

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**PROPOSTA DE GESTÃO REMOTA DE RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL EM EDIFICAÇÕES**

JULIA MARIA CARMONA VENDRAMIM

São Carlos/SP

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**PROPOSTA DE GESTÃO REMOTA DE RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL EM EDIFICAÇÕES**

Julia Maria Carmona Vendramim

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. José da Costa Marques Neto

São Carlos/SP

2023

Folha de Aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Julia Maria Carmona Vendramim, realizada em 25/08/2023.

Prof. Dr. José da Costa Marques Neto
UFSCar

Prof^a. Dr^a. Sheyla Mara Baptista Serra
UFSCar

Prof. Dr. Valdir Schalch
USP

Dedico este trabalho a minha família, aos que acreditaram e aos que não puderam estar aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me guiado ao longo desses dois anos, trazendo luz e discernimento para que eu pudesse desenvolver e concluir este trabalho com êxito.

Aos meus pais, Mara e Émerson, pela vida, pelo apoio incondicional, pela paciência, confiança e amor que sempre tiveram comigo.

À minha irmã, Ana Carolina, por me acompanhar em toda essa jornada, pela ajuda com dúvidas e inseguranças, por todo incentivo e confiança na minha capacidade.

Ao orientador Prof. Dr. José da Costa Marques Neto, por todo auxílio e generosidade ao dividir seus conhecimentos, ideias e sugestões para a composição, enriquecimento e qualidade do trabalho desenvolvido.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Córdoba, por toda colaboração, atenção e contribuição ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

A toda minha família e meus amigos mais próximos que viveram comigo todo esse período de aprendizado e amadurecimento, em especial ao meu avô João Carmona, que sempre me guiou e me acompanhou na engenharia e que, infelizmente, acompanhará essa conquista de outro plano.

Resumo

VENDRAMIM, Julia Maria Carmona Vendramim. **Proposta de Gestão Remota de Resíduos da Construção Civil em Edificações**. 89 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023.

A construção civil amplamente utilizada no Brasil ainda é predominantemente manual e artesanal e o nível de industrialização não é tão presente quando comparado a outros setores, que já acompanham a Indústria 4.0. A atualização de práticas de gestão da construção civil em relação às novas tecnologias pode ser benéfica para ganhos de produtividade e eficiência dos processos. Assim, a gestão remota de resíduos da construção civil (RCC) também pode usufruir desses benefícios. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo de gestão remota de RCC no canteiro de obras com foco em edificações. Para tanto, foi desenvolvida uma revisão bibliográfica acerca dos princípios e tecnologias da Indústria 4.0 e, com base nessas informações, foi estruturado um modelo de gestão remota de RCC. Como resultados, obteve-se o modelo desejado, as tecnologias que podem ser empregadas em cada etapa, os agentes de cada processo, a correlação dos processos com os princípios da Indústria 4.0 e fluxogramas que podem ser utilizados para desenvolvimento de uma ferramenta de gestão remota baseada no modelo desenvolvido. Como conclusões do trabalho, entendeu-se que a gestão remota de RCC é dependente não somente do modelo de gestão utilizado, mas também das tecnologias empregadas, que são determinantes para que o “remoto” seja realmente colocado em prática. Entende-se, portanto, que o ponto chave para o emprego da gestão remota de RCC é o uso de tecnologias.

Palavras-chave: Entulho; Gestão de resíduos; Gestão remota; Indústria 4.0; Modelo de gestão.

Abstract

VENDRAMIM, Julia Maria Carmona Vendramim. **Proposta de Gestão Remota de Resíduos da Construção Civil em Edificações**. 89 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023.

The civil construction widely used in Brazil is still predominantly manual and artisanal and the level of industrialization is not as present when compared to other sectors, which already follow Industry 4.0. Updating civil construction management practices in relation to new technologies can be beneficial for gains in productivity and process efficiency. Thus, the remote management of civil construction waste (RCC) can also enjoy these benefits. In this context, the present work aims to develop a remote management model of RCC at the construction site with a focus on buildings. To this end, a bibliographical review was carried out on the principles and technologies of Industry 4.0 and, based on this information, a model for remote management of RCC was structured. As a result, the desired model was obtained, the technologies that can be used at each stage, the agents of each process, the correlation of processes with the principles of Industry 4.0 and flowcharts that can be used to develop a remote management tool based on the developed model. As conclusions of the work, it was understood that the remote management of RCC is dependent not only on the management model used, but also on the technologies employed, which are decisive for the “remote” to be really put into practice. It is understood, therefore, that the key point for the use of remote management of RCC is the use of technologies.

Keywords: Industry 4.0; Management model; Remote management; Rubble; Waste Management.

Lista de Figuras

Figura 1: Estimativa percentual da caracterização gravimétrica do município de São Carlos/SP em 1986, 2003 e 2009	23
Figura 2: Tipologias de resíduos produzidas em obras brasileiras e portuguesas.....	24
Figura 3: Parcela média (em %) de RCC calculada em canteiro por classe de resíduos	25
Figura 4: Composição do RCC gerado nos canteiros de obras.....	26
Figura 5: Responsáveis pela gestão de resíduos nas obras	36
Figura 6: Opções de destinação de RCC utilizadas no Brasil e em Portugal	38
Figura 7: Medidas de gerenciamento de RCC utilizadas em obras brasileiras e portuguesas	39
Figura 8: Hierarquia de gerenciamento de resíduos	40
Figura 9: Tecnologias fundamentais da Indústria 4.0	51
Figura 10: Etapas metodológicas realizadas do trabalho	58
Figura 11: Atividades principais de cada processo do modelo de gestão remota de RCC ...	64
Figura 12: Atividades presentes no processo de planejamento das ações	65
Figura 13: Tecnologias disponíveis para o planejamento das ações.....	66
Figura 14: Atividades presentes no processo de gerenciamento de RCC.....	67
Figura 15: Tecnologias disponíveis para o gerenciamento de RCC	69
Figura 16: Módulo de Início da Ferramenta	73
Figura 17: Módulo de Planejamento da Ferramenta	75
Figura 18: Módulo de Gerenciamento da Ferramenta.....	77
Figura 19: Módulo de Informações da Ferramenta	78

Lista de Tabelas

Tabela 1: Composição (em %) dos RCC em diversas localidades e anos	21
Tabela 2: Geração de RCC em cidades do estado de São Paulo	28
Tabela 3: Indicadores de geração de RCC estudados	29
Tabela 4: Resumo dos dispositivos de acondicionamento e transporte adequados a cada tipo de RCC	42
Tabela 5: Principais características das tecnologias envolvidas na Indústria 4.0	50
Tabela 6: Relação de tecnologias da indústria 4.0 aplicáveis à gestão de RCC	61
Tabela 7: Correlação dos princípios da Indústria 4.0 com modelo de gestão remota de RCC	63
Tabela 8: Resumo das aplicações e funcionalidades das ferramentas de gestão remota de RCC	70

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	Justificativa	14
1.2.	Objetivos	15
1.2.1.	OBJETIVO GERAL	15
1.2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3.	Estrutura da dissertação	15
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1.	Resíduos da construção civil (RCC)	16
2.1.1.	DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	16
2.1.2.	LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	17
2.1.3.	COMPOSIÇÃO	21
2.1.4.	INDICADORES DE GERAÇÃO DE RCC	27
2.2.	Impacto da COVID-19 na construção civil	29
2.3.	Gestão de resíduos da construção civil	32
2.3.1.	PANORAMA MUNDIAL DA GESTÃO DE RCC	32
2.3.2.	GESTÃO REMOTA DE RCC NO CANTEIRO DE OBRAS	43
2.4.	Relação da indústria 4.0 com a gestão de resíduos da construção civil	46
2.4.1.	A INDÚSTRIA 4.0	46
2.4.2.	PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0	47
2.4.3.	INDÚSTRIA 4.0 NA CONSTRUÇÃO CIVIL	51
2.4.4.	INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	56
3	METODOLOGIA	58
3.1	Etapa I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ANÁLISE DAS PRÁTICAS E TECNOLOGIAS	58
3.2	Etapa II – ESTRUTURAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO REMOTA DE RCC	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
4.1	Relação da Indústria 4.0 com a gestão de resíduos da construção civil	61
4.2	Estruturação do modelo de gestão remota de RCC	63
4.2.1	PLANEJAMENTO DAS AÇÕES DE GESTÃO	64

4.2.2.	GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS.....	67
4.3	Base para nova ferramenta de gestão remota de RCC.....	70
4.3.1	MÓDULO DE INÍCIO	73
4.3.2	MÓDULO DE PLANEJAMENTO DA GESTÃO DE RCC.....	74
4.3.3	MÓDULO DE GERENCIAMENTO DE RCC.....	76
4.3.4	MÓDULO DE INFORMAÇÕES.....	78
4.3.5	MÓDULO DE CONTATO	78
5	CONCLUSÕES	79
5.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	80
	REFERÊNCIAS.....	81

1. Introdução

A construção civil está em processo de transformação com a indústria 4.0, a qual se caracteriza pela introdução de evoluções tecnológicas no mercado (SCHWAB, 2016). No âmbito da construção civil, inovações estão sendo aplicadas no canteiro e na gestão das obras com o objetivo de melhorar a qualidade, redução dos custos e riscos desde a fase de planejamento até o pós-obra, sendo as principais tecnologias encontradas no mercado e em desenvolvimento a plataforma BIM, Internet das Coisas, a impressão 3D, os Veículos Aéreos Não Tripulados, os robôs autônomos, os sensores para a obtenção de dados, novos tipos de materiais inteligentes e softwares integrados especializados nas mais variadas etapas da obra (RIBEIRO, 2019). Em vista disso, é interessante verificar a possibilidade de incorporar os princípios da indústria 4.0 à construção civil como um todo, incluindo a gestão dos resíduos da construção civil (RCC).

O contexto dos resíduos da construção civil engloba dois conceitos básicos: gestão e gerenciamento. A gestão do RCC refere-se ao conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos da construção civil, considerando as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, enquanto que o gerenciamento de RCC trata do conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, acondicionamento, transporte, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos (BRASIL, 2010).

A pandemia de COVID-19 foi uma catalisadora na adoção de soluções que garantam a manutenção das atividades, maior previsibilidade em toda cadeia e mais certeza de cumprimento de custos e prazos. A pandemia impôs uma série de medidas de restrições, como distanciamento entre pessoas, isolamento social e fechamento de trabalhos presenciais em empresas devido a problemas de alta transmissibilidade do vírus em ambientes de trabalho. Além disso, colocou à prova a capacidade da construção civil de se reorganizar e replanejar suas atividades, uma vez que esse setor foi um dos únicos que, mesmo com algumas paralisações, continuou com suas atividades durante o período de pandemia na maior parte do Brasil e do mundo. No entanto, apesar de ter continuado com as atividades, o setor teve paralisações pontuais em obras, profissionais afastados devido à doença e um alto risco de contaminação devido à quantidade de trabalhadores nos canteiros de obra. Portanto, dada a essencialidade do setor, é evidente que a indústria da construção civil precisa se preparar tecnologicamente para enfrentar situações extremas, como a da pandemia de COVID-19, inclusive na gestão de resíduos da construção civil.

A gestão remota dos resíduos da construção civil no canteiro de obras atende as recomendações de distanciamento social e com as restrições ao trabalho presencial durante a pandemia de COVID-19. Porém, as vantagens da gestão remota vão muito além da manutenção da vida dos trabalhadores da construção civil. Essa forma de gerenciamento também pode colaborar com a manutenção dos empregos desses trabalhadores ao fazer uso de uma ferramenta que permite que o trabalhador execute seu trabalho mesmo à distância e com o aumento da produtividade da equipe, uma vez que uma mesma equipe pode gerenciar remotamente mais de uma obra. Dessa forma, é possível otimizar o uso de recursos humanos, o que também vai de encontro à tendência de home office que já existia no país e tende a perdurar após a pandemia. Ademais, quase 60% dos trabalhadores do setor de construção civil entrevistados por Ogunnusi *et al.* (2020) acreditam que haverá mudanças permanentes em seus processos de trabalho devido à pandemia. É importante ressaltar que o gerenciamento remoto difere da transferência *online* de informações, principalmente em relação ao processo de tomada de decisão. A transferência *online* de informações consiste apenas na comunicação das informações de forma não presencial, ou seja, a inclusão das informações em um sistema ou plataforma de conversas, não alterando o local de tomada de decisão. Nesse caso, as tomadas de decisões acontecem no escritório da empresa ou na própria obra. Já o gerenciamento remoto permite que a tomada de decisões também seja feita de forma remota, além de ser algo em tempo real e realizado de forma contínua.

A construção civil, no entanto, é heterogênea em suas práticas de gestão de obra dadas as particularidades de cada tipo e porte de obra. Assim, para que o modelo de gestão a ser desenvolvido seja o mais aplicável e eficiente possível, adotou-se como foco as obras de edificações, que abrange obras residenciais, comerciais e industriais, de um ou múltiplos pavimentos. Dentre os motivos da escolha, está principalmente o aumento no número de unidades habitacionais desse tipo de empreendimento ao longo dos anos. Segundo o FIESP (2018), entre 2007 e 2017, foram criados no Brasil cerca de 14 milhões de novos domicílios, tendo as moradias em apartamentos uma taxa de crescimento de 4,4% ao ano, enquanto a taxa de crescimento das casas foi de 2,0% ao ano, números que refletem a tendência de verticalização e urbanização dos municípios brasileiros. A escolha desse tipo de obra se deu também pelo fato de que a construção de edifícios é a atividade econômica que mais registrou acidentes de trabalho no Portal do Ministério do Trabalho e Emprego entre junho de 2001 e outubro de 2014 (LACHOWSKI, 2017). Um canteiro de obras de uma edificação é marcado, muitas vezes, pela falta de espaço devido ao tamanho do terreno, pelo grande fluxo de pessoas e de materiais, pela grande compartimentação de ambientes e, conseqüentemente, pelo desafio logístico. Por esse motivo, a redução no número de trabalhadores desses

canteiros contribui também para a redução no número de acidentes de trabalho e pode ser possibilitada por meio da implantação de um sistema de gestão de RCC remoto.

Assim, este estudo busca desenvolver um modelo de gestão remota dos resíduos da construção civil no canteiro de obras com foco em edificações com o intuito de suprir a carência de estudos nessa área de conhecimento, permitir a evolução tecnológica da construção civil e a adaptação dessa indústria a cenários extremos, além de prezar pela saúde.

1.1. JUSTIFICATIVA

O acompanhamento da construção civil em relação às novas tecnologias é importante para o aumento da produtividade e da eficiência dos processos. Além disso, o cenário mundial de pandemia de COVID-19 incentivou e justificou a adoção de atividades realizadas de forma remota, em todos os setores da economia, a fim de reduzir a transmissão do vírus e zelar pela saúde da população. Dentre essas atividades, incluem-se as atividades da construção civil. A tradicional gestão dos resíduos da construção civil é realizada pelos engenheiros presencialmente no canteiro de obras e ocorre com a visita do engenheiro à obra, a inspeção do mesmo em relação aos recipientes, equipamentos e procedimentos utilizados, a tomada de decisão no local quanto às próximas atividades e a comunicação sobre essas atividades para os trabalhadores responsáveis no canteiro. Assim, quando realizada de forma remota, a gestão dos resíduos da construção civil proporciona uma modernização da construção civil e uma metodologia de trabalho que pode ser utilizada em outras circunstâncias semelhantes às da COVID-19.

No Brasil, a gestão de RCC está relacionada à falta de recursos humanos para promover uma fiscalização pública efetiva, à lacuna na apresentação dos relatórios de gestão de resíduos, à falta de profissionais responsáveis pelos resíduos gerados em obra, à falta de conhecimento acerca das normas vigentes e à falta de orientação aos colaboradores sobre o manejo e descarte adequados de resíduos (NAGALLI; 2013; FRIEDEMANN, 2016).

Os estudos nacionais e internacionais carecem de pesquisas sobre tecnologias e modelos para gestão remota de resíduos da construção civil, o que contribui para a continuidade da adoção de metodologias tradicionais e presenciais na gestão desses materiais. Diante dessa lacuna, propõe-se o desenvolvimento de um modelo de gestão remota de RCC voltada para obras de edificações, o qual futuramente pode resultar em uma ferramenta de gestão remota que possa futuramente ser integrada ao sistema gratuito de gestão de RCC desenvolvido na tese de Marques Neto (2009), de forma a utilizar um sistema

já desenvolvido, validado, gratuito e que reuniria em si ações de gestão de RCC tanto para os agentes fiscalizadores quanto aos agentes construtores.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Este projeto tem como objetivo principal desenvolver um modelo para gestão remota de resíduos da construção civil com foco em canteiro de obras de edificações.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O projeto tem como objetivos específicos:

- Correlacionar os princípios da indústria 4.0 com a gestão de resíduos da construção civil;
- Definir um processo e tecnologias necessárias para gestão remota de RCC com foco em canteiro de obras de edificações;

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, conforme divisão a seguir:

- Capítulo 1: Composto pela introdução e justificativa do assunto escolhido e pelos principais objetivos da pesquisa;
- Capítulo 2: Consiste na revisão bibliográfica do assunto com definições, classificações, legislações, práticas de gestão de resíduos da construção civil e a relação da Indústria 4.0 com os resíduos;
- Capítulo 3: Descreve o material e os métodos utilizados, detalhando as etapas de desenvolvimento do trabalho em estudo;
- Capítulo 4: Apresenta as discussões e resultados encontrados durante o estudo e a análise dos dados obtidos;
- Capítulo 5: Contempla as conclusões da pesquisa e do estudo realizado.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas que contribuíram para a elaboração do trabalho.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

2.1.1. DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Os resíduos da construção civil (RCC) são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Podem ser compostos de materiais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras, tubulações, fiações elétricas, telhas, argamassas, entre outros (BRASIL, 2002).

De acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA os resíduos da construção civil são divididos em quatro classes distintas. Esta classificação foi alterada parcialmente pela Resolução nº 348 do CONAMA, de 2004, que inclui o amianto na Classe D, pela Resolução nº 431 do CONAMA, que altera a classificação do gesso de Classe C para Classe B e pela Resolução nº 469 do CONAMA, que inclui as embalagens vazias de tintas imobiliárias como parte dos resíduos Classe B (BRASIL, 2004, 2011, 2015). A seguir, estão descritas as classes, já com as correções feitas:

- Classe A: resíduos reutilizáveis ou reciclados como agregados, tais como:
 - De construção, demolição, reformas e reparos e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimentos, etc.), argamassas e concreto;
 - De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidos nos canteiros de obras (BRASIL, 2002);
- Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso. (BRASIL, 2015);
- Classe C: resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação (BRASIL, 2011);

- Classe D: resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (BRASIL, 2004).

