2016)

No estado do Tocantins, a estimativa de RCD se dá a partir de regiões chamadas de “Área Programa”, que reúnem vários municípios. Ao total são 18 áreas programas que comportam 139 municípios existentes no estado.

Segundo relatório PERS-TO (2017) “As maiores gerações ocorrem nas áreas-programa de Palmas (27,9%), Araguaína (16,8%), Gurupi (11,7%), Paraíso (7,8%), Colinas (4,7%) e Guaraí (4,9%)”. A figura 4 ilustra a afirmação precedente.

Gráfico 1 - Percentual de Geração de RCD por área programa no Estado do Tocantins

Percentual de Geração de RCD por Área Programa no Estado do Tocantins



Fonte: Ecotécnica (2017 *apud* PERS-TO, 2017)

Ainda baseado no PERS-TO, o município de Palmas Tocantins, se destaca sendo a cidade que mais produz RCD no estado, boa parte se dá por ser a capital do estado e também ser a mais jovem capital do Brasil, estando ainda em desenvolvimento de infraestrutura e economia.

A seguir, a imagem mostra os dados estimados quanto a geração de RCD para a área programa de Palmas.

Tabela 1 - Estimativa de geração de RCD para os municípios da área programa de Palmas (ton/mês)

Municípios	População (IBGE, Estimativa 2015)	PIB <i>Per capita</i> (IBGE, 2012)	Faixa enquadramento (kg/hab/ano)	Estimativa do geraçãode RCD (fônimes)
Aparecida do Rio Negro	4.618,0	12.032,48	400,00	151,82
Brejinho de Nazaré	5.451,0	12.682,90	400,00	179,21
Fátima	3.886,0	13.085,74	400,00	61,84
Ipeulras	3.061,0	13.055,74	400,00	42,86
Miracema do Tocantina	2.132,0	32.256,50	500,00	806,38
Monte do Carmo	7.535,0	22.380,56	400,00	251,18
Oliveira de Fatima	1.038,0	12.231,13	400,00	34,13
Palmas	272.728,0	20.08538,38	500,00	11,207,92
Porto Nacional	52.182,0	863,90	300,00	1.288,83
Tocantina	7.313,0	5.689,59	300,00	162,84

Fonte: Ecotécnica (2015 *apud* PERS-TO, 2016)

A partir desses dados, observa-se a que a quantidade de RCD que é gerado em Palmas, já é significativamente alta, levando em consideração que ainda é uma capital jovem e pequena, em relação às demais capitais dos estados brasileiros, o que leva a preocupação de realizar medidas que proporcione a utilidade adequada desses resíduos, para que não se torne um problema difícil de ser solucionado no futuro.

5.2 Gestão de Resíduos de Obra

Os resíduos da construção civil representam atualmente um dos maiores fluxos de resíduos sólidos urbanos do país. Segundo a ABRELPE (2021), os municípios brasileiros coletaram mais de 48 milhões de toneladas de RCD somente no ano de 2021, refletindo a crescente demanda do problema nos centros urbanos.

Apesar desses volumes variarem de região para região, isso reflete um certo padrão nacional de geração elevada, diretamente relacionado ao crescimento urbano, aos ciclos de obra e as práticas construtivas ainda marcada por muito desperdício.

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, entre 50% e 70% dos resíduos enviados aos aterros brasileiros têm origem direta de atividades

da construção civil, incluindo sobras de materiais, demolições, movimentação de terra e reformas.

Com isso, estudos como os de John e Agopyan (2003) já abordava que devido a falhas de planejamento, retrabalhos e também a baixa padronização dos processos, faz com que a perda de materiais nas obras brasileiras alcançaram valores de 20% a 30%, valores esses superiores comparados a países com maior industrialização do setor.

No que tange ao campo das políticas públicas, a Resolução CONAMA nº 307/2002 permanece como o principal marco regulatório da gestão de RCD, que estabelece categorias de resíduos, responsabilidades dos geradores e diretrizes para reciclagem. Apesar desse marco regulatório existem limitações nesse campo.

Munaro e Tavares (2022), aborda que apesar dessa vasta gama regulatória, incluindo também a Política Nacional de Resíduos Sólidos, há uma baixa adesão articulativa entre os municípios, ou seja, a ausência de indicadores padronizados e limitada capacidade de fiscalização, fazendo com que haja uma disposição irregular desses resíduos, uma subnotificação e pouca rastreabilidade do ciclo dos resíduos.

No âmbito dos canteiros de obra, Vieira *et al.* (2019), ao analisarem os empreendimentos em Recife-PE, foi possível verificar que o excesso de resíduos está associado ao sobreconsumo de materiais, a improvisação de processos e a ausência de um planejamento integrado adequado.

Já em outra perspectiva, Santos *et al.* (2023) desenvolveram um modelo de previsão de geração de RCD para cidades de médio porte, demonstrando que a adoção de indicadores como PIB, densidade urbana e ritmo de licenciamento de obras podem influenciar decisões mais racionais no que tange ao dimensionamento de áreas de reciclagem.

Com isso, a literatura nacional indica que o Brasil possui um conjunto avançado e bem elaborado, acompanhado por diagnósticos técnicos consistentes, mas ainda enfrenta algumas dificuldades relacionadas à infraestrutura inadequada, baixa fiscalização e ausência de sistemas integrados de logística reversa.

No Tocantins, a situação acompanha o cenário nacional, mas com características específicas em cidades em rápido crescimento urbano. A criação do estado no ano de 1988 impulsionou ciclos intensos de urbanização, o que resultou no aumento de volumes de RCC, sem estrutura adequada de manejo no decorrer do tempo.

Erpen (2009), com o estudo de caso realizado em Gurupi-TO, identificou que cerca de 84% dos resíduos gerados na cidade pertenciam a classe A (concreto, cerâmica, argamassa e agregados) e que a grande parte desses resíduos foram descartados de forma irregular. O estudo também aponta fragilidades institucionais, com baixa fiscalização e ausência de áreas de transbordo ou reciclagem.

De acordo com o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins - PERS-TO (2017), grande parte dos municípios tocaninenses não possui Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) efetivamente implantado.

Na capital planejada, Palmas é o centro urbano do estado, concentra políticas mais estruturadas de gestão de resíduos, mas, como os demais municípios do Tocantins, enfrenta desafios importantes que têm sido documentados por diferentes pesquisas.

Silva (2015) realizou uma pesquisa detalhada dos RCD em Palmas e identificou predominância de materiais cerâmicos e concretos, além do grande número de pontos clandestinos de descarte espalhados por toda a cidade, isso reflete a falta de fiscalização contínua na capital tocaninense.

Barreto (2016) analisou o fluxo de manejo dos RCD no município e verificou que apesar da legislação local, muitas construtoras não adotam procedimentos padronizados de segregação e armazenamento dos resíduos. A autora propôs um modelo de boas práticas, destacando a necessidade de cooperação entre empresas e órgãos governamentais.

Carvalho (2022) aprofundou essa discussão ao estudar a logística reversa dos RCD em Palmas. A autora evidenciou que o município possui um processo parcialmente formalizado, com usinas de reciclagem e áreas de transbordo, mas ainda enfrenta fugas no sistema, principalmente relacionadas ao transporte e ao descarte irregular.

Além disso, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins (2017) estima que a área-programa de Palmas é responsável pela maior geração de resíduos da construção civil no estado, com cerca de 15.455,24 toneladas por mês, valor compatível com sua população e ritmos de urbanização. A elevada geração de resíduos reforça a necessidade de inovação nas ferramentas de monitoramento.

5.3 Inteligência Artificial

Segundo Silva (2013a), a palavra Inteligência Artificial foi evidenciada em 1956, por John McCarthy, cientista da computação. Conforme Gomes (2013), essa década foi marcada principalmente por entusiasmo e expectativas, no entanto com pouca ascensão.

De acordo com os estudos de Barbosa e Portes (2019), a inteligência artificial tem potencial para transformar o mundo dos negócios ao otimizar processos e reduzir etapas de forma revolucionária, sendo capaz de processar grandes volumes de informação e gerar resultados sem a necessidade de intervenção humana.