2.1.2. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

O primeiro marco no cenário brasileiro de regulamentação dos resíduos de construção civil foi a Resolução nº 307 do CONAMA, publicada em 05 de julho de 2002, e que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil (BRASIL, 2002). Esta Resolução institui conceitos básicos para a área e define a hierarquia do gerenciamento de resíduos, com foco na minimização e redução de RCC desde a sua geração (BRASIL, 2002). De acordo com Marques Neto (2003), essa resolução surgiu da necessidade de solução dos problemas decorrentes dos grandes volumes de resíduos da construção civil gerados e seus impactos sociais, ambientais e econômicos.

Dentre as disposições importantes dessa Resolução, o artigo 4º da Resolução nº 307 do CONAMA determina que os geradores de resíduos sólidos priorizem a não geração de resíduos frente à redução, reutilização, reciclagem e destinação final (BRASIL, 2002). A resolução também dispõe sobre a destinação dos RCC, proibindo a disposição dos mesmos em áreas de aterro de resíduos domiciliares, encostas, corpos d'água, lotes vagos e áreas protegidas por lei. Sobre a correta destinação de acordo com a classe do material, a Resolução nº 307 do CONAMA foi atualizada pela Resolução nº 448 do CONAMA, de 2012. Sendo assim, os resíduos devem ser destinados da seguinte forma:

- Classe A: devem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterros de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros (BRASIL, 2012);
- Classe B: devem ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura (BRASIL, 2002);
- Classes C e D: devem ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas (BRASIL, 2002, 2012).

A Resolução nº 307 do CONAMA, atualizada pela Resolução nº 448 do CONAMA, define que a implementação da gestão dos RCC seja feita através de um Plano Municipal de

Gestão de Resíduos da Construção Civil, o qual deve ser elaborado pelos municípios e Distrito Federal em consonância com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (BRASIL 2002, 2012). Segundo essas Resoluções, nesse Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil devem conter as diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores e para os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil a serem elaborados pelos grandes geradores (BRASIL, 2002, 2012). Dessa forma, a determinação divide as responsabilidades pelo gerenciamento dos RCC entre os geradores e as prefeituras municipais, proporcionando um modelo de gestão integrada para esses resíduos.

A Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, outro marco regulatório na área de resíduos sólidos, institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) e é regulamentada pelo Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. A lei segue as diretrizes e considerações feitas pela Resolução nº 307 do CONAMA, de 2002, e tem como objetivo dispor sobre os princípios, objetivos e instrumentos relativos à gestão dos resíduos sólidos no Brasil (BRASIL, 2010).

Quanto aos resíduos sólidos de forma geral, a PNRS atribui à União a responsabilidade de elaborar, sob coordenação do Ministério do Meio Ambiente, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). No âmbito da construção civil, assim como a Resolução nº 307 do CONAMA, a PNRS determina que as empresas de construção civil devem elaborar um plano de gerenciamento de resíduos sólidos e são responsáveis pela implementação e operacionalização integral desse plano (BRASIL, 2010).

Foi publicado em 13 abril de 2022 o Decreto nº 11.043 que institui o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), o qual é um instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos. O Planares representa a estratégia de longo prazo em âmbito nacional para operacionalizar as disposições legais, princípios, objetivos e diretrizes da PNRS. Nele se encontram o diagnóstico da situação dos resíduos sólidos no Brasil e as proposições de metas, diretrizes, projetos, programas e ações voltadas para a consecução dos objetivos da Lei da PNRS para um horizonte de 20 anos (BRASIL, 2022). O Planares tem vigência por tempo indeterminado e deve ser atualizado a cada quatro anos. Em relação ao RCC, o Planares tem como meta aumentar a reciclagem do RCC, projetando o indicador de 25% de reciclagem até 2040. Hoje, o valor estimado de reciclagem, segundo o próprio Planares, é de 7,06% (BRASIL, 2022). Como diretrizes e estratégias relacionadas ao RCC, o Planares define a eliminação das áreas de disposição final inadequadas de RCC e o aumento da reciclagem de RCC (BRASIL, 2022).

O Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) é um documento técnico obrigatório para obras de todos os tipos, como obras verticais e horizontais, reformas, reparos, demolições, obras de movimentação de solos, entre outras. Tem como objetivo principal determinar os processos necessários para a gestão e a destinação final adequadas dos resíduos da construção civil gerados e caracteriza, com base na classificação definida pela Resolução nº 307 do CONAMA, a quantidade e a classe de resíduos produzidos em canteiro. A Resolução nº 307 do CONAMA e a PNRS dispõem sobre o conteúdo mínimo a ser abordado nesses planos, que deve seguir os tópicos a seguir (BRASIL, 2002, 2010):

- I - Caracterização: nesta etapa o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;
- II - Triagem: deverá ser realizada, preferencialmente, pelo gerador na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas;
- III - Acondicionamento: o gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem;
- IV - Transporte: deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;
- V - Destinação: deverá ser prevista de acordo com o estabelecido nesta Resolução.

As normas ABNT NBR 15.112, 15.113 e 15.114 (2004), tratam do transporte e destinação final de RCC. Para o transporte do RCC, as três normas indicam a utilização do Controle de Transporte de Resíduos (CTR), documento com informações sobre o resíduo transportado, o gerador, o transportador e o destinatário, cujas informações mínimas necessárias estão descritas nas normas citadas. Para destinação dos RCC, os empreendimentos tipicamente especializados são as Áreas de Transbordo e Triagem (ATTs), os aterros de RCC (classe A) e as áreas de reciclagem. A ABNT NBR 15.112 trata das ATT, que são áreas destinadas ao recebimento de RCC e resíduos volumosos para triagem, armazenamento temporário dos materiais segregados, eventual transformação e posterior remoção para destinação adequada. A norma define as condições de implantação, de projeto e de operação dessas áreas (ABNT, NBR 15.112, 2004). A ABNT NBR 15.113 tem foco nas diretrizes de projeto, implantação e operação dos aterros de RCC e resíduos inertes. Segundo a mesma, os aterros são áreas onde são empregadas técnicas de disposição de RCC da

classe A, conforme classificação da Resolução CONAMA nº 307, e resíduos inertes no solo, visando a reservação de materiais segregados, de forma a possibilitar o uso futuro dos materiais e/ou futura utilização da área, conforme princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente (ABNT, NBR 15.113, 2004). Por fim, a ABNT NBR 15.114 aborda sobre as condições de implantação, projeto e operação das áreas de reciclagem, que consistem em áreas destinadas ao recebimento e transformação de resíduos da construção civil classe A, já triados, para produção de agregados reciclados (ABNT, NBR 15.114, 2004).

Além disso, quanto ao transporte, a Portaria nº 280 instituiu o Manifesto do Transporte de Resíduos (MTR) como ferramenta de gestão e documento declaratório de implantação e operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos (BRASIL, 2020b). Segundo a Portaria nº 280, o MTR é uma ferramenta online, autodeclaratório, válido no território nacional, emitido pelo Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos – SINIR e que não envolve custos para sua utilização. O MTR é um documento numerado, gerado por meio do SINIR, emitido exclusivamente pelo gerador dos resíduos, que deverá acompanhar o transporte do resíduo até a destinação final ambientalmente adequada. Nesse documento, devem constar informações sobre o gerador, a origem do resíduo, quantidade discriminada, descrição dos resíduos mediante material predominante e o preenchimento do destino. Já o SINIR é o sistema de coleta, integração, sistematização e disponibilização de dados de operacionalização e implantação dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2020b). A utilização do MTR é obrigatória em todo o território nacional, para todos os geradores de resíduos sujeitos à elaboração de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, conforme disposto na PNRS (BRASIL, 2020b). Dessa forma, estão incluídos os geradores de RCC. Em resumo, a aplicação do MTR é a mesma do CTR, sendo um documento para controle do fluxo de transporte dos resíduos.

A Portaria nº 280, de 29 de junho de 2020, determina que a movimentação dos resíduos deverá ser registrada no MTR, devendo o gerador, o transportador, o armazenador temporário e o destinador atestarem, sucessivamente, a efetivação das ações de geração, armazenamento, transporte e do recebimento de resíduos até a destinação final ambientalmente adequada. Ainda em relação às responsabilidades, cabe exclusivamente ao gerador emitir o formulário do MTR no SINIR, para cada remessa de resíduo para destinação, e certificar-se de que o transportador e o destinador estão adequados e regularizados para a execução do serviço de transporte e destinação, respectivamente, de acordo com as normas vigentes. Já o transportador deve realizar o transporte dos resíduos em posse do devido MTR emitido pelo gerador até o armazenador temporário ou ao destinador, devendo também confirmar todas as informações constantes no formulário de MTR, emitido pelo gerador, que

acompanhará os resíduos transportados. Por fim, ao destinador cabe fazer o aceite da carga de resíduos no sistema, procedendo a baixa dos respectivos MTRs, e emitir o Certificado de Destinação Final (CDF), assegurando ao gerador a destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos recebidos e sendo responsável pela veracidade e exatidão das informações constantes no CDF por ele emitido (BRASIL, 2020b).

2.1.3. COMPOSIÇÃO

A composição dos resíduos da construção civil depende de sua fonte e varia de acordo com o tipo, fase e localidade da obra, as tecnologias utilizadas e as matérias-primas disponíveis. Pinto (1999) verificou a composição dos RCC em diferentes cidades do mundo e os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Composição (em %) dos RCC em diversas localidades e anos

Composição Percentual (discriminação conforme as fontes)	Composição de RCC em São Carlos (1986) e Santo André (1990)	Composição típica de RCD em Hong Kong (1993)	Composição típica de RCD na Bélgica (1995)	Composição típica de RCD em Toronto (1993)
Argamassas	64,0	-	-	-
Asfalto	-	2,2	-	-
Materiais asfálticos	-	-	10,2	-
Concreto	4,2	31,2	38,2	-
Alvenaria	-	-	45,2	-
Madeira	0,1	7,9	2,1	34,8
Entulho, agreg. e cerâmicos	-	-	-	24,1
Entulho	-	7,7	-	-
Componentes cerâmicos	11,1	-	2,9	-
Blocos de concreto	0,1	0,8	-	-
Tijolos	18,0	5,2	-	-
Ladrilhos de concreto	0,4	-	-	-
Pedra	1,4	11,5	-	-
Areia	-	3,2	-	-

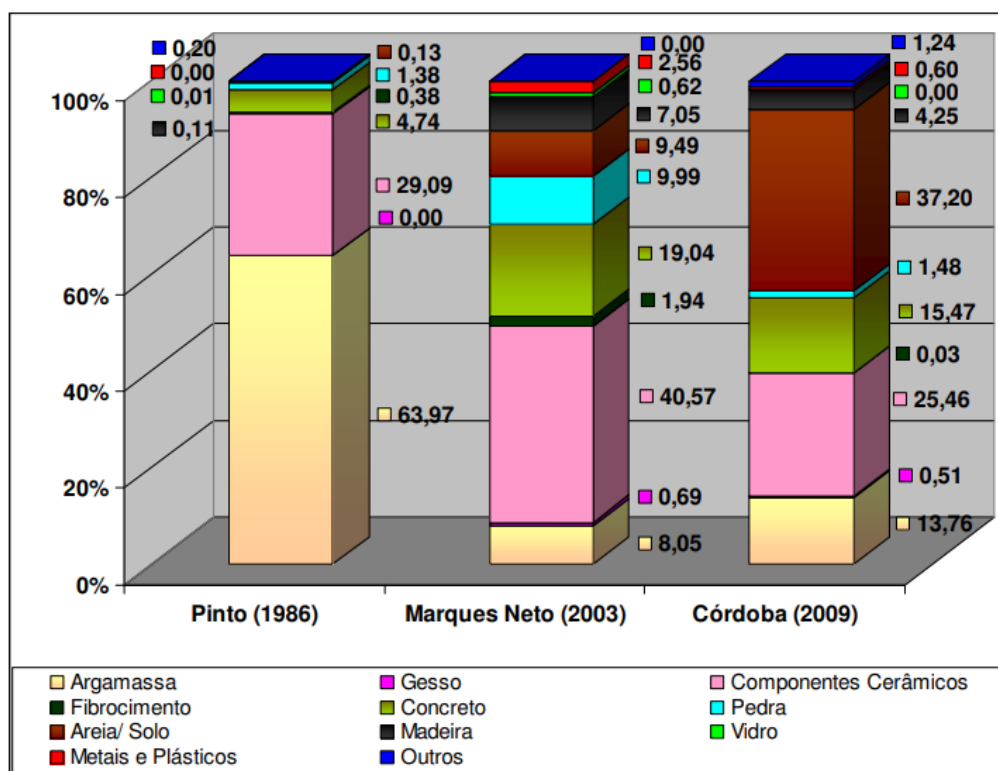
Composição Percentual (discriminação conforme as fontes)	Composição de RCC em São Carlos (1986) e Santo André (1990)	Composição típica de RCD em Hong Kong (1993)	Composição típica de RCD na Bélgica (1995)	Composição típica de RCD em Toronto (1993)
Cimento amianto	0,4	-	-	-
Gesso	-	-	0,2	-
Metais	-	3,3	0,2	7,7
Vidro	-	0,3	-	2,8
Papel cartão	-	-	-	4,3
Papel	-	-	-	3,5
Papel e orgânicos	0,2	-	-	-
Outros orgânicos	-	1,7	-	0,6
Plástico	-	-	0,4	2,5
Tubos plásticos	-	0,6	-	-
Acessórios	-	0,1	-	-
Têxteis	-	-	-	0,7
Borracha e couro	-	-	-	0,5
Finos	-	-	-	1,9
Outros mat. de construção	-	-	-	16,6
Solo	0,1	-	-	-
Lixo, solo e barro	-	23,8	-	-
Bambu e árvores	-	0,4	-	-
Sucata	-	0,1	-	-
Outros	-	-	0,6	-
TOTAL	100	100	100	100

Fonte: Pinto (1999)

No entanto, devido às mudanças em sistemas e técnicas construtivas, materiais utilizados e forma de gestão de resíduos, a caracterização gravimétrica de um mesmo local

pode variar ao longo do tempo. Assim, Córdoba (2010), após desenvolver sua própria pesquisa de caracterização gravimétrica dos RCC da cidade de São Carlos/SP, em 2009, realizou uma análise comparativa dos resultados dos seus estudos com os de Pinto (1986) e Marques Neto (2003). Os três estudos citados foram realizados na cidade de São Carlos/SP. Esta análise está representada na Figura 1.

Figura 1: Estimativa percentual da caracterização gravimétrica do município de São Carlos/SP em 1986, 2003 e 2009

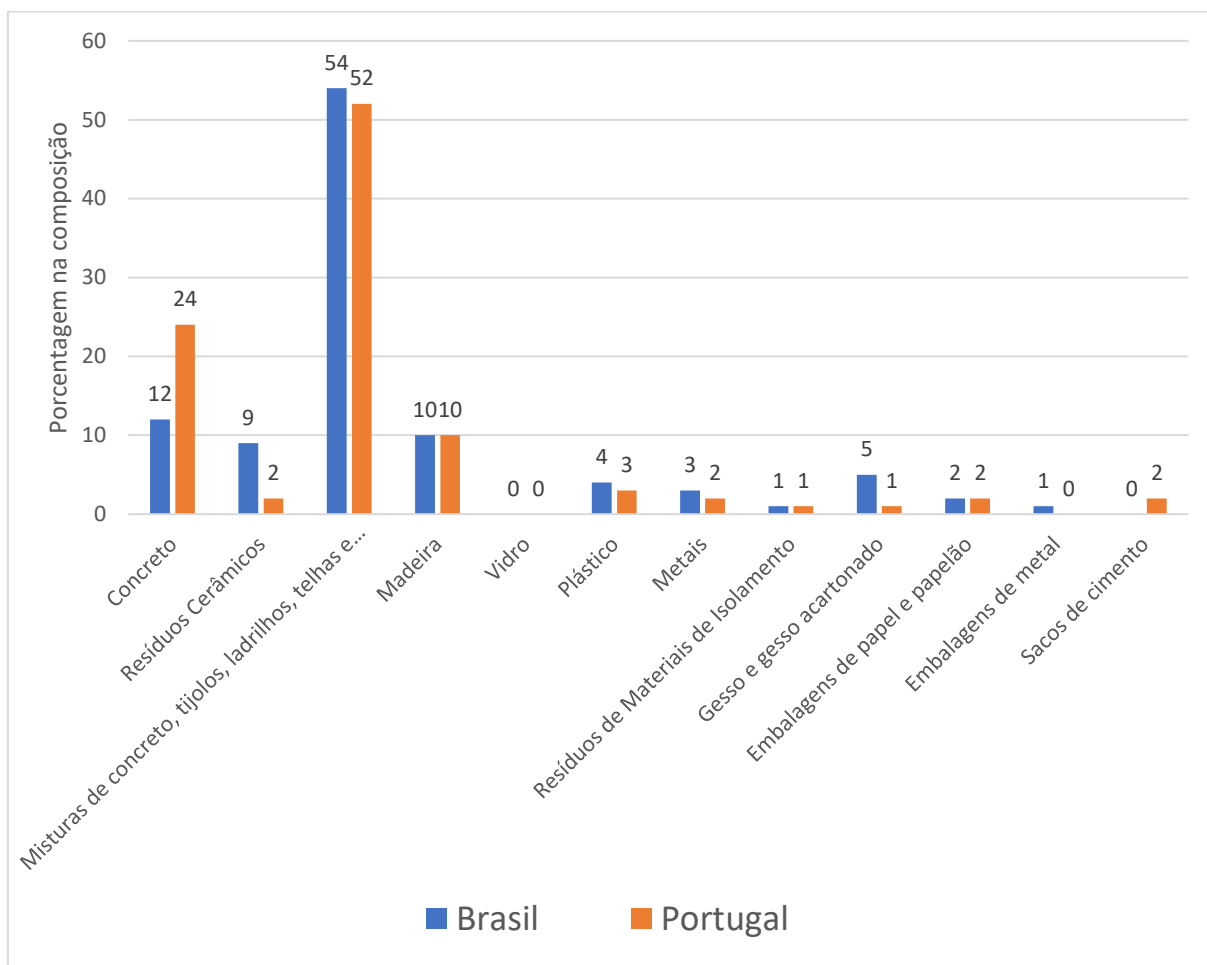


Fonte: Córdoba (2010) apud Pinto (1986), Marques Neto (2003)

Dentre os resultados do estudo de Córdoba (2010), está a predominância de resíduos cerâmicos, de argamassa e concreto, que eram referentes a 98% dos resíduos em 1986, a 68% em 2003 e a 56% em 2009. Essa informação ressalta a tipologia construtiva predominante no município de São Carlos/SP, no qual as construções residenciais e comerciais eram majoritariamente feitas de alvenaria cerâmica, com uso de concreto e reboco de paredes com argamassa.

Outro trabalho acerca da composição dos RCC foi realizado por Reck, Oliveira e Nagalli (2019). Os autores compararam a tipologia de RCC gerados em obras no Brasil e em Portugal e chegaram aos resultados da Figura 2:

Figura 2: Tipologias de resíduos produzidas em obras brasileiras e portuguesas

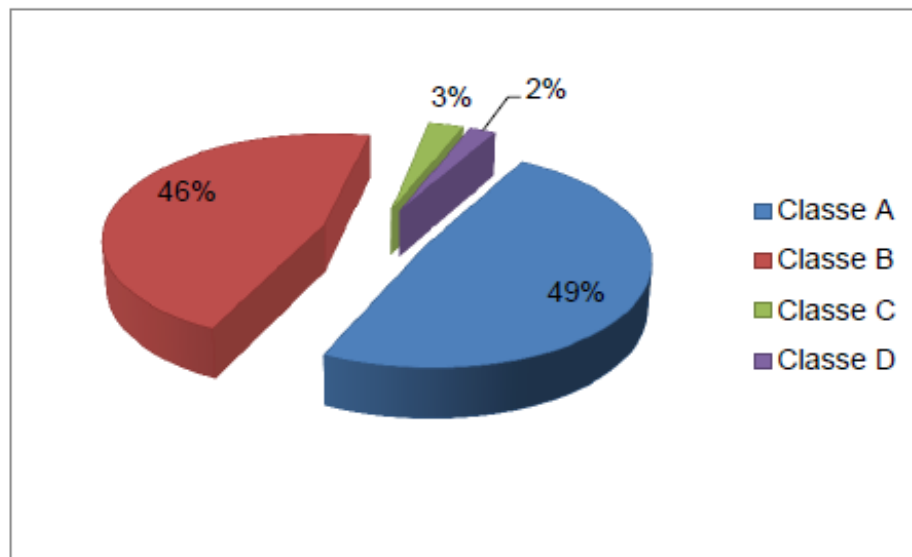


Fonte: Reck, Oliveira e Nagalli (2019)

Como conclusão de Reck, Oliveira e Nagalli (2019), observa-se que a tipologia de resíduos com maior porcentagem de geração é a de mistura de concreto, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos (54% no Brasil e 52% em Portugal), seguida por concreto (12% no Brasil e 24% em Portugal) e madeira (10% em ambos os países).

Bertol, Raffler e Santos (2013) caracterizaram os resíduos gerados em dez obras estudadas na cidade de Curitiba (PR), considerando a classificação da Resolução nº 307 do CONAMA, como pode ser observado na Figura 3. Observa-se que a composição do RCC nesse estudo é dividida majoritariamente entre resíduos Classe A (49%) e Classe B (46%).

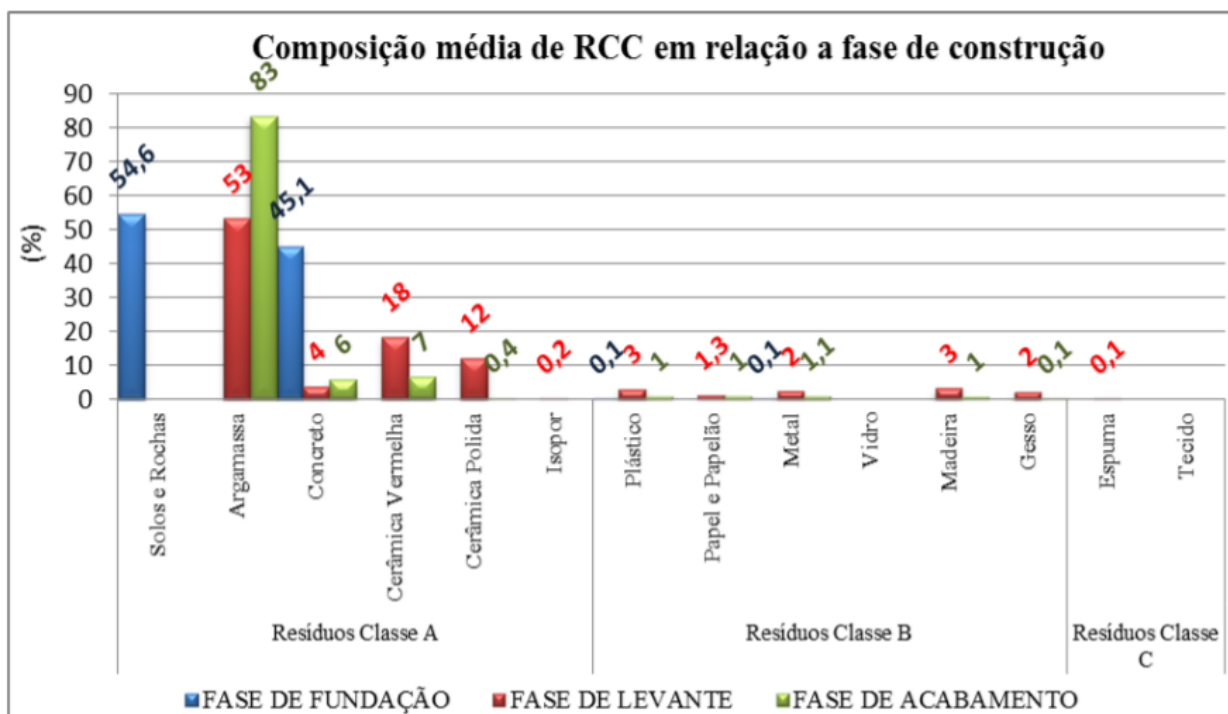
Figura 3: Parcela média (em %) de RCC calculada em canteiro por classe de resíduos



Fonte: Bertol, Raffler e Santos (2013)

Gouveia *et al.* (2017) realizaram uma análise gravimétrica dos componentes presentes nas amostras do RCC descartado em canteiros de obras de Palmas/TO, considerando as fases de edificação e a classificação de RCC conforme a Resolução nº 307 do CONAMA. Os resultados obtidos encontram-se na Figura 4.

Figura 4: Composição do RCC gerado nos canteiros de obras



Fonte: Gouveia *et al.* (2017)

Nas amostras da fase de estrutura da edificação, observa-se a predominância dos resíduos de Classe A (argamassa, cerâmica vermelha, cerâmica polida, concreto e isopor) com cerca de 87,2%, seguido de 11,3% de resíduos de Classe B (papel e papelão, metais, plásticos, madeira e gesso), com destaque para os plásticos e madeira. Também foi identificado resíduo de Classe C (espuma), porém com percentuais ínfimos em relação à composição total das amostras. Nessa fase, não foram identificados resíduos de Classe D nas amostras (GOUVEIA *et al.*, 2017). Na fase de acabamento, 96,4% dos resíduos identificados nas amostras foram caracterizados como resíduo de Classe A, sendo 83% apenas de argamassa, 4,2% foram caracterizados como Classe B, e um percentual médio inferior a 0% de resíduo de Classe C, representado pelo componente tecido. Não foram encontrados resíduos de Classe D nas amostras da fase de acabamento (GOUVEIA *et al.*, 2017).

2.1.4. INDICADORES DE GERAÇÃO DE RCC

A geração de RCC implica em impactos ambientais que podem ser causados pela disposição inadequada desses materiais, como contaminação de rios e solos, assoreamento de rios, enchentes, obstrução de vias de tráfego e proliferação de vetores de doenças. Além disso, existe um impacto econômico atrelado à essa geração devido ao alto custo da administração municipal com a limpeza das áreas de disposição irregular de RCC, custos de separação e triagem e aquisição de equipamentos necessários para o manejo dos resíduos (LOWEN; NAGALLI, 2020).

A geração de RCC no Brasil registrou aumento considerável nos últimos anos. Segundo relatório da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2022), a quantidade de RCC coletada pelos municípios brasileiros passou de 33 milhões de toneladas, em 2010, para 48 milhões, em 2021. Já a quantidade coletada per capita cresceu de 174,3 kg/hab.ano para 227 kg/hab.ano (ABRELPE, 2022). Como as construtoras são as responsáveis pela coleta dos RCC, os dados da pesquisa da ABRELPE se referem apenas à parcela de resíduo de construção que foi descartada em vias e logradouros públicos. Kofoworola e Gheewala (2008) estimaram a geração de RCC da Tailândia e concluíram que a construção civil naquele país gerou em torno de 1,1 milhões de toneladas de resíduos por ano entre 2002 e 2005. Já na Europa, os valores são ainda maiores. Estima-se que considerando todos os países da União Europeia são gerados mais de 800 milhões de toneladas de RCC por ano, sendo 246,7 da França, 100,23 do Reino Unido e 1,54 da Bulgária, por exemplo (EU, 2016).

A quantificação de RCC gerado é importante para futuras estimativas em obras semelhantes. No entanto, a quantidade de RCC gerada é influenciada por uma série de fatores, como a experiência e/ou treinamento da equipe, processo construtivo utilizado na obra, nível de controle da obra e a flexibilização temporal para execução das atividades (NAGALLI, 2014).

A

Tabela 2, elaborada por Pinto (2005), apresenta as quantidades de RCC gerados em algumas cidades brasileiras e a suas respectivas porcentagens em relação à totalidade dos resíduos sólidos urbanos. Apesar da possível divergência dos resultados da pesquisa com a geração atual, é válido analisar como os RCC correspondiam a mais de 50%, em massa, dos resíduos sólidos urbanos.

Tabela 2: Geração de RCC em cidades do estado de São Paulo

Município	Geração (ton/dia)	Participação em relação aos resíduos sólidos urbanos
São Paulo	17.240	55%
Guarulhos	1.308	50%
Diadema	458	57%
Campinas	1.800	64%
Piracicaba	620	67%
São José dos Campos	733	67%
Ribeirão Preto	1.043	70%
Jundiaí	712	62%
São José do Rio Preto	687	58%
Santo André	1.013	54%

Fonte: Pinto (2005)

A Tabela 3 compila dados de alguns estudos feitos sobre indicadores de geração de RCC com suas respectivas localizações. Ressalta-se que o baixo valor de geração de RCC em Portugal, resultado da pesquisa de Reck, Oliveira e Nagalli (2019), tem como justificativa apresentada pelos autores, principalmente, a dificuldade de coleta de dados junto às construtoras, o que pode indicar que há falta de controle em relação à geração de resíduos em canteiros de obra e que os dados obtidos não representam a real situação do quantitativo de resíduos gerado no país.

Tabela 3: Indicadores de geração de RCC estudados

Autor(es)	Local do estudo	Geração de RCC (kg/m²)
Pinto (1999)	Santo André/SP, São José do Rio Preto/SP, São José dos Campos/SP, Ribeirão Preto/SP, Jundiaí/SP, Vitória da Conquista/BA	150,00
Marques Neto (2003)	São Carlos/SP	137,02
Da Costa (2012)	João Pessoa/PB	93,89
Soares (2015)	Taquaritinga/SP	226,28
L. Silva (2018)	Ribeirão Preto	183,28
Reck, Oliveira e Nagalli (2019)	Portugal	4,84
Reck, Oliveira e Nagalli (2019)	Brasil	51,65

Fonte: Autor (2022)

É possível observar na Tabela 3 que o indicador de geração de RCC em (kg/m²) é bastante variável entre as localidades brasileiras, variando entre 93,89kg/m² a 226,28kg/m². Estes valores ainda divergem do valor encontrado por Reck, Oliveira e Nagalli (2019) para o Brasil de forma geral, igual a 51,65kg/m², bem inferior aos valores anteriores. A maior diferença, no entanto, se dá com o valor da geração em Portugal, de 4,84kg/m², ou seja, mais de 10 vezes menor do que a geração brasileira estimada pelos mesmos autores. É possível concluir, então, que a geração de RCC, assim como a composição dos resíduos da construção civil, depende de sua fonte e varia de acordo com o tipo, fase e localidade da obra, as tecnologias utilizadas e as matérias-primas disponíveis.

2.2. IMPACTO DA COVID-19 NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A pandemia COVID-19 acarretou em interrupções substanciais de atividades e em dificuldades, inclusive na indústria da construção civil. No setor da construção civil, houve uma quebra abrupta no mercado, que vinha se recuperando de outras crises, e muitos postos de trabalhos foram prejudicados, principalmente para os pequenos empreendedores informais, que representam uma grande parcela da construção brasileira (PEDRO; BARBOSA, 2021). Segundo Camargo (2021), o PIB da construção civil teve quedas sucessivas durante os

trimestres de 2020 e fechou o ano com -7,0% em relação ao ano de 2019, tendo a maior queda exatamente no início do período de lockdown do comércio e demais atividades industriais do comércio brasileiro. Porém, apesar de ter sido um dos setores mais afetados pela pandemia, a construção civil conseguiu um desempenho econômico além do esperado, fechando o ano de 2020 com a implementação de 105.248 postos de trabalho, auxiliando na implementação de empregos e demonstrando a importância deste seguimento para a economia do país (CBIC, 2021a).

No Brasil, logo no início da pandemia, em 2020, o Governo Federal publicou um decreto tornando a indústria da construção civil como uma atividade essencial, devido à carência e a urgência por construções de hospitais de campanha, por obras de adaptações nos hospitais já existentes e para entrega de leitos e pela coexistência do mesmo (PEREIRA; AZEVEDO, 2020). Nesse contexto, pôde-se perceber a importância da construção civil, justamente pela capacidade que o setor da construção encontrou de se manter no mercado e, na contramão da crise, contribuir aos poucos com a recuperação do país (SOUZA; VILELA; MEDEIROS, 2022). Dessa forma, a busca por protocolos de segurança para o funcionamento do setor da construção civil, tendo em vista a retomada das atividades, se tornou de grande importância.

Algumas características típicas dos canteiros de obras, como a rotatividade frequente de trabalhadores e as atividades simultâneas, contribuem na transmissão da COVID-19, o que reforça a necessidade de se adotar as medidas de prevenção indicadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS). O Ministério da Saúde do Brasil, a fim de conter a pandemia de COVID-19 e seguindo as orientações da OMS, estabeleceu diretrizes de medidas de segurança, dentre as quais destacam-se o uso de máscaras, a aferição de temperatura antes do acesso à estabelecimentos, a higienização das mãos e sapatos, a implementação do distanciamento social e o incentivo a trabalhos em casa (BRASIL, 2020a).

No contexto da construção civil, além das medidas orientadas pela OMS, para evitar a disseminação da COVID-19 foram adotados treinamentos de segurança relacionados à COVID-19, trabalho em sistema de turnos e higienização dos materiais de construção e ferramentas (ALSHAREF *et al.*, 2021; AMOAH; SIMPEH, 2021; CBIC, 2020). Outras medidas implementadas no cenário da COVID-19, segundo Ogunnusi (2020), foram a implantação de ferramentas tecnológicas e o aprimoramento de seu uso, a adoção de EPIs adicionais, o distanciamento social e o aumento do trabalho fora do local pelo uso de elementos pré-fabricados. As construtoras analisadas por Rossi, Sarti Junior e Serra (2021) adotaram como protocolo de segurança para evitar a propagação da COVID-19 a medição de temperatura, substituição de máscaras de três em três horas, questionário informativo de saúde diária, controle de distanciamento nas atividades em grupos, disponibilização de uniformes para

trocas diárias, exigência de embarque no transporte coletivo com roupas limpas e exposição de cartazes informativos.

Tonetto *et al.* (2021) avaliaram algumas obras com o objetivo de mapear as boas práticas que estavam sendo utilizadas para prevenção da COVID-19. As principais práticas observadas foram o afastamento de pessoas do grupo de risco, a restrição à entrada de visitantes nas obras, a realização de reuniões virtuais ou em locais abertos, o aumento no distanciamento entre as pessoas nas frentes de trabalho, a substituição de equipamentos compartilhados por individuais e o escalonamento de horários por equipe (TONETTO *et al.*, 2021).

Alsharif *et al.* (2021) estudou os impactos da pandemia de COVID-19 nos Estados Unidos e identificou uma série de efeitos adversos, como atraso na entrega de materiais, falta de materiais, redução de produtividade, aumento de preço de insumos e suspensão de projetos. Em contrapartida, a pandemia nos EUA resultou em novas oportunidades como taxas de juros mais baixas, aumento da demanda na área médica, transporte e setores residenciais e a capacidade de recrutar trabalhadores qualificados (ALSHAREF *et al.*, 2021).

No Brasil, também foram observados impactos na construção civil derivados da COVID-19, como a paralisação de indústrias, a suspensão de atividades, a redução da mão de obra, a queda dos estoques de matérias prima no mercado, o desabastecimento de insumos básicos e a alta dos preços das matérias primas (BELLO *et al.*, 2021). Na pesquisa de Souza, Vilela e Medeiros (2022), que analisou o impacto da COVID-19 na construção civil da cidade de Monteiro/PB, observou-se um aumento de preço de quase 100% em todos materiais, a falta de estoque e a dificuldade de transporte para fornecer os materiais à construtora. O estudo, inclusive, pontua que uma possível solução para esses problemas poderia ser a reciclagem dos RCC gerados em obra, ou seja, relacionando a gestão dos resíduos ao contexto da construção civil durante a pandemia de COVID-19 (SOUZA; VILELA; MEDEIROS, 2022). Destaca-se, no entanto, que a reciclagem como única prática de gerenciamento de resíduo no canteiro não é suficiente para um bom gerenciamento de resíduos. Outro impacto relevante da COVID-19 na construção civil, segundo a CBIC (2021b), tem relação com a continuidade das obras públicas com contratos anteriormente firmados, uma vez que o aumento dos preços implica na necessidade de reequilíbrio econômico dos contratos, e com a redução de novas licitações durante a pandemia, impactando o setor pois as obras públicas tem expressividade no contexto nacional.

O estudo de Ogunnusi *et al.* (2020) analisou o impacto da COVID-19 na construção civil por meio de questionários aplicados a profissionais da construção civil de 16 países distribuídos pela África, Ásia, Europa, América do Norte e Oceania. Dentre os resultados, destaca-se que 97,2% dos entrevistados afirmaram que a COVID-19 afetou os projetos nos

quais trabalhavam, sendo que 85,9% considera que o impacto foi de forte a moderado, 91,5% indicaram que seus projetos foram interrompidos parcialmente ou totalmente e 59,2% afirmaram acreditar que haverá mudanças permanentes em seus processos de trabalho. Além disso, 76,1% dos entrevistados não recebeu qualquer benefício do governo que pudesse colaborar com a manutenção de sua renda (OGUNNUSI *et al.*, 2020). Tais informações reforçam o grande impacto da Covid-19 na indústria da construção civil e na vida de seus trabalhadores.

Com relação à disseminação da COVID-19 entre os trabalhadores da construção civil, Araya (2021) constatou que a força de trabalho de um projeto de construção pode ser reduzida em 30% a 90% devido à disseminação do COVID-19. Tal resultado reforça a necessidade de adotar medidas que proporcionem condições adequadas para os trabalhadores realizarem seu trabalho, minimizando as chances de infecção pelo COVID-19.