Com base nisso, é possível dizer que inteligência artificial é a capacidade de um sistema computacional realizar tarefas humanas, como identificação de padrões, tomada de decisões e processamento de linguagem natural. Desde sua concepção, a IA evoluiu consideravelmente, passando de regras rígidas e programação explícita para métodos mais flexíveis e adaptativos.

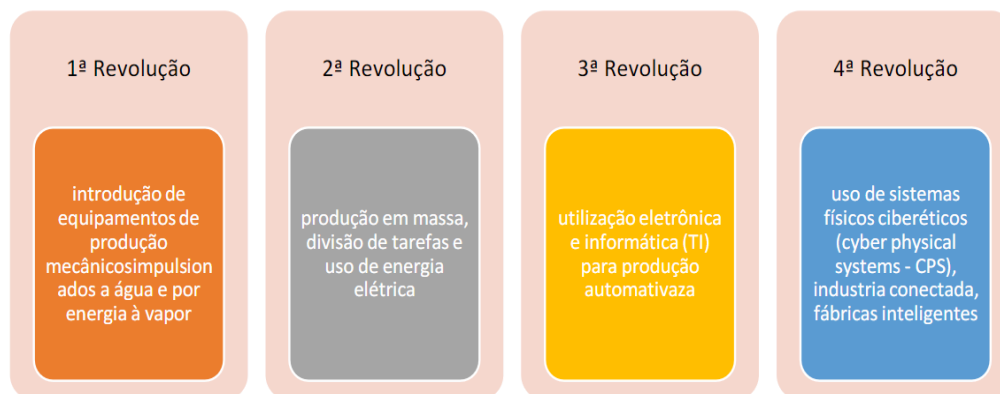
No livro “Desmistificando a inteligência Artificial” de Dora Kaufman, é abordado a trajetória da inteligência artificial e como a sociedade influente daquela época lidou com apresentação da nova era tecnológica para o mundo, em alguns trechos do livro Kaufman (2022, p. 02) sustenta que:

Após grandes promessas feitas por pesquisadores nas décadas de 1950 e 1960, a área de inteligência artificial sofreu um enorme refluxo de financiamento e interesse na década de 1970, sobretudo por ter recebido críticas acerca da disparidade entre promessas e resultados. [...] Um conhecido relatório produzido em 1972 para o conselho de pesquisa britânico (British Science Research Council), usualmente conhecido como *Lightbill Report*, apresenta a reação a essas promessas, criticando a pesquisa em inteligência artificial e especulando se a área seria viável no longo prazo. Opiniões negativas sobre inteligência artificial se acumularam durante a década de 1970. O entusiasmo retornou durante a década de 1980, com a chegada dos chamados sistemas especialistas, que procuravam reproduzir regras usadas por especialistas em domínios práticos. E o entusiasmo refluíu de novo na década de 1990. [...] Após tantas idas e vindas, a década de 2010 chegou com a combinação certa de poder computacional, acesso a dados, e técnicas de extração automática de padrões em dados.

Atualmente, a tecnologia está numa nova era, conhecida também como Indústria 4.0 ou 4ª Revolução Industrial e como principal destaque dessa nova indústria está a IA, que o objetivo central dessa abordagem é fazer com que os computadores passem a pensar ou agir de maneira inteligente (Gomes, 2013).

A figura 6 apresenta uma síntese das quatro revoluções industriais, evidenciando a evolução histórica dos processos produtivos, desde a mecanização movida a vapor, passando pela produção em massa e pela automação eletrônica, até chegar à integração de sistemas ciberfísicos e fábricas inteligentes.

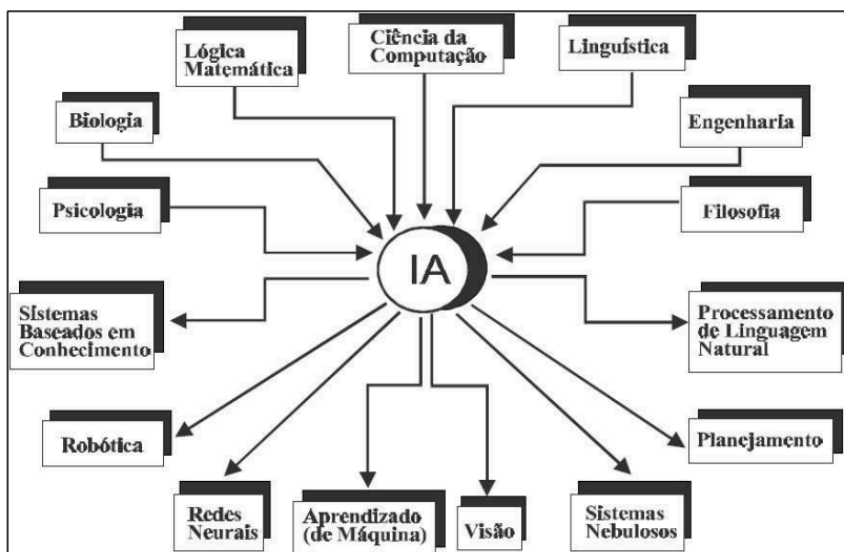
Figura 6 - As revoluções da indústria



Fonte: Simão *et al.* (2019)

Nesse contexto, a imagem ajuda a compreender o surgimento da Indústria 4.0, marcada por transformações profundas nos processos industriais. Nesse sentido, Schwab (2017) destaca que a 4ª Revolução Industrial está redefinindo o cenário econômico e social global, impulsionando ganhos expressivos de eficiência, conectividade e inovação.

Dessa forma, Sarker (2022) aponta que essa revolução tem afetado praticamente todos os setores em diversos países, provocando mudanças rápidas e não lineares, com impactos significativos sobre diferentes áreas do conhecimento, indústrias e economias. A figura 7 expõe de forma objetiva as áreas que a inteligência artificial pode se relacionar.

Figura 7 - áreas relacionadas à inteligência artificial

Fonte: Gomes (2010 *apud* Monard; Baranaukas, 2000, p. 2)

No final do ano de 2023, ocorreu o lançamento da ISO/IEC 42001, a primeira norma global para a área de inteligência artificial. No Brasil ela foi lançada recentemente no mês de abril de 2024, intitulada como NBR ISO/IEC 42001:2024 – Tecnologia da Informação – Inteligência Artificial – Sistema de Gestão, e tem como objetivo garantir que o uso da IA seja seguro, ético e de confiança.

Com a necessidade de ter uma regulamentação para o uso responsável da IA, a norma visa proporcionar um campo de confiança entre as pessoas que utilizam esse mecanismo. Segundo a ISO/IEC 42001 “A inteligência Artificial (IA) é cada vez mais aplicada em todos os setores que utilizam tecnologia da informação e espera-se que seja um dos principais motores econômicos”

Dessa forma, a normatização pode ser relacionada com a norma ISO 9001 que trata de gestão da qualidade e com a ISO/IEC 27001 que aborda a segurança da informação. A implementação dessa normatização assegura o controle e uma gestão disciplinada para que sua utilização seja amparada dentro da moralidade e segurança.