Um impacto importante na construção civil, segundo Pereira e Azevedo (2020) foi a implementação de sistemas construtivos novos, mais rápidos e com um apelo ambiental, através da construção modular, para atendimento da demanda de hospitais em várias regiões do país, tecnologia que tende a continuar em uso após a pandemia. Pedro e Barbosa (2021) abordam a aplicação por parte das construtoras de novas tecnologias, plataformas de trabalho digitais, ferramentas de modelagem tridimensionais e integradas e outras práticas que diminuam o tempo de obra, tornem a obra mais limpa e sustentável e diminuam a quantidade de trabalhadores no canteiro de obras como uma saída para a retomada econômica do setor da construção após a pandemia. Nesse sentido, a crise causada pela COVID-19 pode representar uma oportunidade do desenvolvimento da criatividade e aplicação efetiva de métodos de otimização dos canteiros de obras. No entanto, é importante destacar que essas medidas ainda são uma realidade distante dos trabalhadores informais, os quais são os mais afetados pela pandemia (PEDRO; BARBOSA, 2021).

2.3. GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.3.1. PANORAMA MUNDIAL DA GESTÃO DE RCC

Segundo Nitivattananon e Borongan (2007), alguns países da Ásia, como Japão, Região Administrativa Especial (SAR) de Hong Kong, Índia, Sri Lanka, Singapura e Malásia, principalmente em ambientes urbanos, já praticam os princípios 3R (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) na gestão de resíduos da construção civil e, alguns deles, também praticam a conscientização sobre a gestão desses resíduos.

Quanto à gestão de RCC na Ásia, os procedimentos para a gestão de RCC são praticados principalmente por profissionais em países desenvolvidos, os quais precisam lançar iniciativas na indústria de construção para praticar uma melhor gestão de RCC (NITIVATTANANON; BORONGAN, 2007). Em Hong Kong, Chung e Lo (2003) destacam que as principais causas para o desempenho insatisfatório da gestão de resíduos estão intimamente relacionadas ao estilo de governança do governo, e não a algumas causas gerais, como falta de know-how tecnológico ou restrições financeiras. Outro exemplo de estudo sobre a gestão de RCC na Ásia, Kofoworola e Gheewala (2008) analisaram a gestão de RCC na Tailândia e observaram que a maior parte dos resíduos foram despejados ilegalmente e a outra parte foi para aterros.

O estudo de Gálvez-Martos *et al.* (2018) apresenta uma síntese das melhores práticas de gerenciamento de RCC na Europa. Dentre elas, os autores citam técnicas de coleta e segregação de RCC no canteiro de obras, como a identificação dos recipientes de acondicionamento de cada tipo de RCC, o dimensionamento adequado de cada recipiente considerando a quantidade de resíduo a ser gerado, o número de recipientes e o número de retiradas de resíduos previstas, a locação dos recipientes fixos em um pátio de resíduos e dos temporários próximos às frentes de trabalho para aumentar a eficiência da segregação, a aplicação de treinamentos a todos os trabalhadores, independentemente de serem do contratante principal ou de um subcontratado e o mapeamento da localização dos recipientes no canteiro e disponibilização desse mapeamento a todos os funcionários envolvidos. Gálvez-Martos *et al.* (2018) também abordam técnicas de controle no local, como inspeção visual, cadastro informatizado ou fotográfico, sinalização, emissão e controle de certificados de gestão de resíduos e, quando necessário, pré-tratamento de resíduos no local. A coleta para transporte externo dos resíduos é feita de duas formas: coleta de forma programada para volumes menores de resíduos de geração constante e coletas pontuais para grandes volumes gerados em um pequeno intervalo de tempo (GÁLVEZ-MARTOS *et al.*, 2018). Por fim, estes autores ressaltam que as práticas de gestão de RCC na Europa são heterogêneas, principalmente quanto ao tratamento de resíduos e desenvolvimento de mercados para materiais secundários.

Um dos assuntos importantes relacionados à gestão de resíduos da construção civil é a reciclagem. Nos Estados Unidos, mais de 70% dos RCC são reciclados (TOWNSEND, 2014). Na Europa, esse percentual tem grande variação, chegando a valores altos: em Portugal é de 48%, no Reino Unido de 86,5%, na Holanda de 93%, na Dinamarca de 86%, na França de 70% (EU, 2015).

Devido ao volume considerável e crescente de RCC gerado, a logística reversa é vista como uma alternativa para o gerenciamento adequado de RCC, podendo auxiliar na agregação de valor nos resíduos, na reciclagem e na disposição final em locais adequados (SCHAMNE; NAGALLI, 2016). A logística reversa tem como principais barreiras a viabilidade econômica da reciclagem e recuperação dos resíduos provenientes da construção, a aceitação dos produtos reciclados no mercado, a falta de empresas especializadas, a falta de apoio governamental, a falta de instrução e treinamento e o custo elevado para a implantação (MORAES; LIMA; LIMA, 2017; SCHAMNE; NAGALLI, 2016). Mesmo assim, segundo Schme e Nagalli (2016), a Europa apresentou melhorias na logística reversa nos últimos anos, com aumento na reciclagem de RCC, consequências do avanço da legislação e de políticas de gestão de resíduos. No Canadá, a logística reversa ocorre principalmente em nível municipal, tendo surgido algumas iniciativas privadas recentemente (MORAES; LIMA; LIMA, 2017).

No Brasil, a gestão de RCC é guiada pela elaboração dos Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), documento obrigatório para os grandes geradores e que deve ser elaborado especificamente para o empreendimento a que se refere e deve ser apresentado e aprovado pelo órgão fiscalizador competente.

O Guia para elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil propõe um roteiro a ser seguido para elaboração do PGRCC (LIMA; LIMA, 2009):

- Caracterização e quantificação dos resíduos sólidos de acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA;
- Minimização dos resíduos;
- Triagem/Segregação dos resíduos;
- Acondicionamento/armazenamento;
- Transporte interno;
- Reutilização e reciclagem;
- Transporte externo;
- Transbordo de resíduos;
- Destinação dos resíduos.

O PGRCC tem início com a etapa de planejamento, na qual é feita a caracterização dos tipos de resíduos que serão gerados e a quantificação destes, com base no tipo da obra e nos projetos existentes (SÃO PAULO, 2010). Essa estimativa de quantificação pode ser baseada em empreendimentos anteriores da construtora responsável, desde que possua

características semelhantes, como tipo de obra e sistema construtivo. Caso não existam essas informações anteriores, o levantamento deve basear-se em referências bibliográficas nacionais e internacionais (CABRAL; MOREIRA, 2011). Nessa etapa, para a minimização desses resíduos, é importante que sejam consideradas as possibilidades de reutilizar esses resíduos e realizar a destinação final apenas quando a reciclagem não for possível (SÃO PAULO, 2010).

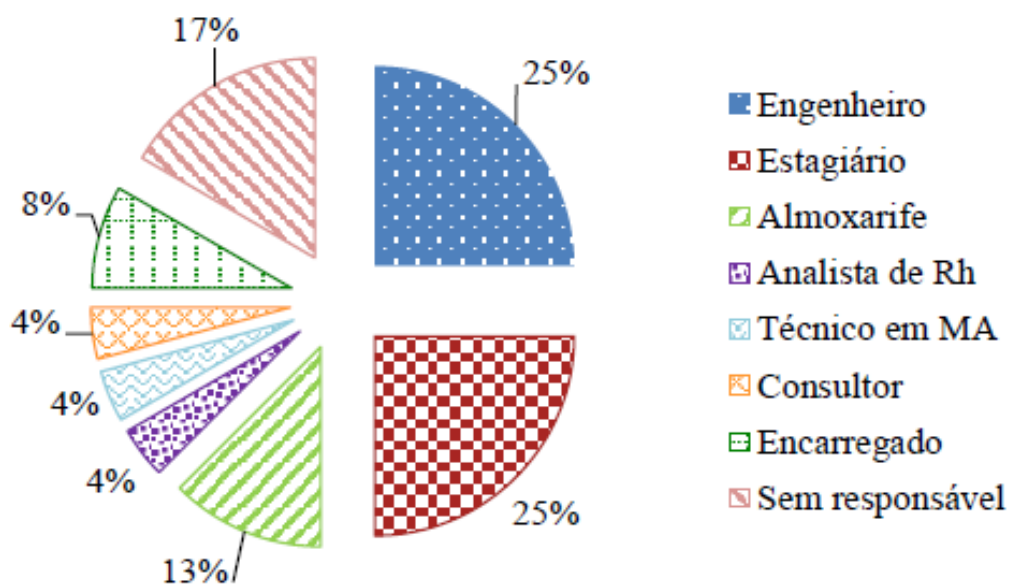
Conhecidos os tipos e quantidades de resíduos a serem produzidos, deve-se pensar na logística interna do canteiro de obras, a qual é de grande importância na elaboração do PGRCC e deve estar compatibilizada com o projeto de canteiro de obras para favorecer o ordenamento adequado dos fluxos de resíduos (SINDUSCON-SP, 2015). Quanto à segregação, Guerra (2009) afirma que, para manter o resíduo íntegro e não misturado, sem contaminação dos mesmos, esta pode ocorrer no momento da geração, em cada estação de trabalho, ou então em uma área específica para este fim, sendo a primeira opção a mais eficaz e barata. Quanto ao acondicionamento, Guerra (2009) afirma também que deve haver um espaço adequado para o acondicionamento temporário de cada tipo de resíduo na obra para que seja possível que sejam destinados e tratados corretamente. Segundo Pinto (2005), devem ser estabelecidas condições específicas para acondicionamento de cada resíduo identificado e coletado. Além dos passos citados, para Guerra (2009), os operários da obra devem receber treinamentos periódicos para que sejam motivados a colaborar com a separação dos RCC em todas as etapas construtivas, independente do seu grau de envolvimento.

O estudo de Nagalli (2013) analisou obras de empreendimentos residenciais e comerciais em Curitiba, no Paraná, quanto às práticas aplicadas na gestão de RCC e teve como resultados pontos positivos na experiência, como sistematização de procedimentos, a identificação de responsabilidades, o compartilhamento de tarefas e o estabelecimento de punições em caso de descumprimento de regras. Nagalli (2013) afirma que o cuidado com a gestão de resíduos no Brasil apresenta uma melhora ao longo dos anos, com aumento na destinação de resíduos recicláveis e aprimoramento na destinação e reciclagem de resíduos como o gesso, e que esse avanço pode ser atribuído à melhoria no processo de fiscalização por parte dos órgãos governamentais. Outro ponto de destaque para o autor se refere à educação ambiental nas empresas construtoras. Foram observadas algumas iniciativas de capacitação dos trabalhadores, principalmente sobre a triagem de resíduos e utilização da estrutura de gestão de resíduos, porém é necessário que os construtores estendam esse treinamento a outras questões ambientais. Além disso, existe uma dificuldade no investimento em educação ambiental por parte das construtoras devido à grande dinâmica de contratação e demissão no setor da construção, que dificulta o processo de formação continuada

(NAGALLI, 2013). Já em relação aos pontos negativos da gestão de RCC no Brasil, um dos pontos mais importantes está relacionado à falta de recursos humanos para promover uma fiscalização pública efetiva e à lacuna na apresentação dos relatórios de gestão de resíduos (NAGALLI; 2013; FRIEDEMANN, 2016). Para Nagalli (2013), a questão econômica também é um ponto limitante na eficiência da gestão de resíduos, pelo fato de que muitas construtoras brasileiras consideram alto o custo da gestão de resíduos e não enxergam esse processo como uma oportunidade de redução de perdas, otimização de processos produtivos e geração de renda, o que torna o sistema ainda mais sustentável economicamente.

O estudo de Mann, Nagalli e Carvalho (2019) analisou o gerenciamento de RCC em obras de Curitiba e concluiu que as obras com certificação ambiental apresentam maior índice de conformidade técnica e legal do que as obras sem certificação. Quanto ao planejamento da obra, a pesquisa mapeou os responsáveis por essa atividade em cada obra analisada e sintetizou os resultados na Figura 5. Além disso, destes responsáveis verificou-se que 25% não tinham conhecimento algum a respeito sobre as resoluções do CONAMA acerca dos RCC, 35% tinham conhecimento do que se tratavam as resoluções e 45% tinham conhecimento total a respeito das três Resoluções do CONAMA (MANN; NAGALLI; CARVALHO, 2019).

Figura 5: Responsáveis pela gestão de resíduos nas obras



Fonte: Mann, Nagalli e Carvalho (2019)

Já no estudo de Friedemann (2016), observou-se que 91% das obras visitadas não possuíam responsáveis pelos resíduos gerados em obra, o que dificulta o gerenciamento pois contribui para que o manejo dos resíduos pelos trabalhadores seja feito de forma incorreta. Ademais, em 83% das obras, mesmo nas que possuíam responsáveis, foi informado de que não havia conhecimento acerca das normas vigentes e em 67% delas os colaboradores não recebem orientação referente ao manejo e descarte dos resíduos (FRIEDEMANN, 2016). Essa questão da ausência de profissionais capacitados para realizar a gestão de RCC no canteiro corrobora com a necessidade de desenvolvimento de um modelo de gestão e de uma ferramenta para gestão remota de RCC, uma vez que, no cenário de escassez desse tipo de profissional especialista, uma mesma equipe de profissionais é capaz de gerir mais de uma obra.

No estudo de Mann, Nagalli e Carvalho (2019), quanto à destinação dos resíduos para locais licenciados e ao transporte interno dos resíduos, não foram identificados problemas. As práticas identificadas para o transporte dos resíduos dentro da obra foram o uso de carrinhos ou giricas para deslocamento horizontal e uso de elevador de carga, guias ou duto vertical para transporte vertical dos resíduos das classes A, B, C e D. Já em relação ao transporte externo, identificou-se 25% de não conformidades em relação à Resolução nº 307 do CONAMA e verificou-se a necessidade de melhorias principalmente quanto ao descumprimento do quesito de transporte de solo em caminhão basculante aberto, o que não é permitido. Em relação à reutilização e reciclagem de materiais no canteiro de obras, observou-se que estas ainda são insuficientes (MANN; NAGALLI; CARVALHO, 2019).

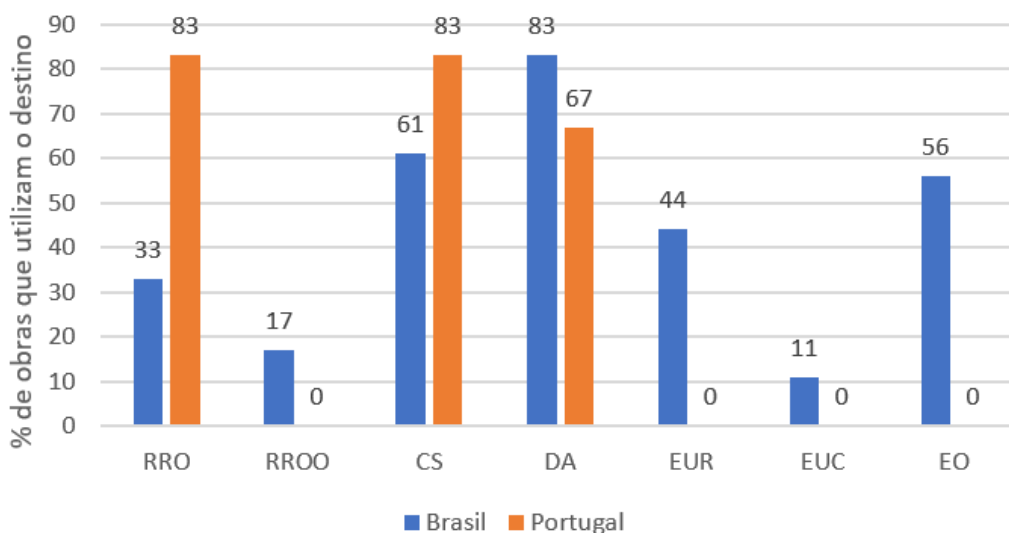
O estudo também concluiu que não há padronização com relação à gestão de resíduos nas obras, nem mesmo em obras de uma mesma construtora. Também foi observado que não há relação entre o porte de obra e o percentual de conformidades, que quanto maior o tempo de mercado da construtora, menor o percentual de não conformidades, que existe maior assertividade na gestão de resíduos em obras comerciais e mistas, quando comparadas a obras residenciais, e nas que possuem maior frequência de treinamentos (MANN; NAGALLI; CARVALHO, 2019).

Reck, Oliveira e Nagalli (2019) estudaram o gerenciamento e a geração de RCC em obras de edificações residenciais no Brasil e em Portugal, respectivamente nas cidades de Curitiba e Bragança. Quanto à destinação do RCC, os autores analisaram a utilização dos seguintes destinos pelas obras estudadas, sendo os números referentes à porcentagem das obras estudadas naquele país que faziam uso daquela opção de destinação. Esses resultados estão apresentados na Figura 6, sendo:

- RRO: reutilização de resíduos em obra;

- RROO: reutilização de resíduos em outras obras;
- CS: coleta seletiva;
- DA: depósito em aterros;
- EUR: encaminhamento para usinas de reciclagem;
- EUC: encaminhamento para usinas de compostagem;
- EO: encaminhamento para olarias;

Figura 6: Opções de destinação de RCC utilizadas no Brasil e em Portugal



Fonte: Reck, Oliveira e Nagalli (2019)

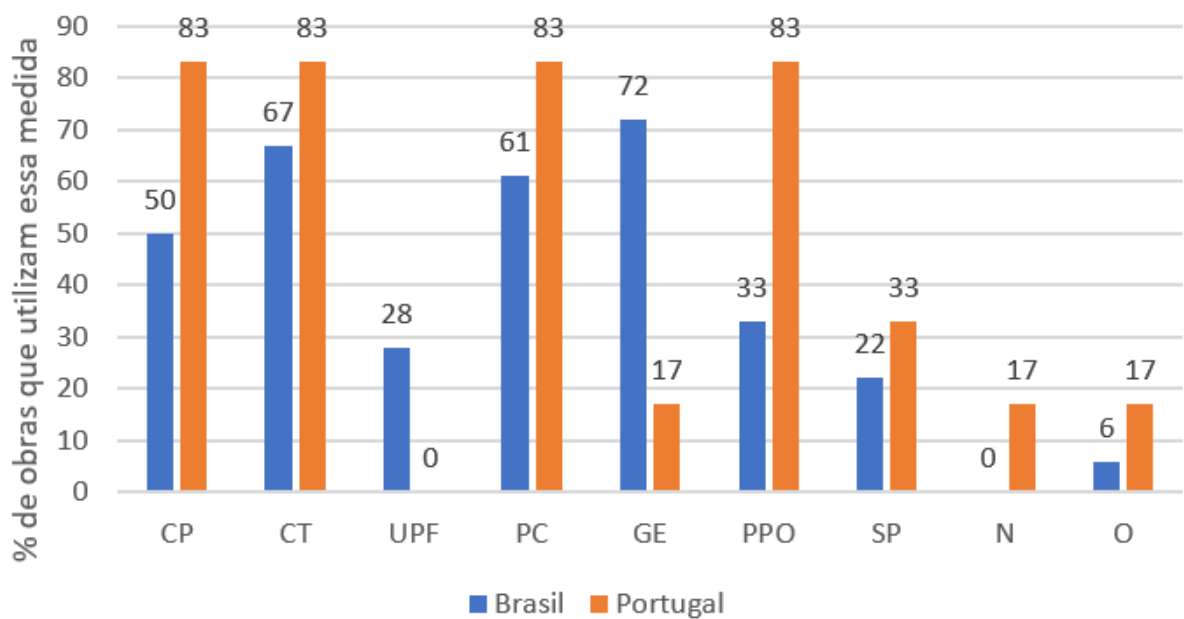
Como conclusão, Reck, Oliveira e Nagalli (2019) observaram que no Brasil são utilizadas mais opções de encaminhamento, como para olarias, as quais são de difícil acesso em Portugal e acabam não sendo destinações economicamente viáveis para os geradores. Em Bragança, existe maior reutilização de resíduos em obra, prática que diminui a geração final de resíduos e, como consequência, a necessidade de destinação dos mesmos a locais especializados. Já as usinas de reciclagem, que têm utilização nula como destinação de resíduos em Bragança, é utilizada por 44% dos casos na amostra brasileira.

Quanto às medidas de gerenciamento utilizadas, Reck, Oliveira e Nagalli (2019) analisaram a utilização das seguintes medidas nas obras estudadas do Brasil e em Portugal, apresentadas na

Figura 7 e com a seguinte legenda:

- CP: compatibilização de projetos;
- CT: conscientização dos trabalhadores;
- UPF: utilização de elementos pré-fabricados;
- PC: planejamento do canteiro de obras;
- GE: gestão e organização de estoques;
- PPO: preparação prévia da obra;
- SP: soluções de projeto;
- N: nenhuma;
- O: outros.

Figura 7: Medidas de gerenciamento de RCC utilizadas em obras brasileiras e portuguesas



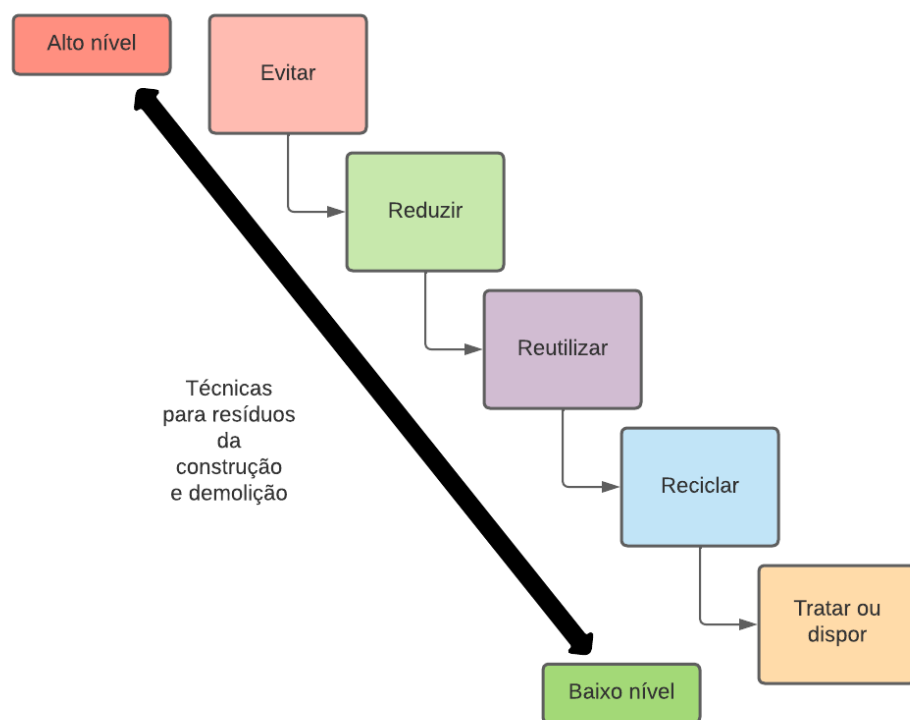
Fonte: Reck, Oliveira e Nagalli (2019)

Pelos resultados obtidos de Reck, Oliveira e Nagalli (2019) é possível concluir que as medidas de gerenciamento de RCC mais utilizadas no Brasil são a gestão de estoque (72%), conscientização dos trabalhadores (67%) e planejamento do canteiro de obras (61%). Já em Portugal, as medidas mais utilizadas são compatibilização de projetos, conscientização dos

trabalhadores, planejamento do canteiro de obras e preparação prévia da obra, todas com 83%. Outra conclusão é de todas as obras brasileiras estudadas adotaram alguma medida com o intuito de reduzir a geração de resíduos de construção, enquanto em Portugal, uma das obras informou não utilizar nenhuma medida (RECK; OLIVEIRA; NAGALLI, 2019). Observa-se também que a preocupação com a conscientização dos trabalhadores envolvidos na obra em relação à geração de resíduos de construção e o planejamento do canteiro foram pontos em comum entre os dois países. Por fim, destaca-se a não utilização de sistemas construtivos de pré-fabricação em obras na região de Bragança (0%), enquanto em Curitiba essa medida foi utilizada em 28% das obras estudadas.

Ali *et al.* (2019) propõem uma hierarquia no gerenciamento de RCC. Segundo esta, deve-se priorizar a não geração do resíduo. Caso não seja possível, o foco deve ser, respectivamente, na redução da quantidade de resíduo gerado, na reutilização do resíduo, na reciclagem e, em último caso, no correto tratamento e disposição final do resíduo. A Figura 8 ilustra a hierarquia proposta. Cabe ressaltar que a hierarquização proposta é a mesma proposta pela legislação brasileira, especificada na Resolução nº 307 do CONAMA e na PNRS (BRASIL, 2002; 2010).

Figura 8: Hierarquia de gerenciamento de resíduos



Fonte: Ali *et al.* (2019)

As principais legislações brasileiras referentes aos resíduos da construção são a Resolução nº 307 do CONAMA, primeiro marco brasileiro no cenário de regulamentação de resíduos sólidos, e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), constante na Lei Federal 12.305 de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2002, 2010). A Resolução nº 307 do CONAMA estabelece que grandes geradores elaborem um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), no qual o gerador fica responsável pelo acondicionamento desses resíduos e a disposição final adequada. Para que esse plano seja feito de maneira adequada, é necessário que o empreendedor tenha conhecimento de indicadores e composições dos resíduos gerados, das possibilidades de ações de gestão de RCC em canteiro e das peculiaridades do empreendimento, além de necessitar de uma metodologia de gestão bem definida e organizada.

Marques Neto (2009) e Córdoba (2010) afirmam que, apesar da geração de RCC ser algo intrínseco a qualquer construção, é possível minimizar essa geração por meio de uma gestão adequada dos mesmos e de um planejamento prévio. No entanto, apesar da obrigatoriedade do PGRCC, ainda não é uma prática comum que os empreendedores possuam as informações necessárias e elaborem um planejamento das ações que serão aplicadas em canteiro para gestão desses resíduos.

Para que o planejamento prévio do gerenciamento dos resíduos da construção civil seja realizado e, conseqüentemente, a construtora tenha maior controle do manejo de RCC em canteiro, é possível utilizar a metodologia desenvolvida por Vendramim (2021), que apresenta uma síntese dessas ações práticas, especialmente no que diz respeito ao acondicionamento e transporte interno e externo de RCC no canteiro, e um modelo de pré-dimensionamento desses dispositivos. A Tabela 4 apresenta um resumo dos dispositivos de acondicionamento e transporte adequados a cada tipo de RCC.

Tabela 4: Resumo dos dispositivos de acondicionamento e transporte adequados a cada tipo de RCC

Resíduo	Volume recipiente	Classe	Acondicionamento inicial	Transporte interno	Acondicionamento final	Transporte externo
Blocos, concreto, cerâmicas e argamassa	Até 0,5m ³	A	Pilhas, caixa pallet	Carrinho de mão ou girica ou tubo condutor	Caçamba estacionária ou baias	Caminhão poliguindaste
	Acima de 0,5m ³	A	Pilhas	Elevador cremalheira ou grua ou tubo condutor	Caçamba basculante	Caminhão basculante
Madeira	Até 0,5m ³	B	Bombonas, caixa pallet	Manual com saco de rafia ou carrinho de mão ou girica	Caixas roll on/roll off ou caçamba estacionária ou baia	Caminhão poliguindaste/ Caminhão roll on/roll off
	Acima de 0,5m ³	B	Baias	Elevador cremalheira ou grua	Caixas roll on/roll off ou caçamba estacionária ou baia	Caminhão poliguindaste/ Caminhão roll on/roll off
Metal	Até 0,5m ³	B	Bombonas, caixa pallet	Manual com saco de rafia ou carrinho de mão ou girica	Baias/Caçambas	Caminhão de carroceria de madeira/ Caminhão poliguindaste
	Acima de 0,5m ³	B	Baias	Elevador cremalheira ou grua	Caixa tipo roll on/roll off	Caminhão de carroceria de madeira/ /Caminhão roll on/roll off
Gesso e gesso acartonado	-	B	Pilhas	Elevador cremalheira ou girica	Caçamba estacionária	Caminhão poliguindaste
Papel, papelão e plástico	-	B	Big Bag ou bombona	Carrinho de mão ou girica ou elevador cremalheira	Big Bag ou abrigo ou gaiola	Caminhão de carroceria de madeira

Resíduo	Volume recipiente	Classe	Acondicionamento inicial	Transporte interno	Acondicionamento final	Transporte externo
EPS	-	B	Saco de rafia ou Big Bag	Manual	Gaiola ou baia	Caminhão de carroceria de madeira com gaiola ou caminhão baú
Serragem	-	B	Saco de rafia	Elevador cremalheira	Baia	Caminhão de carroceria de madeira
Vidro	-	B	Bombona	Manual com saco de rafia ou carrinho de mão ou girica	Baia	Caminhão de carroceria de madeira
Resíduos perigosos	-	D	-	Manual	Baia ou abrigo	Caminhão baú ou carro fechado
Solo	Até 0,5m ³	A	Pilhas	Carrinho de mão ou girica	Caçamba estacionária	Caminhão poliguindaste
	Acima de 0,5m ³	A	Pilhas	Equipamentos de escavação	Caçamba basculante	Caminhão basculante

Fonte: Vendramim (2021)

2.3.2. GESTÃO REMOTA DE RCC NO CANTEIRO DE OBRAS

Atualmente, muitas pesquisas são desenvolvidas com foco no desenvolvimento e implantação de tecnologias e inovações na indústria da construção. Termos como industrialização, automação, mecanização e robotização, muito comuns nas atividades industriais, têm se tornado frequentes nos canteiros de obras. Nestes, fala-se também sobre a robotização invisível, que consiste na automatização de processos para agregar eficiência por meio de softwares inteligentes que eliminam e racionalizam processos que não agregam valor ao negócio (AECWEB, 2021). No entanto, são poucos os trabalhos existentes sobre a gestão remota de RCC no canteiro de obras.

Ali *et al.* (2019) idealizaram uma estrutura de programa computacional capaz de definir e apresentar ao usuário a técnica de gerenciamento de RCC mais adequada, econômica e viável àquele caso específico. A ferramenta requer que o usuário forneça alguns dados de entrada, como condições do local, tipos de resíduos gerados e outros dados relevantes, e,

com base em um banco de dados que inclui as técnicas de gerenciamento possíveis, suas aplicações e limitações, a mesma define a técnica que melhor se enquadra nas características informadas. A ferramenta, no entanto, não possui funcionalidades de gerenciamento dos resíduos (ALI *et al.*, 2019).

Outra ferramenta relacionada à gestão de RCC em canteiro de obras foi desenvolvida por Abreu e Mendes (2016) e denominada W3RESÍDUOS ®. Neste estudo, foi criado um aplicativo web, que funciona em computadores e dispositivos móveis, capaz de facilitar o gerenciamento de RCC no canteiro. As informações de entrada incluem dados da empresa, do empreendimento, dos responsáveis técnicos, dos fornecedores, das transportadoras e dos destinadores finais de resíduos, além de dados referente aos tipos e quantidades de resíduos gerados e formas de acondicionamento. Dentre os dados de saída, o programa permite a geração de formulários de Controle de Transporte de Resíduos (CTR) e gráficos mostrando o volume transportado em um determinado intervalo de tempo (ABREU; MENDES, 2016).

Assim como Abreu e Mendes (2016), Ayres (2014) desenvolveu uma ferramenta de gestão de RCC. Na ferramenta de Ayres (2014) também são cadastradas as informações de dados da empresa, do empreendimento, dos responsáveis técnicos, dos fornecedores, das transportadoras, dos destinadores finais de resíduos e dos tipos e quantidades de resíduos gerados. Em relação ao gerenciamento dos resíduos, a funcionalidade existente é a geração de relatórios sobre os resíduos gerados, em relação aos tipos, quantidades e fases da obra (AYRES, 2014).

Existem no mercado alguns softwares disponíveis para realizar o gerenciamento de resíduos. Um deles, o NETResíduos ®, é um software *online* de uso pago de gerenciamento de resíduos sólidos de diversos tipos, como resíduos da construção civil, industriais e hospitalares e que pode ser usado pelos geradores de resíduos, transportadores, área receptora e por municípios, com acesso por meio de computador, celular e tablet (CBIC, 2018; NETRESÍDUOS, 2023). Da mesma forma, o AMBISIS ® é um software *online* pago utilizáveis para o gerenciamento de diversos tipos de resíduos (AMBISIS, 2023). Ambos não são, portanto, softwares voltados para as particularidades dos resíduos da construção civil, muito menos para o gerenciamento desses resíduos em um canteiro de obras de edificações, além de terem um custo para serem utilizados.

O software ARQUIMEDES ® da Multiplus ® (2023), por sua vez, consiste em um software de orçamento, planejamento e medição de obras e possui um módulo voltado ao gerenciamento dos resíduos da construção civil. No entanto, apesar da especificidade quanto ao tipo de resíduo, as funcionalidades da ferramenta se resumem à estimativa de geração desses resíduos, à inserção de novos resíduos gerados e não previstos e à elaboração do

Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), não incluindo funções reais de gerenciamento desses resíduos no canteiro (MULTIPLUS, 2023).

Já os softwares Meu Resíduo® (2023), Vertown® (2023), Gestão de Resíduos® por NG Informática® (2023) e Exati® (2023) são softwares pagos para gerenciamento de resíduos sólidos em âmbito geral, não voltados exclusivamente para RCC, porém com funções de gestão e de gerenciamento dos resíduos. Para o gerenciamento, o Meu Resíduo (2023), o Vertown® (2023) e o Gestão de Resíduos® da NG Informática® (2023) permitem a emissão de MTR e controle do acondicionamento e transporte interno dos resíduos, assim como. A diferença entre os três softwares está nas funcionalidades de gestão. O Vertown® (2023) permite o cadastro da empresa, do empreendimento, do funcionário responsável, do transportador e do destinatário, além da inclusão dos resíduos gerados (tipos de resíduos, quantidade). Já o Meu Resíduo® (2023) possui a inclusão dos resíduos gerados (tipos de resíduos, quantidade) e o planejamento dos recipientes de acondicionamento e do transporte interno. O Gestão de Resíduos® da NG Informática® (2023), por sua vez, permite apenas a inclusão dos resíduos gerados (tipos de resíduos, quantidade).

O software Elo Cycle Construtoras® de ELOVERDE® (2023) possui as mesmas funcionalidades de gestão do Gestão de Resíduos® da NG Informática® (2023), porém em relação ao gerenciamento dos resíduos possibilita a emissão de MTR e o gerenciamento dos resíduos com registros fotográficos. O Elo Cycle também tem como diferencial ser voltado especificamente para os RCC (ELOVERDE, 2023).

O software Exati® (2023), que não é específico para RCC, permite o cadastramento georreferenciado de lixeiras e a definição de rotas de transporte automatizadas, as quais, posteriormente, podem ser monitoradas.

Em 2022, o sistema do MTR – SINIR passou a disponibilizar a funcionalidade “Plano de Gerenciamento de Resíduos – PGRS”, que deve ser elaborado pelos geradores de resíduos, como disposto no art. 20 da Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2020 (PNRS). O PGRS deverá conter as informações descritas nas diversas etapas indicadas no sistema, devendo ser protocolado no órgão ambiental licenciador competente, datado e assinado pelo Responsável Técnico por sua elaboração, com o respectivo documento expedido pelo Conselho Regional de classe do profissional (SINIR, 2022). O PGRS também pode ser utilizado para os resíduos da construção civil, uma vez que esses se enquadram nos resíduos abordados pelo art. 20 da PNRS.

Em suma, conclui-se que não existe atualmente uma ferramenta gratuita e com foco no gerenciamento de RCC em obras de edificações capaz de realizar tanto o planejamento da gestão de RCC no canteiro, apresentando opções de dispositivos de acondicionamento e

transporte de RCC e facilitando a tomada de decisões, quanto o gerenciamento dessas ações práticas no canteiro de forma remota.

2.4. RELAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 COM A GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.4.1. A INDÚSTRIA 4.0

O termo Indústria 4.0 deriva do termo “Industrie 4.0”, utilizado pela primeira vez em 2011, na Alemanha como uma das iniciativas-chaves na estratégia de tornar a indústria nacional altamente tecnológica (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015). O termo engloba um conjunto de inovações e princípios que podem resultar em um enorme avanço na produção industrial, nos produtos e até na forma de viver e que, por esse motivo, também é chamado de Quarta Revolução Industrial.

A Quarta Revolução Industrial, de maneira geral, é entendida pela digitalização e automação dos processos de fabricação, ou seja, resulta na fusão do físico com o virtual. Com essa interação, ocorre a comunicação entre os processos em tempo real, gerando integração e controle da produção (RIBEIRO, 2019). Essa nova revolução, quando comparada às anteriores, destaca-se pela fusão e interação de tecnologias de várias áreas do conhecimento, como físicas, digitais e biológicas (SCHWAB, 2016).

A Indústria 4.0 se caracteriza pela introdução de evoluções tecnológicas no mercado, tais como a inteligência artificial, robótica, internet das coisas, veículos autônomos, impressão em 3D, nanotecnologia, biotecnologia, armazenamento de energia e computação quântica. (SCHWAB, 2016). Por meio dessas tecnologias, é possível conectar máquinas, criar robôs com autonomia, identificar falhas em processos e tornar a execução das atividades cada vez mais precisa e rápida, aumentando a sua eficiência (CAVALCANTI *et al.*, 2018).