Quanto à aplicabilidade da Inteligência Artificial, ela pode se desenvolver em vários cenários, sendo eles: analítica, funcional, interativa, textual e visual. Sarker (2022, p. 3-4) discorre sobre cada uma dessas variabilidades da Inteligência Artificial:

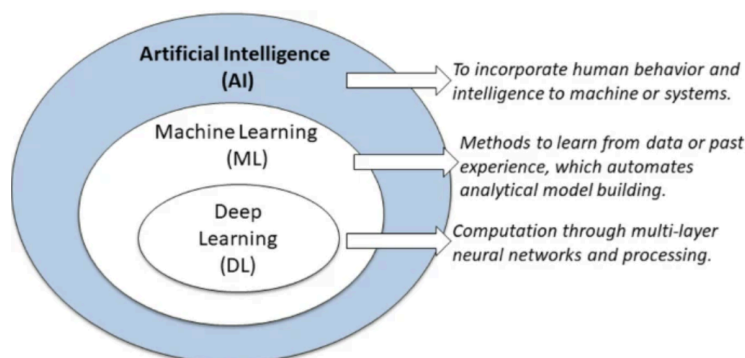
AI analítica: O Analytics normalmente se refere ao processo de identificação, interpretação e comunicação de padrões significativos de dados. Assim, a IA analítica visa descobrir novos insights, padrões e

relacionamentos ou dependências nos dados e auxiliar na tomada de decisões orientada por dados. [...] AI funcional: A IA funcional funciona de forma semelhante à IA analítica porque também explora grandes quantidades de dados para padrões e dependências. A IA funcional, por outro lado, executa ações em vez de fazer recomendações. Por exemplo, um modelo de IA funcional pode ser útil em robótica e aplicativos de IoT para tomar ações imediatas. IA interativa: A IA interativa normalmente permite a automação de comunicação eficiente e interativa, que está bem estabelecida em muitos aspectos de nossas vidas diárias, particularmente na esfera comercial. Por exemplo, para criar chatbots e assistentes pessoais inteligentes, um modelo de IA interativo pode ser útil. [...] I textual: A IA textual normalmente abrange análises textuais ou processamento de linguagem natural através das quais as empresas podem desfrutar de reconhecimento de texto, conversão de fala para texto, tradução automática, bem como recursos de geração de conteúdo. [...] IA visual: A IA visual é normalmente capaz de reconhecer, classificar e classificar itens, bem como converter imagens e vídeos em insights. Assim, a IA visual pode ser considerada como um ramo da ciência da computação que treina máquinas para aprender imagens e dados visuais da mesma maneira que os humanos. Esse tipo de IA é frequentemente usado em campos como visão computacional e realidade aumentada.

Conforme Sarker (2022), cada uma dessas variabilidades possui um potencial específico para contribuir com os desafios contemporâneos. Para que tais contribuições se concretizem de forma eficaz em suas respectivas aplicações, torna-se fundamental a utilização de técnicas de Inteligência Artificial, como o aprendizado de máquina (*Machine Learning* – ML) e o aprendizado profundo (*Deep Learning* – DL).

A Inteligência Artificial representa um campo abrangente, englobando qualquer técnica que permita conferir algum grau de inteligência às máquinas. Dentro desse campo, o *Machine Learning* constitui uma abordagem específica em que os sistemas são capazes de aprender a partir de dados. Já o *Deep Learning* configura-se como um subcampo do Machine Learning, com ênfase no uso de redes neurais profundas para modelar dados complexos. A figura 8 exemplifica a seguir.

Figura 8 - Círculos concêntricos IA, ML e DL



Fonte: Sarker (2022)

No contexto exposto, Janiesch *et al.* (2021) afirma que o aprendizado de máquina refere-se à capacidade dos sistemas de utilizarem dados de treinamento específicos para automatizar a criação de modelos analíticos e solucionar as tarefas relacionadas.

Sendo assim, Machine learning é um subcampo da IA que se concentra em construir algoritmos que permitem aos computadores aprender com os dados. Em vez de serem explicitamente programados com o comportamento desejado, os algoritmos abstraem e inferem padrões para melhorar seu desempenho ao longo do tempo.

Para LeCun *et al.* (2015), o aprendizado profundo possibilita que modelos computacionais formados por múltiplas camadas de processamento aprendam representações de dados em diferentes níveis de abstração. *Deep learning* é um subconjunto do aprendizado de máquina que aproveita redes neurais artificiais de muitas camadas para representar padrões complicados em grandes quantidades de dados.

Com base nisso, observa-se a importância do aprendizado de máquina e o aprendizado profundo para um bom desempenho da IA na atualidade. Visto que estes compõem a funcionalidade e a partir deles o sistema computacional pode realizar tarefas de forma autônoma e eficiente.

Dessa forma, a inteligência artificial (IA) está sendo utilizada em uma ampla variedade de setores e aplicações, transformando diversas indústrias e atividades cotidianas, pode-se observar a influência da IA na saúde, em finanças, em transportes e logísticas, na agricultura e entretenimento.

Na construção civil, as implementações da IA e suas vertentes podem ser observadas na utilização de tablet para controle e execução no canteiro, drones de monitoramento em tempo real na obra, softwares que auxiliam as medições em plantas e maquetes, modelos 3D e o BIM.

Diante disso, o BIM (*Building Information Modeling*), que significa modelagem da informação da construção, já é uma realidade no campo da engenharia e da construção civil. De acordo com Ruschel (2013), a metodologia BIM compreende um conjunto interligado de políticas, processos e tecnologias voltadas ao gerenciamento digital do projeto, construção e operação de edificações ao longo de todo o seu ciclo de vida.

As descrições apresentadas anteriormente destacam quatro características marcantes dos modelos em BIM, são elas: a modelagem paramétrica, o levantamento de insumos, a interoperabilidade e a geração de simulações. Assim, para que um software seja pertencente ao BIM, é necessário que ele atenda a todas estas características. A modelagem paramétrica é o fator que caracteriza a eficiência dos softwares pertencentes ao BIM. Esta característica permite a agilidade na construção e edição dos modelos, armazenando tanto as informações geométricas do projeto quanto as especificações de materiais, suas características físicas e custos unitários. A parametrização ainda permite que se estabeleçam critérios para a validação do projeto, a fim de checar a inconformidade de um determinado parâmetro em relação aos padrões estabelecidos por norma. Entre os exemplos de parâmetros de projeto do BIM encontram-se: as dimensões da estrutura, coeficientes de empolamento e contração do solo, coeficiente de produtividade da mão de obra, entre outros. É válido ressaltar que durante a edição do modelo, todos os cálculos relativos ao levantamento insumos são realizados automaticamente. Assim, reduz-se o risco de erros de previsão orçamentária devido à eventuais negligências na quantificação de insumos, especialmente em casos onde o modelo é editado repetidamente. Ao final da modelagem, é possível gerar automaticamente um relatório de materiais de acordo com a última atualização do projeto (Miranda; Salvi, 2019, p. 2-3).

Com isso, é evidente que a construção civil moderna se comporta melhor com tecnologias avançadas, como o *Building Information Modeling* (BIM), pois promovem alta produtividade e reduzem o tempo de execução dos projetos. O BIM permite um controle total das mudanças em todas as fases do projeto, desde os levantamentos iniciais até a conclusão.

Além disso, o modelo 3D oferecido pelo BIM facilita significativamente a compreensão e a visualização dos projetos, permitindo uma melhor concepção e planejamento. As qualidades do BIM incluem maior precisão nos projetos, redução de erros e retrabalhos, melhoria na coordenação entre as equipes e otimização de recursos, contribuindo, portanto, para uma construção mais eficiente e sustentável.

5.4 Aplicativos

Atualmente, a tecnologia está fortemente presente no cotidiano das pessoas. É muito comum observar que, em vez de papéis e livros, elas utilizam celulares. Com o advento da 4ª Revolução Industrial, os mecanismos de pesquisa rápida tornaram-se parte integrante da rotina da sociedade.

Nesse contexto, os aplicativos móveis, também conhecidos como apps, são programas de *software* desenvolvidos especificamente para dispositivos móveis, como tablets e smartphones. São projetados com o intuito de oferecer diversas funcionalidades, que vão desde a comunicação e o entretenimento até a produtividade e a educação.

Conforme descrito por Dal'Evedove (2020), há uma enorme quantidade de informações disponíveis na internet, acessíveis a qualquer pessoa que possua um dispositivo com conexão, sendo possível consultar dados de caráter público, disponibilizados à população em geral. Sendo assim,

A tecnologia móvel segue sob intensa inovação, o que faz com que em curto espaço de tempo sua denominação fosse de celular para smartphones ou telefones inteligentes, em razão destes últimos suportarem softwares ou aplicativos de propósitos específicos projetados para seus dispositivos móveis (Dutra, 2016). Os aplicativos estão associados às suas respectivas plataformas móveis ou sistemas operacionais móveis, onde os líderes de mercado no momento atual são Androide iOS (iPhone Operating Systemsou Sistema Operacional para iPhone), das gigantes Google e Apple, respectivamente. Dada a utilidade, facilidade e comodidade dessa tecnologia justifica-se a informação de se ter já mais linhas móveis ativas, cerca de 225,6 milhões, que habitantes no território brasileiro, 211.669,886 (ANATEL, 2020; IBGE, 2020) (Lima *et al.*, 2020, p. 68093).