Segundo o SENAI (2018a), a indústria 4.0 traz como benefícios estratégicos a integração da cadeia produtiva, otimização da receita, maior competitividade, maior capacidade de integração ao mercado e sustentabilidade ambiental, social e econômica. O benefício tático da indústria 4.0 consiste na integração tecnológica na cadeia produtiva, proporcionada pela internet das coisas e por sistemas *cyber* físicos. Já os benefícios operacionais são o aumento da produtividade, conectividade da produção e análise em tempo real da produção. Ribeiro (2017) afirma que a Indústria 4.0 será capaz de otimizar os recursos e diminuir os consumos energéticos, por meio da gestão de dados gerados ao longo de toda a cadeia produtiva. Esses benefícios contribuem para a redução na emissão de poluentes e para a implementação de indústrias em ambiente urbano, impactando positivamente em

aspectos sociais relacionados a proximidade dos locais de trabalho e consequente diminuição no tempo de deslocamento (RIBEIRO, 2017). Para Rocker (2021), o emprego de inovações tecnológicas e o potencial de automatizar processos dentro da organização contribui para a melhoria das condições de trabalho, em oposição aos modelos dos dias atuais, uma vez que possibilita a redução das longas jornadas e da sobrecarga de trabalho, melhorando o bem-estar dos funcionários, aumentando as taxas de produtividade e reduzindo os riscos de acidentes de trabalho e o desequilíbrio entre a vida pessoal e profissional.

Para atingir os conceitos da indústria 4.0, são necessários os seguintes passos (SENAI, 2018b):

- Enxugar os processos produtivos: adotar métodos como a manufatura enxuta, de eficiência energética e de produção mais limpa;
- Requalificar trabalhadores e gestores: introduzir práticas inovadoras e ágeis nas empresas e capacitar todos os colaboradores nas novas tecnologias;
- Inserir tecnologias já existentes e de baixo custo: iniciar com o uso de sensores da internet das coisas, da computação em nuvem e big data para depois buscar por tecnologias mais sofisticadas, como a inteligência artificial;
- Investir em pesquisa e inovação, visando a integração entre todos os setores da cadeia produtiva.

A Indústria 4.0 representa uma infinidade de possibilidades para a manufatura em diversos segmentos (CAVALCANTI *et al.*, 2018). A indústria 4.0 é a principal tendência da atualidade, marco obrigatório para os negócios que pretendem conquistar mais espaço no mercado, ajudando a aumentar a lucratividade e a derrubar a concorrência (CAVALCANTI *et al.*, 2018).

No Brasil, a maior parte da indústria nacional ainda se encontra em grande parte na transição da Indústria 2.0, caracterizada pela utilização de linhas de montagem e energia elétrica, para a Indústria 3.0, que utiliza automação por meio da eletrônica, robótica e programação (FIRJAN, 2016). Entende-se que o setor mais adiantado para receber as tecnologias da indústria 4.0 no país é a indústria automotiva, pois os profissionais deste setor possuem qualificação em constante atualização para atender às demandas de mercado deste segmento (FIRJAN, 2016).

2.4.2. PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

De acordo com Cavalcanti *et al.* (2018) e Hermann, Pentek e Otto (2015), a Indústria 4.0 é orientada por seis princípios básicos, os quais estão apresentados a seguir:

- Interoperabilidade: é a característica na qual os diversos sistemas e organizações são capazes de trabalhar em conjunto. Na Indústria 4.0, é a capacidade de comunicação entre o homem e a máquina através da Internet das Coisas (CAVALCANTI *et al.*, 2018).
- Virtualização: permite realizar o monitoramento remoto de todos os processos realizados na indústria, sendo possível quando se usam os diversos sensores ao longo de toda a cadeia produtiva (CAVALCANTI *et al.*, 2018).
- Descentralização: por meio da virtualização, torna-se possível a descentralização da tomada de decisão, que pode ser operada a distância ou realizada por mais de um profissional, podendo ser até feita por um sistema cyber físico, que ajusta as variáveis de controle de acordo com as necessidades de produção em tempo real (CAVALCANTI *et al.*, 2018).
- Capacidade em tempo real/Adaptação da produção em tempo real: consiste na realização de análises em tempo real, as quais são possíveis com um sistema integrado, no qual as entradas são recebidas automaticamente, seja por um input realizado por um operador, ou seja, por uma coleta de uma informação realizada de maneira automatizada por um sistema. Com estes dados, a análise pode ser realizada por um gestor ou pode ser automatizada, sendo as decisões tomadas mediante as necessidades do cenário analisado (CAVALCANTI *et al.*, 2018).
- Orientação a serviço: é expressa pela disponibilização de dados, serviços, sistemas cyber-físicos e pessoas para todos os participantes de uma rede, sejam eles internos ou externos a organização, tornando a Internet dos Serviços mais robusta (ROCKER, 2021).
- Modularidade/Produção adaptada à variação de demanda: os sistemas modulares proporcionam praticidade na adaptação dos seus componentes por meio da sua expansão ou substituição e possibilitam ganhos de flexibilidade e adaptabilidade, seja por flutuações sazonais na demanda, alterações nas características do produto ou mudanças na configuração da linha de produção (HERMAN; PENTEK; OTTO, 2015; RIBEIRO, 2019)

Diante desses princípios, Lima e Gomes (2020) destacam o papel importante da digitalização nas tecnologias base da Indústria 4.0, já que a produção está baseada nas tomadas de decisões baseadas em dados captados, armazenados e processados em modelos virtuais, que permitem o monitoramento e a tomada de decisões em tempo real. Em resumo, o controle e coordenação dos processos e procedimentos alcançam dimensões além da manufatura (LIMA; GOMES, 2020).

Para Hermann, Pentek, Otto (2015), são quatro os conjuntos principais de tecnologias para a Indústria 4.0:

- Sistemas ciber-físicos (CPS): são sistemas que possibilitam a troca de informações entre operações reais através de computadores embarcados e redes, gerando um controle dos processos físicos, comunicação automatizada e respostas instantâneas. Compõem os CPS uma unidade de controle, tecnologias de identificação, mecanismos de armazenamento e análise de dados. (FIRJAN, 2016).
- Internet das coisas (IoT): principal base da Indústria 4.0, é a rede de objetos físicos, sistemas, plataformas e aplicativos com tecnologia embarcada para comunicar, sentir ou interagir com ambientes internos e externos. Essa tecnologia possibilita que um grande volume de dados seja gerado e processado com a interação entre o físico e o virtual, viabilizando melhores ações de comando e controle dos processos e objetos (FIRJAN, 2016).
- Internet dos serviços (IoS): são novos serviços e processos criados quando a rede da IoT funciona perfeitamente, os dados processados e analisados em conjunto fornecerão um novo patamar de agregação de valor. O progresso da Indústria 4.0 permite que o conceito da Internet dos Serviços extrapole os limites das fábricas e englobe toda a rede de produção e consumo (FIRJAN, 2016; RIBEIRO, 2019).
- Fábrica inteligente: são aquelas que adotam Internet das Coisas, a qual permite que máquinas e linhas de montagem se comuniquem, trabalhem em conjunto e se monitorem, independentemente do local, com informações trocadas instantaneamente (FIRJAN, 2016).

A cada uma delas os autores associaram seis características, já apresentadas anteriormente como os princípios da Indústria 4.0 e ilustradas na Tabela 5.

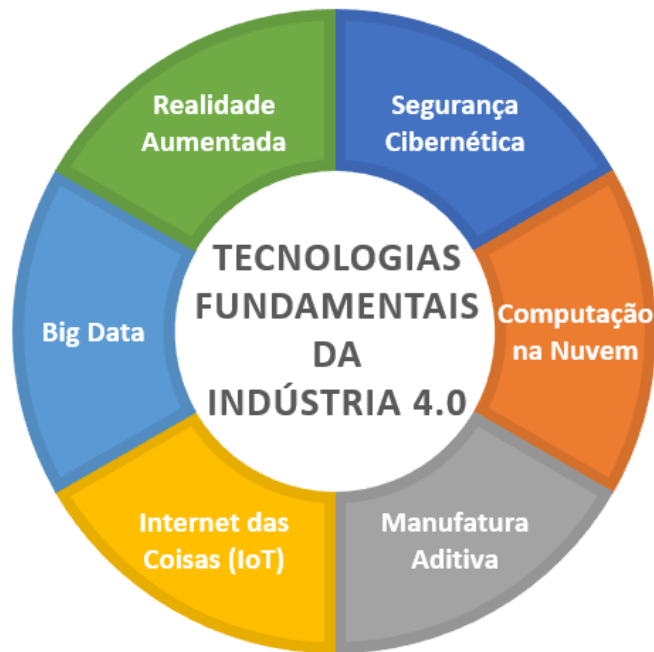
Tabela 5: Principais características das tecnologias envolvidas na Indústria 4.0

Características	Tecnologias			
	Sistemas ciber-físicos (CPS)	Internet das Coisas (IoT)	Internet dos serviços (IoS)	Fábrica Inteligente
Interoperabilidade	X	X	-	X
Virtualização	X	-	-	X
Descentralização	X	-	-	X
Capacidade de adaptação em tempo real	-	-	-	X
Orientação de serviço	-	-	X	-
Modularidade	-	-	X	-

Fonte: Hermann, Pentek, Otto (2015)

Segundo Hermann, Pentek, Otto (2015), algumas tecnologias não devem ser consideradas exclusivamente da Indústria 4.0, pois foram certificadas nas “revoluções” anteriores, como, por exemplo, a comunicação máquina para máquina (M2M), *big data* e a computação em nuvem. Entretanto, essas tecnologias são consideradas *habilitadoras* da Indústria 4.0. Já Souza (2018) considera como os principais pilares para a formação da Indústria 4.0 os apresentados na Figura 9.

Figura 9: Tecnologias fundamentais da Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Souza (2018)

A computação em nuvem é outro conceito da IoT, que se baseia em armazenar e processar dados na rede, não necessitando de um meio físico e podendo ser acessado de qualquer lugar do mundo em tempo real através da internet (SILVA, A., 2018). O Big Data consiste em softwares e práticas que gerenciam e analisam grandes volumes de dados, de diferentes fontes, em alta velocidade (SILVA, A., 2018). A Inteligência Artificial (IA) é uma das formas de se atingir essa alta velocidade de processamento, por reduzir o tempo de processamento de tarefas por meio do machine learning, na qual a máquina acumula dados e se baseia neles para otimizar processos futuros (FIRJAN, 2016). Segurança Cibernética são meios de troca de dados cada vez mais confiáveis, sofisticados e necessários para atender a maior conectividade e digitalização de dados gerados pela Indústria 4.0 (PEREIRA e SIMONETTO, 2018). A robótica e a automação possuem uma parcela bastante considerável na definição da Revolução 4.0, visto que essas duas áreas vêm ganhando força em diversos setores nestes últimos anos (PORTO; KADLEC, 2018).

2.4.3 INDÚSTRIA 4.0 NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil amplamente utilizada no Brasil ainda é predominantemente manual e artesanal e o nível de industrialização não é tão presente comparado a outros setores, como o automotivo. O envolvimento de diversos agentes no processo construtivo aliado às

condições de ambientes externos e intempéries possuem grande influência no processo construtivo, o que dificulta a inclusão na construção civil com a robótica e a automação (PORTO; KADLEC, 2018). Outra dificuldade encontrada é a resistência na adoção de novas tecnologias digitais por parte de empresas não conhecem ou estão desatualizadas em relação às inovações do mercado e por parte dos profissionais que não acreditam que não haveria retornos consideráveis e que justifiquem a mudança, principalmente das que necessitam de investimento inicial mais alto, mesmo que os benefícios de longo prazo sejam significativos (RIBEIRO, 2019). Apesar de apresentar potencial de ganho de produtividade e qualidade, a indústria da engenharia civil ainda não está inserida no cenário da Indústria 4.0 de forma satisfatória (TIMAFEJN, 2021). Segundo o estudo desenvolvido pela PwC Global (*PricewaterhouseCoopers*) em 2016, a ausência de cultura digital e de treinamentos específicos foi identificada como o maior desafio enfrentado pelas empresas de engenharia e construção em todo o mundo na implantação dos conceitos da indústria 4.0. O estudo constatou ainda que para que os ganhos de eficiência e produtividade proporcionados pelas novas tecnologias tecnológicas sejam efetivados, é necessário que os gestores tracem planos de validação dessas tecnologias com suas equipes e definam os resultados esperados.

Novas tecnologias já são utilizadas na engenharia, mas ainda não são maioria na área ou são pouco difundidas. Suas implementações enfrentam obstáculos, pois muitas empresas, ainda enraizadas em métodos tradicionais, necessitam mudar sua cultura empresarial, disponibilizar treinamentos para equipe e integrar a cadeia de suprimentos (TIMAFEJN, 2021). No entanto, para otimizar a produtividade na construção, muitas empresas estão incorporando soluções de colaboração digital e mobilidade de campo na sua rotina diária, sendo a maioria proveniente de startups de desenvolvimento de tecnologias, as quais criam inovações focadas na otimização de todo processo produtivo na construção, desde o projeto até o pós-obra (RIBEIRO, 2019). Gabriel, Amaral e Campos (2018) afirmam que para se utilizar equipamentos automatizados e robotizados na construção civil é necessário qualificar melhor a mão-de-obra e integrar a esta mão-de-obra com aquela especializada e com conhecimento da construção civil.

Timafejn (2021) aponta que, no cenário da indústria 4.0 e a nova era digital e globalizada, construtoras, empresas e indivíduos que não seguirem as tendências mundiais de modernização perderão competitividade no setor. Outra importante justificativa para a incorporação das práticas da indústria 4.0 na engenharia civil se dá pelo aumento na complexidade das edificações construídas, exigindo maior documentação, detalhamento, especificações, planejamento, gerenciamento, conhecimento de equipe e ferramentas compatíveis (TIMAFEJN, 2021). Ribeiro (2019) ressalta que a digitalização e o armazenamento de informações em nuvem oportunizam a melhora de um dos problemas

mais proeminentes da indústria da construção civil: a produtividade. Para o autor, o nível de digitalização e o compartilhamento de informações são dois importantes indicadores da produtividade de uma empresa, pois asseguram a transparência e integração da companhia, e a incorporação de novas tecnologias à rotina diária da empresa otimiza o processo produtivo ao longo de todas as etapas da construção, desde o projeto até o pós-obra (RIBEIRO, 2019).

Dentre os benefícios da Indústria 4.0 para a construção civil brasileira, foram citados pelo estudo da PwC Global, de 2016, a redução de custos, a redução dos riscos de acidentes de trabalho, a redução de prazos de entrega, a melhoria da qualificação profissional e a melhoria da qualidade da obra. Gabriel, Amaral e Campos (2018) também citam que a utilização dos sistemas automatizados e robotizados aumenta a velocidade de execução da obra e reduz desperdícios e riscos para o meio ambiente.

A adoção de práticas de Produção Enxuta (*Lean Production*) na construção civil, conhecidas como Construção Enxuta (*Lean Construction*), tem contribuído para o ingresso da construção civil na era da Indústria 4.0, devido aos conceitos de redução de desperdício, melhoria contínua, fluxo contínuo, dentre outros aspectos presentes na Produção Enxuta e que impactam os setores econômico, de qualidade, de gestão de pessoas e de sustentabilidade (VALENTE; AIRES, 2017).

A principal característica da Indústria 4.0 na construção civil está relacionada ao uso de novas tecnologias em campo (CAVALCANTI *et al.*, 2018). Para Ribeiro (2019), a aplicação da indústria 4.0 na Engenharia Civil é ampla e contempla desde a fase de planejamento até o pós-obra com a manutenção.

Segundo Porto e Kadlec (2018), atualmente observa-se o desenvolvimento de tecnologias nas diversas fases do ciclo de vida de um edifício: planejamento, pré-construção, construção, gerenciamento, uso e operação. Ainda de acordo com esses autores, entre os principais tipos de softwares que estão sendo desenvolvidos na engenharia civil estão os de modelagem 3D, automação de cronogramas, gerenciamento de materiais por meio da automação e robotização de estoques e canteiros de obra, acompanhamento de produtividade em tempo real, gerenciamento de equipamentos, controle de qualidade com inspeção remota, gerenciamento de contratos e documentos, monitoramento por meio de dashboards automatizados do progresso e da performance de atividades e etapas construtivas, acompanhamento da saúde e segurança dos trabalhadores. Porto e Kadlec (2018) destacam as ferramentas na área de planejamento e como a integração e digitalização dos diversos processos oferece benefícios como a redução de falhas, aumento de eficiência e produtividade.

Dentre os softwares desenvolvidos recentemente, os que têm mais aceitação no mercado são os que utilizam a plataforma BIM (*Building Information Modeling*) (SILVA, A.,

2018). O BIM compreende tecnologias e processos utilizados na produção, comunicação e análise dos modelos de construção, tornando a prática projetual mais integrativa e colaborativa entre os profissionais (ROCKER, 2021). A plataforma está fundamentada no princípio da interoperabilidade e desenvolvida para aumentar a compatibilidade dos projetos, possibilitando a elaboração de todas as etapas de projeto, bem como orçamentação, planejamento, acompanhamento de obra e manutenções, otimizando a produtividade e eliminando os erros de execução. Assim, os modelos são constituídos por informações compartilháveis e gerenciáveis ao longo de todo o ciclo de vida da edificação, tornando possível disponibilizá-las a todos os participantes do empreendimento e permitindo as tomadas de decisão de maneira colaborativa. (BARDUCCO, CONSTÂNCIO, 2019; RIBEIRO, 2019).

Além dos softwares, novas tecnologias que incorporam os conceitos da Indústria 4.0 estão sendo implementadas, como as impressoras 3D (também conhecida como manufatura aditiva), realidade aumentada, drones para levantamento de campo, tablets para controle e acompanhamento da obra em tempo real, medidores que transformam as medições em plantas e maquetes 3D e equipamentos robotizados, equipamentos de medição integrados à rede, equipamentos robotizados para utilização no canteiro de obras e estoque de materiais e estações topográficas computacionais (SILVA, A., 2018; ROCKER, 2021). Timafejn (2021) destaca a robótica e a automação dos processos construtivos com produções automatizadas, os quais estão presentes fora do canteiro (off-site), em fábricas de elementos pré-fabricados, e dentro do canteiro (on-site), com robôs destinados a atividades específicas.

Gabriel, Amaral e Campos (2018) sintetizam algumas tecnologias da construção civil relacionadas à automação e à robótica, como a utilização de georreferenciamento, veículos para construção de estradas e pavimentação orientados por GPS, de robôs demolidores operados por controle remoto, de sistemas de aspersão de água para controle de resíduos no ar, fábricas de processamento de detritos automáticas, a tecnologia BIM, a impressora 3D e recursos de realidade virtual.

Uma das novas tecnologias desenvolvidas é a utilização de sensores. Esses equipamentos podem ser aplicados em diversos locais e objetos físicos, de modo a permitir o acesso fácil a informações sobre seu comportamento, como monitoramento do funcionamento de máquinas e equipamentos, medição de temperaturas, umidade, consumo elétrico e hidráulico, carga de trabalho, tempo de atuação, entre outras medidas e informações. A combinação da Internet das Coisas com sensores permite acompanhar o funcionamento e comportamento de equipamentos e sistemas de forma constante e em tempo real e atualizado, permitindo acesso aos dados sobre praticamente todo o empreendimento de forma remota, simples e não presencial (TIMAFEJN, 2021).