Os aplicativos móveis possuem diversas utilidades, como comunicação, entretenimento, redes sociais, jogos, produtividade, finanças, educação, saúde e bem-estar, navegação e transporte, compras, fotografia e vídeo. Em muitos casos, há uma fusão entre essas funcionalidades, tornando um único aplicativo altamente eficiente e necessário para determinados usuários.

Alguns dos benefícios que contribuíram para o sucesso desses apps estão relacionados à sua interface intuitiva e, na maioria das vezes, de fácil utilização. Além disso, permitem a personalização das funcionalidades conforme as preferências do usuário, o acesso à informação em qualquer lugar e momento, desde que haja conexão com a internet, e o envio de notificações em tempo real sobre eventos importantes.

6 METODOLOGIA

6.1 Caracterização da Pesquisa

Para este estudo, optou-se por realizar uma pesquisa de natureza aplicada com abordagem qualitativa. A pesquisa classifica-se como exploratória e descritiva e como procedimentos técnicos se trata de pesquisa bibliográfica e documental para embasamento teórico e normativo, além do desenvolvimento tecnológico do aplicativo proposto.

De acordo com Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa bibliográfica consiste na análise de materiais previamente publicados, como livros, artigos científicos,

dissertações e documentos disponíveis na internet. Seu objetivo é proporcionar uma compreensão aprofundada do estado atual do conhecimento sobre o tema investigado, considerando a confiabilidade e a veracidade das fontes consultadas, para evitar inconsistências nas informações obtidas.

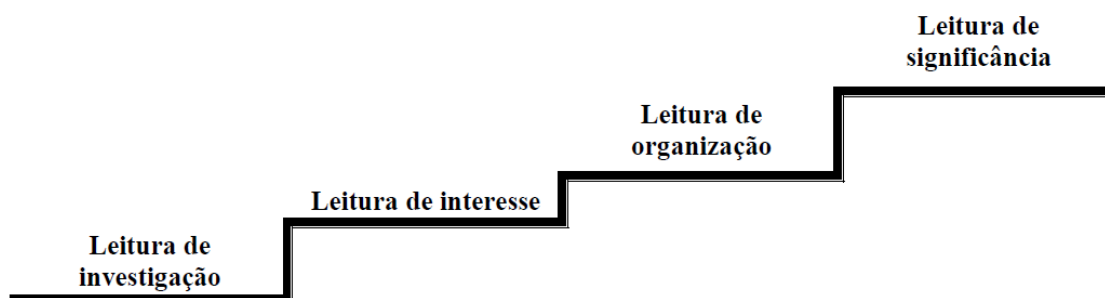
Já a pesquisa documental assemelha-se com a pesquisa bibliográfica, porém distingue-se pelo tipo de fonte utilizada. Enquanto a pesquisa bibliográfica recorre a materiais já analisados por outros autores, a pesquisa documental utiliza registros originais que ainda não foram interpretados. Essa abordagem permite uma análise direta dos dados, alinhada aos objetivos do estudo (Prodanov; Freitas, 2013).

A base de dados utilizada para o levantamento da pesquisa bibliográfica foi conduzida através de reconhecidas plataformas pela relevância científica e pela abrangência temática na área da Engenharia Civil e Sustentabilidade. Foram utilizadas as plataformas *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Google Acadêmico, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e *Connected Papers*.

O levantamento dos materiais seguiu critérios de seleção com recorte temporal de 2000 a 2025, abrangendo publicações em português e inglês. Foram incluídos estudos sobre sustentabilidade na construção civil, gestão de resíduos da construção e demolição (RCD), economia circular e Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010).

Também foram consultadas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com ênfase nas NBRs relacionadas à gestão de resíduos e à construção civil. Excluíram-se materiais sem relação direta com o tema, sem revisão por pares ou fundamentação científica adequada.

O processo de análise e organização do material foi orientado pela metodologia da Escada de Leitura conforme esboçado na figura 9, que estabelece níveis progressivos de leitura, desde a identificação das fontes até a compreensão crítica e síntese dos conteúdos.

Figura 9 - Escada de leitura

Fonte: Virley (2017)

De acordo com o autor, cada degrau da escada é totalmente importante para extrair um material relevante para a pesquisa. Começando pela Leitura de investigação é a parte de pesquisa de materiais bibliográficos que possuem algum tipo de relação com o objeto de pesquisa que está sendo estudado.

A leitura de interesse é o momento em que se aprofunda no material para entender como ele pode contribuir para seus objetivos e para a solução do problema estudado. Nessa etapa, a leitura é mais atenta e completa, destacando as ideias principais, as palavras-chave e a mensagem central da obra, permitindo voltar ao texto sempre que surgirem novas dúvidas.

A leitura de organização é onde se organiza e cataloga os textos de acordo com suas informações, ajudando a encontrar respostas para o estudo proposto. Nessa fase, a ideia é não adicionar ou eliminar textos, já que a seleção detalhada foi feita na etapa anterior.

A leitura de significância é a fase final em que se procura dar um sentido mais profundo às informações obtidas, conectando-as com o que já se sabe. Em caso de in experiência, é importante basear as interpretações em pesquisas anteriores ou buscar orientação de pesquisadores mais experientes.

Essa técnica de levantamento bibliográfico caracterizado como escada da leitura está em consonância com o estudo "*Lean Thinking: Proposta Para Melhoria Das Práticas De Gestão Em Licitações De Obras Públicas*", do professor Virley Lemos.

Essa abordagem permitiu selecionar e hierarquizar os estudos mais relevantes, garantindo consistência teórica e coerência metodológica na construção

da base conceitual do trabalho. Os descritores utilizados foram: construção civil, sustentabilidade e resíduos da construção civil.

6.2 Desenvolvimento da ferramenta tecnológica

Para desenvolvimento do aplicativo voltado à reciclagem e/ou reutilização de resíduos da construção civil, foram selecionadas algumas plataformas e ferramentas tecnológicas, a fim de promover a integração e compatibilidade da plataforma:

- Flutter Windows 3.35.3
- Android Studio
- Git 2.51.0 (64-bit)
- Inteligência Artificial

Flutter Windows

O flutter foi escolhido por ser um framework de código aberto desenvolvido pelo Google, ele permite a criação de aplicativos com uma única base de código para diferentes sistemas operacionais, como Android e iOS. O que motivou essa escolha foi a facilidade de manutenção do código, o que garante a eficiência do projeto. Neste projeto, o sistema operacional inicialmente escolhido foi o Android.

Android Studio

O android studio foi adotado como ambiente de desenvolvimento integrado que oferece suporte completo ao Flutter, incluindo ferramentas de depuração, emuladores e integração com bibliotecas externas. Seu painel de emuladores permitiu testar o aplicativo em diferentes resoluções e versões do sistema operacional, garantindo maior confiabilidade no funcionamento das telas e interações.

Git 2.51.0 (64-bit)

O Git foi empregado como sistema de controle de versão, pois permite um trabalho colaborativo, organizado e acompanhado, pois oferece o suporte das modificações feitas no código, podendo ser revisado, ajustado ou recuperado caso seja necessário. Esse procedimento contribuiu para a maturidade técnica do projeto.

Inteligência Artificial

Além das ferramentas apresentadas acima, o Chat GPT foi utilizado como apoio no desenvolvimento do aplicativo, auxiliando na elaboração, correção, e otimização de trechos de códigos, como também no auxílio de dúvidas técnicas durante o desenvolvimento, todas as implementações sugeridas foram validadas, adaptadas e testadas manualmente, garantindo autonomia, autoria e domínio sobre o processo.

6.3 Etapas de desenvolvimento

O processo de desenvolvimento foi dividido em 4 etapas:

Figura 10 - Fluxo de Desenvolvimento



Fonte: A autora (2025)

Inicialmente foi realizado o planejamento e desenvolvimento do sistema, na qual se prosseguiu com a instalação do Flutter que tem capacidade de criar aplicações de multiplataformas com uma base de código única, e do Android Studio que foi utilizado com ambiente principal para codificação.

A segunda etapa caracterizada como estruturação do aplicativo foi desenvolvida a arquitetura interna e também os principais componentes da interface. Nesta fase foram desenvolvidas as telas principais como lista de materiais, cadastro,

login, detalhes, favoritos, suporte do idioma bilíngue (PT/EN) e armazenamento local utilizando Hive

Essa fase envolveu testes contínuos, ajustes de layout e refinamento das funcionalidades. A IA foi utilizada para esclarecimento de dúvidas técnicas e para apoiar decisões de implementação, sempre com validação manual.

Terceira etapa foi voltada a implementação de recursos complementares, como sistema integrado de mensagens entre os usuários (chat) permitindo comunicação direta sobre materiais anunciados, como também o aprimoramento da interação do banco de dados, garantindo que as informações fossem salvas e carregadas assim que entrasse no aplicativo.

A última fase envolveu a implementação de um módulo de IA heurística, capaz de sugerir categorias e possíveis usos para os materiais cadastrados, a partir da análise textual do título e da descrição informados pelo usuário. Essa funcionalidade foi elaborada por meio de regras semânticas e vocabulário contextualizado na construção civil, melhorando a experiência do usuário.

Após essas implementações foram realizados testes finais de desempenho para garantir a estabilidade, capacidade de responder rapidamente e a sua devida usabilidade, validando o funcionamento geral do aplicativo.

6.4 Considerações éticas

Para a elaboração do aplicativo foi preciso realizar o registro sistemático das etapas de desenvolvimento, composições de códigos, processos decisórios e alterações ao longo do tempo. Essa documentação técnica inclui: estrutura de aplicação, histórico de versões presentes no Git e descrição das funcionalidades. Esse recurso é essencial para assegurar a transparência e compreensão do aplicativo.

O desenvolvimento da pesquisa seguiu os princípios éticos e as normas vigentes aplicáveis à pesquisa científica. Será obtido o sigilo livre e informado dos participantes do desenvolvimento do aplicativo e do trabalho de conclusão de curso como também da banca avaliadora durante a apresentação do trabalho, a fim de garantir confidencialidade dos dados caso haja registro de marca junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI).

O INPI é uma instituição brasileira que visa assegurar a regulamentação e a proteção dos direitos de propriedade intelectual. O registro da marca no INPI garante a credibilidade e confiança com o usuário, como também a exclusividade e proteção legal, proteção contra pirataria e prevenção de conflitos (quanto a marcas semelhantes ou idênticas).

Por fim, no que diz respeito à ética acadêmica, é importante ressaltar a questão do plágio. Com isso, todas as informações obtidas serão citadas e referenciadas, a fim de garantir a idoneidade intelectual do trabalho. Serão adotadas práticas com o intuito de evitar o plágio, como o uso de ferramentas de detecção de plágio (CopySpider) e a devida atribuição de crédito aos autores originais da bibliografia consultada.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, apresentamos e discutimos os resultados obtidos durante o desenvolvimento do aplicativo *Reaproveita*. Será apresentado uma visão geral dos principais pontos alcançados durante o desenvolvimento, nesta versão 1.0 foi possível construir uma ferramenta funcional, intuitiva e alinhada às necessidades de quem trabalha na construção civil.

O aplicativo se mostrou capaz de cadastrar materiais, facilitar a comunicação entre usuários e gerar análises ambientais automáticas com apoio de inteligência artificial.

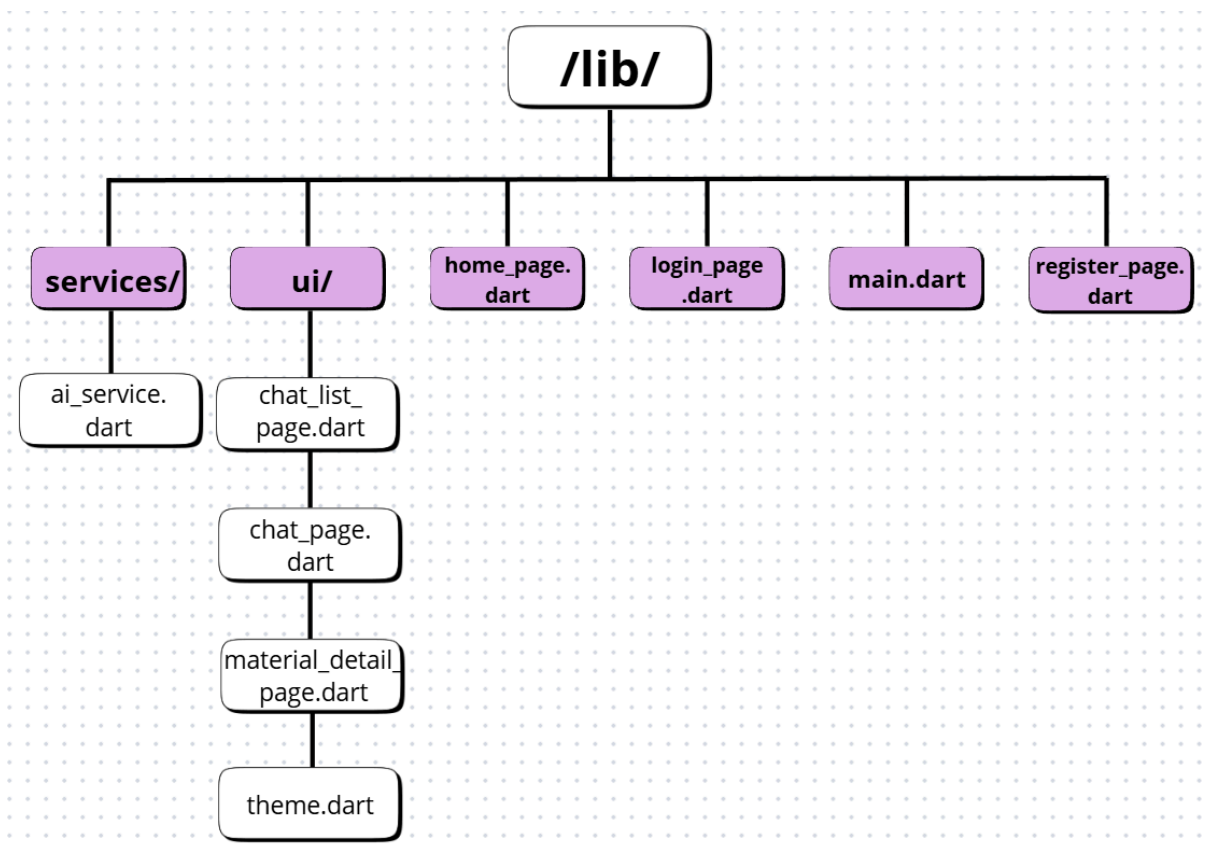
De modo geral, os resultados alcançados confirmam que a tecnologia desenvolvida realmente pode contribuir de forma bastante interessante para a gestão mais sustentável dos resíduos da construção civil, ajudando a reduzir desperdícios e estimulando práticas previstas na PNRS e na Resolução CONAMA nº 307/2002.

7.1 Estrutura da Aplicação

No que se refere à estrutura da aplicação, ela foi desenvolvida com o framework Flutter Windows, utilizando uma arquitetura modular e armazenamento local Hive. A estruturação interna do aplicativo segue uma divisão de camadas

funcionais, onde foi separado lógica de negócios, interface e serviços inteligentes. A figura 11 mostra o fluxograma da estrutura do aplicativo.