Outra tecnologia com crescimento em uso na construção civil é o drone, também conhecidos como VANTs (Veículos Aéreos não tripulados) e que são uma classe de aeronaves pilotadas remotamente. Os drones possuem facilidade e versatilidade de locomoção, movendo-se na vertical e horizontal, e ainda podem atingir grandes alturas e distâncias. Eles podem levar consigo equipamentos como sensores infravermelhos, sensores térmicos, radares, lasers e câmeras, contribuindo com sua viabilidade e versatilidade. Dessa forma, podem ser utilizados para realizar inspeções, acompanhamento de obras, perícias e verificação de patologias em edificações (TIMAFEJN, 2021; GABRIEL; AMARAL; CAMPOS, 2018; RIBEIRO, 2019). Os drones, devido à capacidade de alcançar locais de difícil acesso, também têm sido empregados na coleta de imagens e dados de diversas etapas de obras, como na análise do lote e do entorno, no levantamento planialtimétrico do terreno, no acompanhamento da obra, com monitoramento em tempo real, na realização de inspeções e manutenções após a conclusão da construção (KADLEC; PORTO, 2018).

A manufatura aditiva, ou impressão 3D, e o uso de estruturas pré-fabricadas ou pré-moldadas também são exemplos de tecnologias vinculadas à indústria 4.0. Os métodos de fabricação da manufatura aditiva permitem a materialização de objetos oriundos de modelos digitais, expandindo as possibilidades de criação das estruturas, possibilitando a construção autônoma, reduzindo a dependência de mão de obra qualificada, oportunizando o acesso às áreas remotas e perigosas, promovendo a sustentabilidade por meio do aumento da racionalização do uso da matéria-prima, a redução dos custos e a alta previsibilidade de entrega do produto final (RIBEIRO, 2019; KADLEC, PORTO, 2018).

A Indústria 4.0 também pode ser relacionada com a segurança do trabalho na construção civil. Soares Júnior (2021) elenca as principais tecnologias para a melhoria da segurança do trabalho na construção, que são impressora 3D, drone, realidade aumentada, sensores vestíveis, colete de segurança, realidade virtual, exoesqueleto biônico, BIM, *Radio Frequency Identification* (RFID), capacete com sensores, capacetes inteligentes, Internet das Coisas e caminhão betoneira com sensores. Os drones, por exemplo, possibilitam a detecção de problemas causadores de acidentes, analisam a utilização correta dos equipamentos de proteção individual pelos colaboradores e viabilizam respostas rápidas a qualquer emergência (RIBEIRO, 2019; KADLEC, PORTO, 2018). Provenientes da Internet das Coisas, os sensores vestíveis são dispositivos que podem ser instalados nas roupas, capacetes ou acessórios capazes de avaliar diversas condições físicas e químicas, alertando o usuário ou um grupo de pessoas sobre diversos riscos e situações de perigo do canteiro de obras, como a frequência cardíaca, a temperatura corporal e a presença de substâncias tóxicas. Além disso, também são capazes de enviar sinais para os maquinários do seu entorno, prevenindo a ocorrência de acidentes (BARDUCCO, CONSTÂNCIO, 2019; KADLEC, PORTO, 2018).

2.4.4 INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A indústria 4.0 causou grandes impactos positivos na gestão de resíduos da construção, desde à relação com as novas tecnologias até o fornecimento de dados e implantação de novas técnicas capazes de minimizar a geração de RCC e auxiliar o gerenciamento (CAVALCANTI *et al.*, 2018).

Ribeiro (2017) afirma que o considerável volume de informações geradas pela utilização de tecnologias da Indústria 4.0 permitirá a rastreabilidade dos produtos, o que torna a reciclagem mais eficaz, uma vez que seria possível identificar cada componente do produto que poderá ser reutilizado. Dessa forma, a indústria 4.0 contribui para uma redução significativa de custos ocasionada pelo melhor aproveitamento dos produtos. Além disso, as ferramentas gerenciais da Indústria 4.0 podem reduzir as emissões de poluentes na atmosfera, possibilitando a implantação da indústria no meio urbano e conseqüentemente melhorias sociais pela proximidade dos locais de trabalho e redução no tempo de locomoção (RIBEIRO, 2017).

O estudo de Olugbenga *et al.* (2018) trata sobre a utilização da tecnologia BIM, uma das tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 na gestão de resíduos, no Reino Unido. Segundo os autores, as ferramentas de gerenciamento de resíduos existentes não são capazes de apoiar os profissionais da área nas práticas necessárias para minimização dos resíduos gerados e correto gerenciamento dos mesmos. Além disso, nenhuma das ferramentas de gerenciamento de RCC existentes são compatíveis com BIM (OLUGBENGA *et al.*, 2018).

Em relação às ações públicas, a adoção de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) traz vantagens para a comunicação de diferentes informações, como as relacionadas ao planejamento, fiscalização de geradores e de comunicação à população sobre serviços públicos de coleta seletiva (KLEIN; GONÇALVES-DIAS; JAYO, 2018).

Tratando de resíduos sólidos de maneira geral, Aragão Júnior *et al.* (2020) concluíram que, dentre os pilares da Indústria 4.0, os que possuem maior aplicação na gestão de resíduos sólidos são a integração de sistemas, o Big Data e a Internet das Coisas (IoT). Quanto à IoT aplicada aos resíduos sólidos, o estudo de Aragão Júnior e Oliveira Júnior (2021) lista algumas novidades implementadas na gestão desses resíduos que estão relacionadas à IoT. O estudo aponta que essa integração entre IoT e gestão de resíduos sólidos tem como foco a utilização de tecnologias de IoT para automatização de lixeiras, de forma que esta notifique o momento de realizar a coleta dos resíduos, possibilite a otimização das rotas até o destino final e aumente a eficiência desse gerenciamento. Os principais dispositivos utilizados para essa tecnologia são os sensores e as redes sem fio (ARAGÃO JÚNIOR; OLIVEIRA JÚNIOR, 2021). Essa tecnologia de lixeiras inteligentes, inclusive, já foi implantada em forma de teste em algumas cidades brasileiras, como Paulínia/SP e Itu/SP (BNDES, 2018).

Além do monitoramento de coleta de resíduos, Mavropoulos (2019) afirma que é possível monitorar a área destinada aos aterros sanitários utilizando drones automatizados, a partir de Sistemas Ciber-Físicos (CPS). O autor também apresenta outras aplicações da indústria 4.0 no setor de resíduos sólidos, as quais podem ser válidas para os resíduos da construção civil. Quanto à coleta e triagem de resíduos, Mavropoulos (2019) cita a utilização de veículo autônomo para coleta de resíduos, estações robóticas de triagem de resíduos, utilização de VANTS (drones) para fornecer informações a respeito de volumes de resíduos.

Segundo Liao *et al.* (2018), as ferramentas computacionais proporcionadas pela Indústria 4.0 favorecem o planejamento da gestão de resíduos da construção civil, uma vez que permitem escolher de forma adequada os materiais para construção e quantificá-los, possibilitando um planejamento assertivo na destinação desses resíduos e, conseqüentemente, reduzindo a geração de resíduos. Corroborando com essa ideia, Abbasi e Hanandeh (2016) afirmam que a projeção do volume gerado de resíduos sólidos, por meio da *Big Data Analytics* em paralelo com a Inteligência Artificial, é uma solução melhor em relação à utilização de dados históricos do setor e permite um planejamento adequado, que por sua vez acarretará no desenvolvimento adequado de infraestrutura, como aterros sanitários e unidades de processamentos.

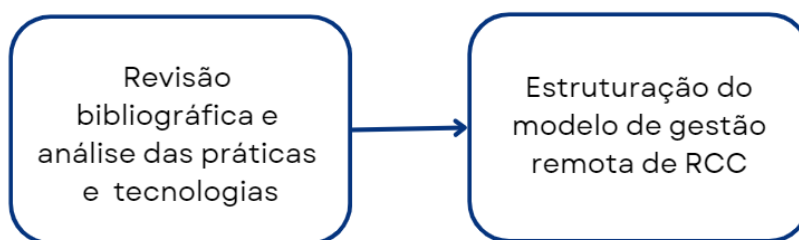
Em relação ao gerenciamento de resíduos, as novas tecnologias da Indústria 4.0 permitem que seja desenvolvido uma nova forma de gerenciar. Nesta forma, o planejamento da geração e gestão de resíduos pode ser feito de maneira mais eficaz, possibilitando reduzir ou eliminar os impactos negativos ainda na fase de projetos, antes da fase de execução, ao invés de buscar soluções apenas para etapa final do processo de geração de resíduos (MATEUS, 2019). No entanto, Santos, Lima e Borges (2020) destacam que a implementação de tecnologias provenientes da indústria 4.0 à gestão e o gerenciamento dos resíduos possuem como barreira o alto custo de aquisição e implementação das tecnologias.

3 Metodologia

O presente capítulo apresenta os materiais utilizados e a descrição dos métodos aplicados para atingir os objetivos previamente definidos neste trabalho. O trabalho fez uso da estratégia de pesquisa denominada Design Science Research, que consiste em um tipo de pesquisa construtiva e prescritiva, de abordagem pragmática, que tem como foco o desenvolvimento de um artefato, que no caso deste estudo, consistiu no desenvolvimento de um modelo. Os métodos utilizados foram, em sua maioria, qualitativos e o horizonte temporal pode ser classificado como longitudinal.

A Figura 10 apresenta a sequência de etapas metodológicas que foram realizadas para o desenvolvimento deste trabalho e que estão descritas nos itens seguintes.

Figura 10: Etapas metodológicas realizadas do trabalho



Fonte: Autor (2023)

A seguir, encontram-se detalhadas as etapas metodológicas que foram realizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1 ETAPA I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ANÁLISE DAS PRÁTICAS E TECNOLOGIAS

Inicialmente, para o desenvolvimento do modelo de gestão remota de RCC nos canteiros de obras de edificações, foi necessário realizar uma revisão bibliográfica sobre o assunto. Para tanto, foi feito um levantamento de bibliografias como teses, dissertações, artigos, jornais, livros, legislações e páginas da internet.

Nesta etapa, foram estudados, inicialmente, os conceitos e definições que envolvem os resíduos da construção civil, os indicadores de geração e a composição desses resíduos, bem como as legislações existentes e que devem ser atendidas durante o gerenciamento

desses materiais. Posteriormente, a busca por informações se deu em relação ao impacto da Covid-19 na construção civil. Essas informações foram utilizadas para entender quais atividades foram afetadas e em qual nível de impacto, para, posteriormente, analisar o que pode ser feito dentro da construção civil, e mais especificamente na área de gestão de resíduos, para minimizar esses impactos em possíveis circunstâncias semelhantes futuras. Em seguida, o foco foi levantar informações a respeito das práticas e tecnologias utilizadas para gestão e gerenciamento dos resíduos de construção, tanto no Brasil quanto no exterior. Por fim, buscou-se entender os conceitos e princípios da indústria 4.0, as tecnologias que estão relacionadas e sua interface com a construção civil.

Após a revisão bibliográfica, o trabalho consistiu em analisar as informações obtidas de forma a definir o que poderia ser utilizado em um modelo de gestão remota de RCC, quais práticas são interessantes para serem utilizadas nesse modelo, quais tecnologias podem ser aproveitadas. Essas informações serviram de base para a definição dos processos e dados de entrada e de saída do modelo, quais atividades de gestão seriam contempladas, qual o nível de detalhamento das mesmas, quais os responsáveis pela atualização das informações, com que frequência seria feita a atualização das informações, dentre outros itens.

Além disso, nesta etapa da pesquisa foram correlacionados os princípios da indústria 4.0 com a gestão de resíduos da construção civil, de forma a selecionar e incorporar ao modelo de gestão remota aqueles que possuíssem relação com o assunto. Todas essas questões foram definidas considerando as particularidades das obras de edificações.

3.2 ETAPA II – ESTRUTURAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO REMOTA DE RCC

Após o levantamento e análise das informações obtidas na etapa anterior, o trabalho buscou estruturar o modelo de gestão remota de RCC. Dessa forma, com base na primeira etapa, foram obtidas as principais diretrizes do modelo, sendo elas:

- Correlação dos princípios da indústria 4.0 ao modelo de gestão de remota de RCC;
- Levantamento das práticas de gestão e gerenciamento adequadas para o modelo;
- Levantamento das tecnologias aplicáveis ao modelo;
- Levantamento dos usuários envolvidos no modelo.

O modelo de gestão remota de RCC foi estruturado de forma a, futuramente, servir de base para a elaboração de uma ferramenta de gestão remota de RCC, a qual poderia ser incluída no sistema de apoio à gestão municipal dos RCC desenvolvido por Marques Neto

(2009), denominado SISRCD, na forma de um módulo para gerenciamento de RCC no canteiro de obras de edificações. Este sistema é uma ferramenta desenvolvida em ambiente web que tem como objetivo facilitar a aplicação dos princípios e métodos de gestão propostos na tese do autor.

Para melhor entendimento do modelo desenvolvido, foram elaborados fluxogramas de mapeamento dos processos envolvidos. Os fluxogramas também podem ser utilizados para codificar e programar a futura ferramenta de gestão remota de RCC.

4 Resultados e discussões

4.1 RELAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 COM A GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com o exposto, a construção civil tem grande potencial para desenvolvimento tecnológico devido à defasagem existente em relação aos outros setores e à necessidade de desenvolvimento frente às demandas de saúde dos trabalhadores, crescimento da construção e sustentabilidade. Os benefícios desse desenvolvimento tecnológico incluem a maior assertividade no planejamento e nas atividades realizadas no canteiro de obras, a maior eficiência nos processos produtivos, a otimização do uso de recursos materiais e humanos, acarretando em economia e a segurança dos trabalhadores.

Esse cenário de estímulo ao desenvolvimento de novas tecnologias também é encontrado na área de gestão de resíduos da construção civil. Já existem diversas tecnologias relacionadas à indústria 4.0 e aplicáveis na gestão de resíduos da construção civil, as quais estão resumidas e apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Relação de tecnologias da indústria 4.0 aplicáveis à gestão de RCC

Tecnologia	Aplicação na gestão de RCC
BIM	Compatibilização de projetos para evitar a geração de RCC, avaliação durante a etapa de projetos quanto à possibilidade de minimização do RCC gerado, planejamento da geração de RCC, avaliação da logística do canteiro de obras e gestão de RCC e gerenciamento do RCC em canteiro
Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC)	Comunicação de diferentes informações, como as relacionadas ao planejamento, fiscalização de geradores e de comunicação à população sobre serviços públicos de coleta seletiva
Lixeiras automatizadas com Internet das Coisas (IoT)	Monitoramento do volume de resíduos de forma a notificar o momento de realizar a coleta dos resíduos e otimizar as rotas até o destino final

Tecnologia	Aplicação na gestão de RCC
VANTs (drones) automatizados com Sistemas Ciber-Físicos (CPS)	Monitoramento e inspeções do canteiro de obras e de áreas de destinação de RCC (como aterros de RCC Classe A) em tempo real, com fornecimento de informações a respeito de volumes de resíduos, uso e fluxo de equipamentos de acondicionamento e transporte, coleta de imagens para análise do lote e entorno
Veículo autônomo robotizado e orientados por GPS	Coleta e transporte de resíduos
Estações/fábricas automatizadas/robóticas	Triagem e processamento de RCC
<i>Big Data Analytics</i> em conjunto com a Inteligência Artificial	Projeção da geração de RCC
Ferramentas computacionais com automação	Quantificação da geração de RCC, planejamento da gestão de RCC, automação de cronogramas, gerenciamento de RCC, gerenciamento de documentos
Realidade aumentada	Planejamento da logística de canteiro de obras quanto ao fluxo de RCC (locais de acondicionamento, trajetos para transporte interno e externo)
Georreferenciamento	Mapeamento a nível municipal de pontos de descarte de RCC e canteiros de obras
Equipamentos robotizados	Coleta e transporte de RCC
Sensores combinados com Internet das Coisas	Monitoramento de recipientes e equipamentos em tempo real
Manufatura Aditiva (Impressão 3D)	Materialização de objetos para criação de estruturas com características específicas, como recipientes e equipamentos

Fonte: Autor (2022)

Quanto aos princípios da indústria 4.0, alguns deles estão relacionados ao modelo de gestão remota de RCC desenvolvido por este trabalho. Essa correlação está apresentada na Tabela 7.

Tabela 7: Correlação dos princípios da Indústria 4.0 com modelo de gestão remota de RCC

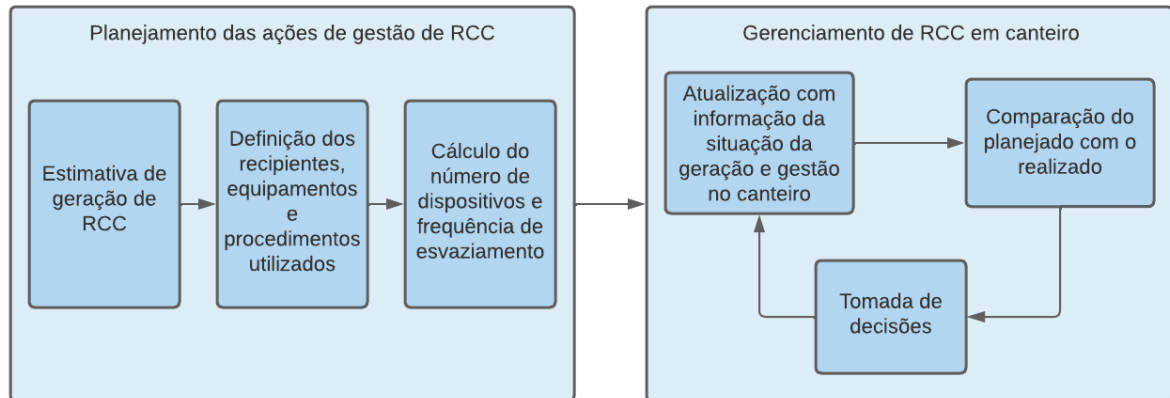
Princípio da Indústria 4.0	Aplicação no modelo de gestão remota de RCC
Virtualização	Modelo de gestão deve permitir realizar o acompanhamento e monitoramento remoto de todos os processos de gerenciamento de RCC no canteiro de obras
Descentralização	Alteração do local de tomada de decisão, inicialmente realizada em canteiro e futuramente realizada de forma remota/a distância e por mais de um profissional, por meio da virtualização
Adaptação em tempo real	Análise das atividades em tempo real e realizada de acordo com as entradas de informações feitas pelos profissionais presentes no canteiro ou por coletas de informações de forma automatizada (como câmeras e sensores)
Orientação a serviço	Disponibilização das informações referentes à determinada obra para todos aqueles com acesso permitido à ferramenta

Fonte: Autor (2022)

4.2 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO REMOTA DE RCC

A estruturação inicial do modelo baseou-se em uma divisão de dois processos: planejamento e gerenciamento, com suas atividades principais definidas de acordo com a Figura 11.