Figura 11 - Estrutura do aplicativo no Android Studio



Fonte: A autora (2025)

- **/lib/**
 - *home_page.dart* - Tela de início do aplicativo, com acesso as principais funcionalidades (Interface do Usuário);
 - *login_page.dart* - Interface de autenticação (login);
 - *main.dart* - Arquivo principal onde inicializa o Hive, define rotas e carrega os temas;
 - *register_page.dart* - Tela de cadastro de novos usuários.
- **/lib/ui/**
 - *chat_list_page.dart* - Lista de conversas;
 - *chat_page.dart* - Tela de chat onde ocorre as trocas de mensagens;
 - *material_detail_page.dart* - Exibe detalhes completos de um material cadastrado;

→ *theme.dart* - Define as cores, estilos e a composição visual do aplicativo.

- */lib/service/*

→ *ai_service.dart* - Local dos módulos de IA heurística e IA generativa utilizadas no aplicativo.

7.2 Versões Git

O desenvolvimento do aplicativo *Reaproveita* foi acompanhado pelo sistema Git, esse sistema possibilita o controle preciso das alterações realizadas ao longo do ciclo de desenvolvimento, possibilitando registrar a evolução gradativa das funcionalidades. O histórico de versões está apresentado no quadro 3, extraído diretamente do repositório Git local utilizado no desenvolvimento.

Quadro 3 - Versões Git

Versão	Descrição
v0.1	Estrutura inicial do projeto
v0.2	Implementação das telas de Login, Registro e Home
v0.3	Estrutura de UI e navegação entre as páginas principais
v0.4	Integração inicial com Hive e configuração do armazenamento local
v0.5	Implementação do cadastro de materiais e da tela de detalhes
v0.6	Integração da IA heurística para sugestões de uso e descarte
v0.7	Implementação da IA generativa para criação do Relatório Ambiental
v0.8	Implementação das funções de exportar e importar dados em JSON
v0.9	Implementação do sistema bilíngue (Português/Inglês) e ajustes de interface
v1.0	Versão final do Reaproveita App: otimizações, correções e estabilidade geral

Fonte: Repositório Git

Esse mecanismo permite verificar a rastreabilidade das mudanças, organização das etapas de construção do software, consolidando ajustes estruturais, aprimoramentos de interface, implementação de inteligência artificial e correções gerais.

7.3 Interface e Experiência do Usuário

Durante o processo de teste, a interface apresentou uma boa-usabilidade, com uma navegação fluida e com elementos bem distribuídos. O aplicativo possui três abas principais, cada um tendo sua devida funcionalidade, sendo elas:

- **Listar:** exibe todos os materiais cadastrados com filtros avançados que incluem busca textual, categoria, tipo (venda ou doação) e ordenação por preço, categoria ou data;
- **Meus:** apresenta apenas os materiais publicados pelo usuário logado, podendo também editar ou excluir o material postado;
- **Favoritos:** facilita o acesso rápido a itens salvos, algo personalizado por cada usuário.

Ao decorrer das fases de testes e validações algumas alterações visuais foram implementadas, como correção em erros de overflow, ajustes de espaçamento e responsividade entre desktop, mobile e navegador. Isso contribui para um aplicativo mais estável e esteticamente consistente nas suas informações.

7.4 Funcionalidade de Cadastro e Edição de Materiais

Os testes de funcionalidade do aplicativo mostraram que o formulário de cadastro de materiais está completo e funcional, incluindo:

- adição de nome, categoria, tipo, preço e descrição do material;
- selecionar imagem através da galeria ou câmera;
- edição posterior do item na aba *Meus*;
- registro automático de ID único;
- associação do material ao e-mail do usuário, permitindo a rastreabilidade de quem postou.

Os dados postados no aplicativo são todos armazenados localmente via Hive, o que viabiliza a autonomia total do app sem dependência de internet, salvo em casos de funcionalidades de IA.

7.5 Inteligência Artificial Heurística: Classificação e Sugestão de Uso

O uso da Inteligência Artificial heurística foi desenvolvida manualmente no código e se mostrou bastante eficiente. Durante os testes, mesmo com descrições curtas, a IA foi capaz de:

- identificar materiais como “cimento”, “bloco”, “madeira”, “tubos”, “fios” entre outros, mesmo quando não há a opção desses materiais em *categoria* (ou seja, categorizado como *Outros*);
- sugerir formas de reutilização alinhadas às práticas reais de obra;
- sugerir sugestões caso o item estivesse marcado como *doação*.

Essa etapa representa que uma IA não neural, construída basicamente com regras e linguagem natural, pode ser eficaz em cenários de microgestão de resíduos, apresentando um baixo custo computacional e que não depende de servidores externos.

7.6 Inteligência Artificial Avançada: Relatório Ambiental Completo

A principal funcionalidade do *Reaproveita* é a geração automática de relatórios ambientais completos, produzidos pela API da OPenAI diretamente no aplicativo.

Nas fases de teste, a IA foi capaz de gerar textos coerentes, técnicos e alinhados com a legislação ambiental brasileira contextualizados para o tipo de material que foi postado, integrando conceitos de PNRS, economia circular e CONAMA 307/2002 explicando riscos, impactos, classificações e a possibilidade de reuso.

Além disso, o relatório automático gerado pela IA pode ser traduzido automaticamente para o inglês quando o usuário altera o idioma na interface, garantindo uma acessibilidade linguística para públicos internacionais.

Nesse aplicativo, essa funcionalidade representa um dos maiores impactos do projeto, pois ela traz uma análise automática que antes dependia do conhecimento técnico especializado, o que possibilita a democratização da informação para auxiliar tanto profissionais quanto cidadãos comuns.

7.7 Funcionalidade de Chat e Comunicação entre Usuários

Uma das funções que foi bastante pensada durante o desenvolvimento do aplicativo foi o chat entre usuários, esse se mostrou estável, permitindo comunicação direta entre ofertante e interessado. O aplicativo registra mensagens localmente e organiza a visualização por conversa/material.

Esse recurso é comum em muitas plataformas consolidadas de compra e venda, mas neste caso possui o diferencial ambiental com o foco em materiais reaproveitáveis. Essa interação faz com que as barreiras de comunicação no espaço/tempo diminuam e as negociações acelerem.

7.8 Exportação, Importação e Backup de Dados

A exportação e importação em formato JSON garante uma maior autonomia ao usuário, segurança da informação e possibilidade de migração entre dispositivos, preservando o histórico de uso. Durante os testes, o usuário consegue exportar todos os materiais cadastrados, os favoritos também são exportados e a importação realiza mesclagem estruturada com o banco atual, sem perdas.

Com isso, os resultados apresentam que essa funcionalidade fortalece a confiabilidade do aplicativo e também abre espaço para um avanço mais sofisticado no futuro, como sincronização de nuvem, análises estatísticas e sistema de recomendação personalizado.

7.9 Avaliação Geral do Aplicativo *Reaproveita*

Neste tópico será apresentado uma visão geral acerca do aplicativo. Ao decorrer do desenvolvimento e com os resultados apresentados, o aplicativo *Reaproveita* mostra que pode gerar impacto social e ambiental significativo, através da promoção de:

- redução de resíduos da construção através do reaproveitamento de materiais;
- estímulo à economia circular;
- diminuição de demanda por matéria prima virgens;

- redução de custos em obras, especialmente para famílias de baixa renda;
- fortalecimento de práticas sustentáveis em pequenas reformas e projetos sustentáveis;
- divulgação de conhecimento ambiental, através dos relatórios de IA.

O aplicativo tem potencial de se destacar para o uso por prefeituras, ONG's, cooperativas de reciclagem e empresas de pequeno e médio porte que desejam implementar práticas de sustentabilidade.

Apesar do sucesso obtido ao desenvolver o aplicativo, o mesmo apresenta algumas limitações, sendo elas:

- relatório ambiental depende de conexão com a internet e disponibilidade de API;
- o banco de dados ainda é local, o que limita a sincronização entre dispositivos;
- a IA heurística apesar de ser muito eficiente e treinada, pode falhar em casos de descrições muito vagas;
- As imagens em base64 podem gerar consumo de memória em listas muito grandes.

Apesar dessas restrições, o aplicativo foi estruturado com uma arquitetura modular, que permite sua migração para um ambiente online futuramente, através de recursos como Firebase, Supabase ou backend próprio. Que possibilita a sincronização em tempo real entre dispositivos, acesso simultâneo por múltiplos usuários e publicação de anúncios.

De forma geral, a versão entregue atende integralmente ao projeto de demonstrar viabilidade técnica e ambiental proposta, mantendo espaço para expansão futura em nível profissional. Essas limitações abrem portas para melhorias futuras, fazendo com que o aplicativo se desenvolva ainda mais.

Ao apresentar tudo o que foi realizado e destacar cada um, é possível dizer que o aplicativo alcança plenamente o objetivo da pesquisa ao criar uma ferramenta prática, acessível e sustentável, trazendo uma interface intuitiva, banco de dados local robusto, IA heurística para classificação, IA generativa para relatório ambiental, comunicação direta entre usuários, bilinguismo e exportação/importação JSON.

Na discussão dos resultados desse trabalho, observou-se que o aplicativo se desenvolveu de forma prática, simples e funcional, apoiando o gerenciamento e o reaproveitamento de resíduos da construção civil.

Mesmo por se tratar de uma primeira versão, os recursos implementados como a IA heurística, relatórios ambientais, armazenamento local, funcionamento offline e compartilhamento de banco de dados (em JSON) alcançaram um cenário de solução digital junto à sustentabilidade na construção.

Ao analisar aplicativos semelhantes como EcoCiclo, Ecocoleta, e o aplicativo internacional *RecycleMate*, é possível observar que eles são voltados para a reciclagem domiciliar ou identificação de pontos de coleta, sem a funcionalidade de reaproveitamento de materiais da construção. Algumas iniciativas mais próximas como a Construção Reversa, utilizada em alguns municípios de São Paulo, não possuem a integração de inteligência artificial.

Dessa forma, apesar de não contar, nessa versão inicial, com o compartilhamento online entre diferentes dispositivos, o aplicativo ainda permanece totalmente coerente com o projeto proposto “Conexões sustentáveis”, pois nesse caso o conceito de conexões está ligado à compreensão da construção de uma cadeia de práticas sustentáveis.

Neste momento, da versão 1.0, é possível primeiro ter um entendimento do próprio resíduo, depois as possibilidades de reaproveitamento e logo em seguida, com outras pessoas, quando se compartilha ou recebe materiais, com o recurso de exportação e importação em JSON, que permite a colaboração entre usuários, mesmo que de forma manual, possibilitando trocas entre equipes de obras.

8 CONCLUSÃO

Após um estudo detalhado sobre aplicação de soluções tecnológicas para minimizar os impactos ambientais gerados pela construção civil, torna-se importante retomar os principais pontos discutidos e reiterar o objetivo geral deste trabalho, que foi utilizar a inteligência artificial, através de um aplicativo, como ferramenta de apoio na gestão de resíduos de obras, promovendo uma conexão sustentável entre usuários, materiais e práticas sustentáveis.

Ao longo do estudo, os objetivos específicos foram atendidos realizando um levantamento bibliográfico acerca da gestão de resíduos de obras e analisando os

dados obtidos foi possível identificar oportunidades reais para intervenção tecnológica. Dessa forma, o desenvolvimento da ferramenta tecnológica resultou no aplicativo *Reaproveita*, cumprindo de maneira satisfatória cada etapa proposta.

O trabalho apresenta conhecimento novo no campo estudado ao propor um aplicativo capaz de utilizar inteligência artificial com foco em reuso, algo que é pouco disseminado atualmente. Nas próximas atualizações, será integrada uma base de dados online compartilhada, com algoritmos mais avançados e a implementação da geolocalização para um marketplace sustentável.

Assim, o aplicativo funciona como uma base estrutural de um ecossistema que tende a evoluir para uma plataforma colaborativa online, mas que nessa etapa cumpre com êxito o seu papel dentro do que foi proposto metodologicamente e academicamente no TCC.

No que tange a sua aplicabilidade, os resultados demonstram que o aplicativo atende uma demanda real do setor, pois ao analisar estudos sobre RCD é possível identificar a ausência de ferramentas acessíveis para a organização de sobras de materiais aproveitáveis, o que acaba dificultando a aplicação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS.

Além da contribuição prática, o trabalho apresenta implicações teóricas relevantes, pois a literatura sobre economia circular e sustentabilidade expõe que a mudança de comportamento só ocorre quando existem ferramentas que facilitam essas práticas. Com o aplicativo, o usuário consegue identificar, avaliar e reaproveitar materiais que outrora seriam descartados.

A utilidade do *Reaproveita* também pode ser vista por um olhar pedagógico, ao permitir que tanto estudantes, como professores, trabalhadores da construção e cidadãos em geral registrem, classifiquem e compreendam o reaproveitamento dos materiais, contribuindo para uma cultura de sustentabilidade.

Ainda assim, é importante reconhecer que toda pesquisa possui limitações. Neste trabalho há algumas que se relacionam sobretudo no que diz respeito ao armazenamento local, a dependência de internet para a geração de relatórios e a ausência temporária de um sistema online integrado.

Com isso, o aplicativo promove desde já, mesmo sem ser no momento uma rede social pública, formas de conexões sustentáveis, através da conexão do usuário com o ciclo dos materiais, da conexão de práticas sustentáveis ao cotidiano da obra e conecta pessoas por meio do compartilhamento manual de dados e com

evoluções futuras o mesmo pode ampliar seu impacto social, ambiental e tecnológico.

Em síntese, este estudo proporcionou uma análise detalhada sobre a gestão de resíduos da construção civil e demonstrou a habilidade da inteligência artificial como uma parceira na sustentabilidade do setor. Espera-se que os resultados aqui apresentados sirvam de base para novas discussões e práticas, além de estimularem o desenvolvimento de mais ferramentas eficientes de reaproveitamento de materiais, estratégias inovadoras e modelos tecnológicos que fortaleçam a construção civil sustentável.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, optou-se por não apresentar imagens detalhadas da interface do aplicativo na publicação do TCC, uma vez que a ferramenta ainda se encontra em fase de registro. Essa escolha teve como objetivo preservar a originalidade e a autoria da solução proposta, evitando a exposição antecipada de elementos visuais e funcionais do sistema.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR ISO/IEC 42001:2024 – Sistemas de gestão de ativos: requisitos**. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://iso31000.net/visualize-a-iso-iec-42001/>. Acesso em: 28 maio 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2022**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/>. Acesso em: 19 maio 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2021**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/>. Acesso em: 19 maio 2024.

BARBOSA, Lucia Martins; PORTES, Luiza Alves Ferreira. Inteligência artificial. **Revista Tecnologia Educacional**, Rio de Janeiro, n. 236, p. 16-27, 2023.

BARRETO, Onésima Aguiar Campos. **Resíduos da construção civil no município de Palmas – Tocantins: proposição de um modelo de boas práticas de manejo**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016. Disponível em: <https://repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/5994>. Acesso em: 24 maio 2025.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2020**. Brasília: Ministério das Cidades; SNIS, 2021. Disponível em: <https://www.snis.gov.br/consultas/catalogo-relatorios>. Acesso em: 28 nov. 2025.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção civil. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/sisbio>. Acesso em: 15 maio 2024.

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://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>. Acesso em: 19 maio 2024.

CARVALHO, Magnny Maisy de Barros. **Resíduos da construção civil em Palmas – TO: a inserção da logística reversa no gerenciamento**. 2022. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Palmas, 2022. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/4056/1/Magnny%20Maisy%20de%20Barros%20Carvalho%20-%20Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 24 maio 2025.

CHUNG, S. S.; LO, C. W. H. Evaluating sustainability in waste management: the case of construction and demolition, chemical and clinical wastes in Hong Kong. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 37, n. 2, p. 119-145, 2003. ISSN 0921-3449. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00075-7](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00075-7). Acesso em: 23 maio 2024.

DA SILVA LIMA, Adonai Zanoni *et al.* Tecnologia e meio ambiente: levantamento de aplicativos móveis voltados a temas ambientais. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 68090-68105, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/16564>. Acesso em: 27 maio 2024.

DAL'EVEDOVE, B. A. O.; FIGUEIRA, L. B. Encontrabilidade digital e Web 3.0: uma Web estruturada para comunicação entre máquinas e seres humanos. **Revista Interface Tecnológica**, v. 14, n. 1, p. 42-52, 2017. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/148>. Acesso em: 27 maio 2024.

DE SOUSA, Angélica Silva; DE OLIVEIRA, Guilherme Saramago; ALVES, Laís Hilário. A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. **Cadernos da FUCAMP**, v. 20, n. 43, 2021. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2336>. Acesso em: 31 maio 2024.

DOS SANTOS BATISTA, Leonardo; KUMADA, Kate Mamhy Oliveira. Análise metodológica sobre as diferentes configurações da pesquisa bibliográfica. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, p. e021029-e021029, 2021. Disponível em: <https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/index.php/rbic/article/view/113>. Acesso em: 31 maio 2024.

DOS SANTOS, Carlos José Giudice. **Tipos de pesquisa**. Metodologia Científica. 2016. Disponível em: https://www.academia.edu/download/35886860/_OF.TIPOS_PESQUISA.pdf. Acesso em: 10 jun. 2024.

ERPEN, Mauro Luiz. **Resíduos sólidos de construção e demolição**: estudo de caso: Gurupi – TO. 2009. 127 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/7137>. Acesso em: 24 maio 2025.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, Dennis dos Santos. Inteligência artificial: conceitos e aplicações. **Revista Olhar Científico**, v. 1, n. 2, p. 234-246, 2010.
IPEA. Diagnóstico dos resíduos de construção e demolição (RCD). Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2012. (Comunicados do IPEA, n. 155). Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=15189. Acesso em: 29 nov. 2025.

JANIESCH, C.; ZSCHECH, P.; HEINRICH, K. Aprendizado de máquina e aprendizado profundo. **Mercados de Eletrônicos**, v. 31, p. 685–695, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2>. Acesso em: 20 maio 2024.

JOHN, Vanderley M. *et al.* Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. *In*: CARNEIRO, Alex Pires; BRUM, Irineu Antônio Schadach de; CASSA, José Clodoaldo da Silva (org.). **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**. Salvador: EDUFBA, 2001. p. 27-45.

JOHN, Vanderley M.; AGOPYAN, Vahan. Alternativas para a redução do impacto ambiental da construção civil. **Ambiente Construído**, v. 3, n. 2, 2003.

JOHN, Vanderley M.; AGOPYAN, Vahan. **Reciclagem de resíduos da construção**. São Paulo, 2000. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/37199623/CETESB.pdf>. Acesso em: 13 maio 2024.

KARPINSKI, Luisete Andreis *et al.* Gestão de resíduos da construção civil: uma abordagem prática no município de Passo Fundo-RS. **Estudos Tecnológicos**, v. 4, n. 2, p. 69-87, 2008.

KAUFMAN, Dora. **Desmistificando a inteligência artificial**. Belo Horizonte: Autêntica, 2022. Disponível em: <https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=3LxtEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=Desmistificando+a+intelig%C3%Aancia+artificial.+Belo+Horizonte:+Aut%C3%AAntica&ots=9Acl72NBEQ&sig=kBzBa7kdF2fIEG7L4uPUqvwOtmw>. Acesso em: 22 maio 2024.

KIBERT, Charles J. **Sustainable construction: green building design and delivery**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016.

LECUN, Yann; BENGIO, Yoshua; HINTON, Geoffrey. Deep learning. **Nature**, v. 521, n. 7553, p. 436-444, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature14539>. Acesso em: 20 maio 2024.

LEITE, Glaudemir Santos *et al.* A gestão de resíduos da construção civil em um empreendimento urbano usando a tecnologia BIM. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. e04035-e04035, 2023. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/4035>. Acesso em: 10 maio 2024.

LIPPIATT, Barbara C. **BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability): balancing environmental and economic performance**. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 1998. (NIST Interagency/Internal Report, NISTIR 6167). Disponível em: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=916773. Acesso em: 24 maio 2025.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1990. Disponível em: https://www.academia.edu/download/61219682/Lakatos_e_Marconi_-_Tecnica_de_pesquisa20191114-31612-di2isl.pdf. Acesso em: 10 jun. 2024.

MCCARTHY, John. **Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence**. Dartmouth College, 1956. Disponível em: <http://jmc.stanford.edu/articles/dartmouth/dartmouth.pdf>. Acesso em: 23 maio 2024.

MIRANDA, Rian das Dores de; SALVI, Levi. Análise da tecnologia BIM no contexto da indústria da construção civil brasileira. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 4, p. 79-98, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/tecnologia-bim>. Acesso em: 20 maio 2024.

MOTTA, Leila Aparecida de Castro e JOHN, Vanderley Moacyr e AGOPYAN, Vahan. Caracterização de fibras sintéticas para uso como reforço de matrizes cimentícias. 2003, **Anais...** São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/ff4084aa-d22c-4aaf-baef-1367ca12dc84/Agopyan-2003-caracterizacao.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2025.

MUNARO, Mayara Regina; TAVARES, Sergio Fernando. A economia circular na construção civil: principais barreiras e oportunidades para a transição do setor. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 18, n. 53, p. 54-71, 2022. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rt/article/view/15726>. Acesso em: 11 dez. 2025.

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.

RUSCHEL, Regina Coeli; ANDRADE, Max Lira Veras Xavier de; MORAIS, Marcelo de. O ensino de BIM no Brasil: onde estamos? **Ambiente Construído**, v. 13, p. 151-165, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000200012>. Acesso em: 20 maio 2024.

SANTOS, Raphael Lúcio Reis dos; LEIVA, Guilherme de Castro; RODRIGUES, Conrado de Souza; PEREIRA, Armando Belato. Modelo de previsão da geração de resíduos de construção e demolição para cidades brasileiras de médio porte populacional. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 28, e20220060, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220220060>. Acesso em: 30 nov. 2025.

SARKER, Iqbal H. AI-based modeling: techniques, applications and research issues towards automation, intelligent and smart systems. **SN Computer Science**, v. 3, n. 2, p. 158, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01043-x>. Acesso em: 20 maio 2024.

SCHWAB, Klaus. **The fourth industrial revolution**. New York: Crown Currency, 2017. Disponível em:

https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=ST_FDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7. Acesso em: 25 maio 2024.

SILVA, Juarez Pereira da. **Caracterização de resíduos de construção civil na cidade de Palmas–TO**. 2015. 74 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Fundação Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Palmas, 2015.

SILVA, Rômulo. **Inteligência artificial**. Enciclopédia da Conscienciologia. Foz do Iguaçu: Editares; Associação Internacional Editares; Amigos da Enciclopédia, 2013. Disponível em: <http://repositorios.org/jspui/handle/123456789/3737>. Acesso em: 20 maio 2024.

SOUZA, Virley Lemos de. **Lean thinking**: proposta para melhoria das práticas de gestão em licitações de obras públicas. 2017. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2017. Disponível em: <http://icts.unb.br/jspui/handle/10482/22151>. Acesso em: 28 maio 2024.

TOCANTINS. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos – PERS-TO**. Palmas: Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2022. Disponível em: <https://central.to.gov.br/download/224962>. Acesso em: 15 maio 2024.

TOCANTINS. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos – PERS-TO**. Palmas: Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2017. Disponível em: <https://central.to.gov.br/download/224962>. Acesso em: 28 nov. 2025.

CERVANTES, Diego E.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, Armando; CUARTAS-HERNÁNDEZ, María C.; LOBO GARCÍA DE CORTÁZAR, Álvaro. Using indicators as a tool to evaluate municipal solid waste management: a critical review. **Waste Management**, v. 80, p. 51-63, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.046>. Acesso em: 2 maio 2024.

VIEIRA, Cidney Ribeiro; ROCHA, Joaquin Humberto Aquino; LAFAYETTE, Kalinny Patrícia Vaz; SILVA, Débora Maria da. Análise dos fatores de influência e diagnóstico da gestão dos resíduos da construção civil (RCC) nos canteiros de obra da cidade do Recife-PE. urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, e20180176, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180176>. Acesso em: 30 nov. 2025.