Figura 11: Atividades principais de cada processo do modelo de gestão remota de RCC



Fonte: Autor (2023)

O modelo foi idealizado de forma a abranger todos os princípios da Indústria 4.0, a fim de realmente fazer com que as práticas da construção acompanhem as tecnologias existentes e já presentes nas outras áreas de desenvolvimento. Em seguida, cada um dos processos será detalhado em relação as suas atividades, responsáveis, tecnologias e processos.

4.2.1 PLANEJAMENTO DAS AÇÕES DE GESTÃO

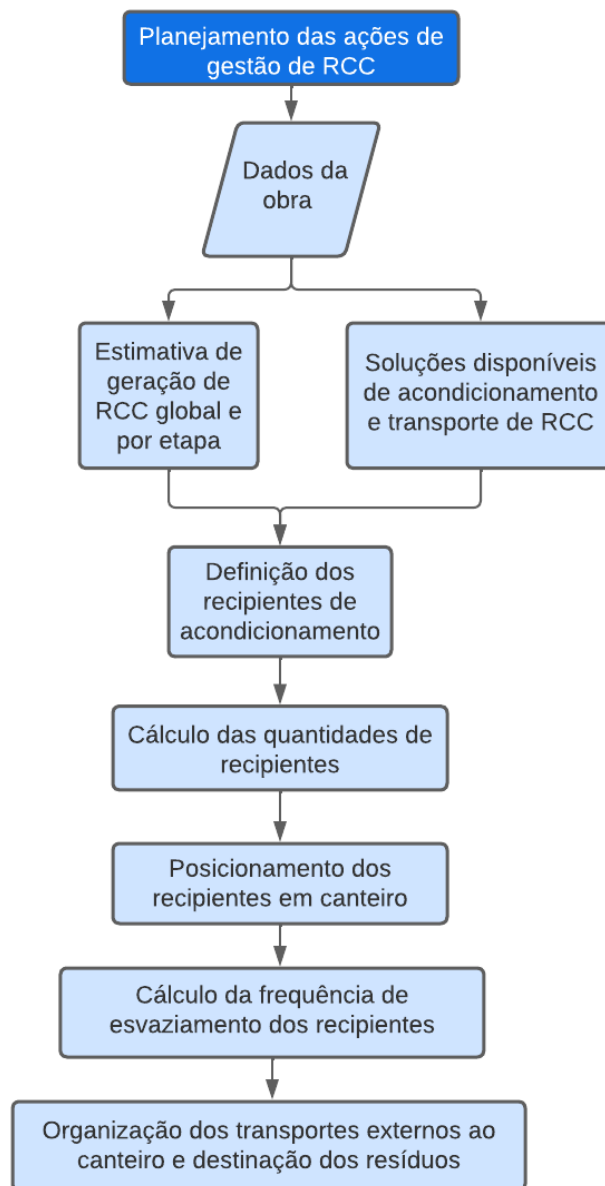
O processo de planejamento das ações de gestão de RCC deve ocorrer, idealmente, antes do início da obra. Deve ser realizado, preferencialmente, por engenheiros civis ou ambientais ou demais responsáveis por esse setor dentro da empresa. Por se tratar de uma atividade que antecede a execução da obra, pode ser desenvolvida fora do canteiro de obras, de forma remota.

No processo de planejamento, os responsáveis devem definir as soluções que serão utilizadas para o gerenciamento dos resíduos da obra em questão. É importante que sejam levantadas as soluções disponíveis para acondicionamento e transporte do RCC no canteiro de obras e sejam escolhidas as que melhor se adequem à situação específica da obra. Após a definição das soluções que serão adotadas, devem ser analisadas as questões de organização e gestão desses dispositivos no canteiro, o que deve incluir as quantidades de cada dispositivo e a locação desses no canteiro. Por fim, deve-se planejar a destinação final desses resíduos. Assim, deve ser feito um planejamento das ações a serem realizadas, como a frequência de esvaziamento dos recipientes e do transporte externo desses ao canteiro, com base no método desenvolvido por Vendramim (2021). A realização desses processos

atende à Resolução nº 307 do CONAMA, uma vez que estará contemplando as definições necessárias para as etapas de caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação. Essas são as informações que devem estar presentes no PGRCC, de acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA.

A Figura 12 apresenta o fluxograma de atividades existentes no processo de planejamento.

Figura 12: Atividades presentes no processo de planejamento das ações

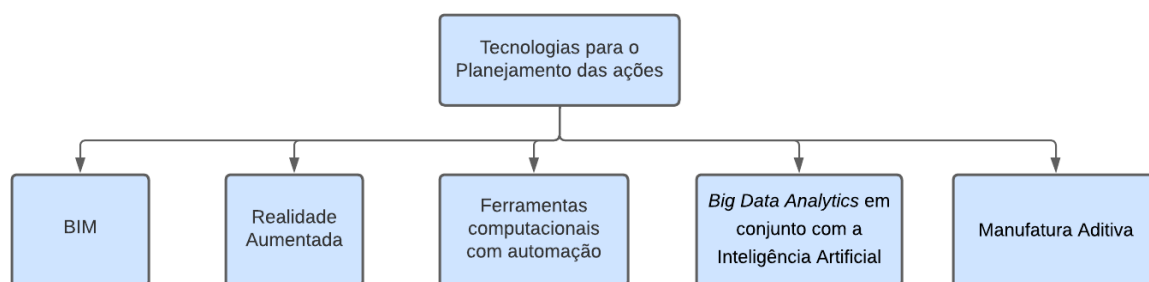


Fonte: Autor (2023)

O processo de planejamento tem como variáveis iniciais o sistema construtivo da obra, a metragem construída, o índice de geração de resíduos da obra, a composição dos resíduos gerados e o tempo de duração de cada etapa da obra. Já as variáveis resultantes são os tipos, as quantidades e as posições em canteiro dos recipientes de acondicionamento de cada tipo de resíduo gerado, as formas de transporte interno e externo ao canteiro e a frequência de esvaziamento de cada dispositivo.

Em relação ao emprego de tecnologias, é possível realizar esse processo utilizando informações de planejamento de obra, de geração de resíduos e de logística de canteiro provenientes de softwares com tecnologia BIM, de forma a automatizar parcialmente o processo. Também em relação à estimativa de geração de RCC, é possível criar sistemas que automatizem essas atividades com ferramentas computacionais com automação ou com *Big Data Analytics* em conjunto com a Inteligência Artificial ou que automatizem essas atividades. Outra tecnologia possível de ser utilizada é a realidade aumentada, por meio da qual pode ser realizar o planejamento da logística de canteiro de obras quanto ao fluxo de RCC (locais de acondicionamento, trajetos para transporte interno e externo). Além disso, a tecnologia da manufatura aditiva (impressões 3D) podem servir na materialização de objetos para criação de estruturas com características específicas, como recipientes e equipamentos. A Figura 13 apresenta um resumo das tecnologias disponíveis para serem utilizadas durante o processo de planejamento.

Figura 13: Tecnologias disponíveis para o planejamento das ações



Fonte: Autor (2023)

Quanto aos princípios da Indústria 4.0, o processo de planejamento contempla o princípio da descentralização, que consiste na alteração do local de tomada de decisão, inicialmente realizada em canteiro e futuramente realizada de forma remota/a distância e por mais de um profissional, e da orientação a serviço. Este último, trata da disponibilização das informações referentes à determinada obra para todos aqueles com acesso permitido à

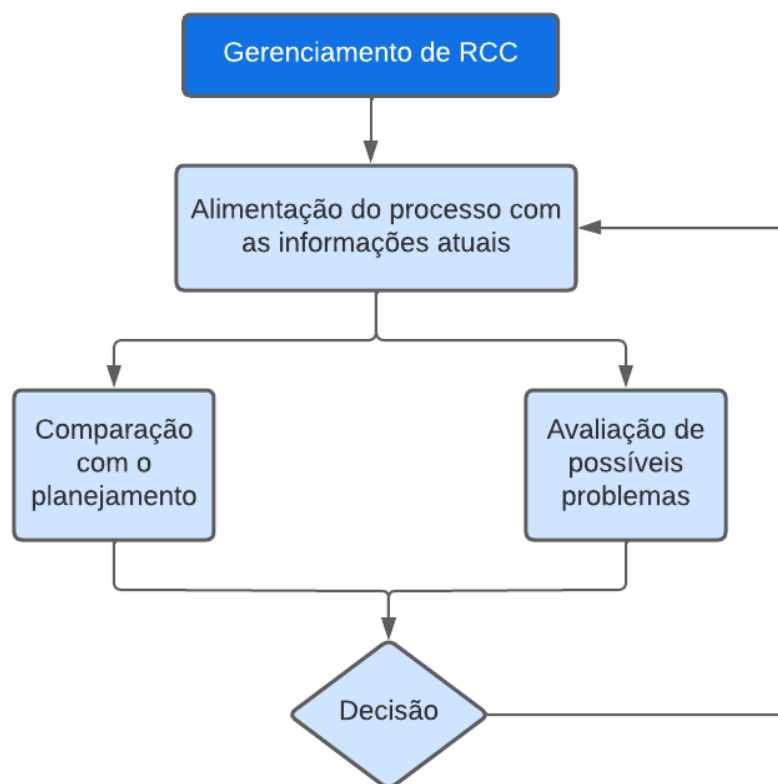
ferramenta. Nesse caso, com as ferramentas computacionais com automação ou com *Big Data Analytics* em conjunto com a Inteligência Artificial, é possível criar sistemas modernos, com acesso por todos os usuários permitidos e envolvidos no assunto.

4.2.2. GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS

O processo de gerenciamento é o que acontece após o início da obra e utilizando como base o planejamento feito anteriormente. Nessa etapa, o responsável deve controlar as atividades relacionadas ao acondicionamento e transporte dos resíduos dentro do canteiro, bem como acompanhar diariamente o manejo dos resíduos. Nesse sentido, o processo de gerenciamento é retroalimentado constantemente com as informações vindas do canteiro de obras e, por esse motivo, demanda de frequentes tomadas de decisões para manter a execução o mais próxima possível ao planejamento.

A Figura 14 apresenta o fluxograma de atividades existentes no processo de gerenciamento.

Figura 14: Atividades presentes no processo de gerenciamento de RCC

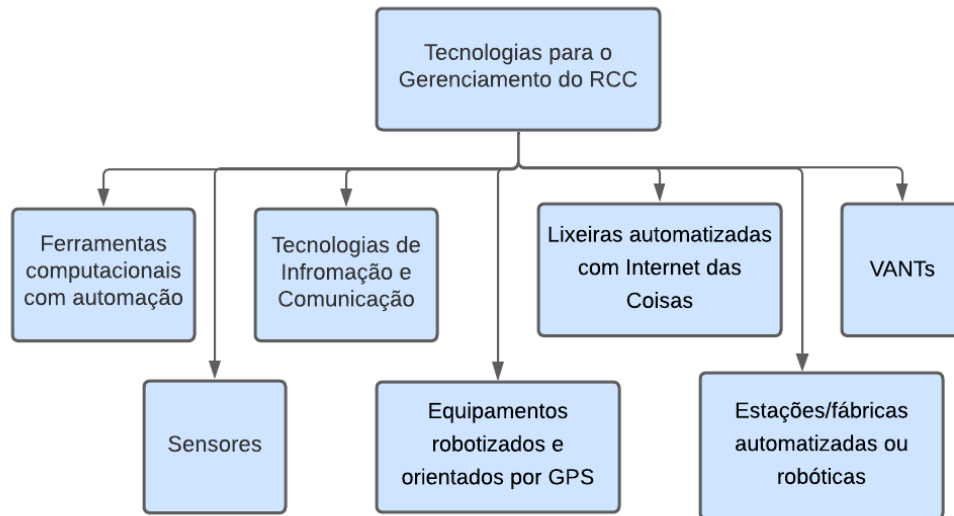


Fonte: Autor (2023)

É uma atividade que acontece durante a execução da obra e está totalmente interligada ao andamento da obra, o qual pode variar e se sofrer alterações em relação ao cronograma inicial. Dessa forma, depende de informações do canteiro para que possa acontecer. Assim, diferentemente do processo de planejamento, é algo difícil de ser realizado totalmente de forma remota. O que pode favorecer essa gestão remota e minimizar a dependência de informações de outros trabalhadores, que estejam presentes em canteiro, é a utilização de tecnologias.

Em relação às tecnologias que podem ser utilizadas nesse processo de gerenciamento, para a gestão por parte do profissional responsável existem as ferramentas computacionais com automação, que permitem o gerenciamento de documentos e das informações em determinadas etapas da obra, e as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), que permitem a comunicação entre o responsável remoto e trabalhadores presentes no canteiro. Para a redução da dependência de informações vindas de trabalhadores do canteiro, é possível utilizar sensores nos recipientes e equipamentos, de forma a monitorar o volume de resíduos. Também é possível utilizar lixeiras automatizadas com Internet das Coisas (IoT), que, além de monitorar o volume, notificam o momento de realizar a coleta dos resíduos. Outra forma de monitoramento consiste no uso de VANTs automatizados com Sistemas Ciber-Físicos (CPS), com os quais é possível monitorar e inspecionar o canteiro de obras em tempo real, com coleta de imagens para análise da situação. Para a coleta e transporte de RCC, as tecnologias que podem ser utilizadas são equipamentos robotizados e orientados por GPS. Por fim, também existem as estações/fábricas automatizadas/robóticas para triagem e processamento de RCC. A Figura 15 apresenta um resumo das tecnologias disponíveis para serem utilizadas durante o processo de planejamento.

Figura 15: Tecnologias disponíveis para o gerenciamento de RCC



Fonte: Autor (2023)

O processo de gerenciamento deve ser realizado, preferencialmente, por engenheiros civis ou ambientais ou demais responsáveis por esse setor dentro da empresa. Além do responsável pelo gerenciamento, é necessária a participação de um trabalhador presente em canteiro para passar a realizar a comunicação com o responsável pelo gerenciamento sobre as informações da situação atual dos resíduos, tomadas de decisões e mudanças de planejamento.

Em relação aos princípios da Indústria 4.0, o processo de gerenciamento de RCC proposto atende os quatro princípios, como pode ser observado a seguir.

- Virtualização: por meio das ferramentas computacionais com automação, são feitos sistemas que permitem realizar o acompanhamento e monitoramento remoto de todos os processos de gerenciamento de RCC no canteiro de obras;
- Descentralização: as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), bem como os sensores em recipientes e equipamentos, as lixeiras automatizadas com Internet das Coisas (IoT) e os VANTs automatizados com Sistemas Ciber-Físicos (CPS), possibilitam alterar o local de tomada de decisão, inicialmente realizada em canteiro e futuramente realizada de forma remota/a distância;
- Adaptação em tempo real: os sensores em recipientes e equipamentos e as lixeiras automatizadas com Internet das Coisas (IoT) permitem analisar as atividades em tempo real.

- Orientação a serviço: por meio das ferramentas computacionais com automação, é feita a disponibilização das informações referentes à determinada obra para todos aqueles com acesso permitido.

4.3 BASE PARA NOVA FERRAMENTA DE GESTÃO REMOTA DE RCC

De acordo com as informações levantadas na revisão bibliográfica, foram sintetizadas na Tabela 8 as ferramentas de gerenciamento de RCC analisadas de acordo com suas aplicações e funcionalidades.

Tabela 8: Resumo das aplicações e funcionalidades das ferramentas de gestão remota de RCC

Ferramenta/Autor	Gratuito?	Específico para RCC?	Funcionalidades de planejamento de gestão de RCC	Funcionalidades de gerenciamento de RCC
Ali et al. (2019)	*Ferramenta não encontrada	Sim	Escolha por Inteligência Artificial das técnicas de gestão de RCC melhor indicadas para a situação	Não possui
W3RESÍDUOS® de Abreu e Mendes (2016)	*Ferramenta não encontrada	Sim	Cadastro da empresa, empreendimento, funcionário responsável, transportador e destinatário. Inclusão dos resíduos gerados (tipos de resíduos, quantidade)	Emissão de MTR e geração de gráficos de volumes de resíduos transportados
REDRECK® de Ayres (2014)	*Ferramenta não encontrada	Sim	Cadastro da empresa, empreendimento, funcionário responsável, transportador e destinatário. Inclusão dos resíduos gerados (tipos de resíduos, quantidade)	Geração de gráficos e relatórios de volumes de resíduos gerados
NETResíduos® (2023)	Não	Não	Cadastro da empresa, empreendimento, funcionário responsável, transportador e	Emissão de MTR

Ferramenta/Autor	Gratuito?	Específico para RCC?	Funcionalidades de planejamento de gestão de RCC	Funcionalidades de gerenciamento de RCC
			destinatário. Inclusão dos resíduos gerados (tipos de resíduos, quantidade). Elaboração de PGRCC automático	
Vertown ® (2023)	Não	Não	Cadastro da empresa, empreendimento, funcionário responsável, transportador e destinatário. Inclusão dos resíduos gerados (tipos de resíduos, quantidade).	Emissão de MTR, controle do acondicionamento e transporte interno
Meu Resíduo ® (2023)	Não	Não	Inclusão dos resíduos gerados (tipos de resíduos, quantidade), planejamento dos recipientes de acondicionamento e do transporte interno	Emissão de MTR, controle do acondicionamento e transporte interno
ARQUIMEDES ® de MULTIPLUS ® (2023)	Não	Sim	Estimativa de geração de resíduos automática e vinculada ao módulo de gerenciamento e orçamento de obra, elaboração de PGRCC completo	Não possui
AMBISIS ® (2023)	Não	Não	Cadastro da empresa, empreendimento, funcionário responsável, transportador e destinatário. Inclusão dos resíduos gerados (tipos de resíduos, quantidade).	Emissão de MTR e CDF
Elo Cycle Construtoras ® de ELOVERDE ® (2023)	Não	Sim	Inclusão dos resíduos gerados (tipos de resíduos, quantidade)	Emissão de MTR, gerenciamento dos resíduos com

Ferramenta/Autor	Gratuito?	Específico para RCC?	Funcionalidades de planejamento de gestão de RCC	Funcionalidades de gerenciamento de RCC
				registros fotográficos
Gestão de Resíduos® por NG Informática® (2023)	Não	Não	Inclusão dos resíduos gerados (tipos de resíduos, quantidade)	Emissão de MTR, controle do acondicionamento e transporte interno
Exati® (2023)	Não	Não	Cadastramento georreferenciado de lixeiras, definição de rotas de transporte automatizadas	Monitoramento das lixeiras georreferenciadas sobre acondicionamento e movimentação
MTR – SINIR de BRASIL (2020b)	Sim	Não	Elaboração de PGRCC completo, com ações preventivas e corretivas e procedimentos de gerenciamento previstos	Emissão de MTR e CDF e acompanhamento da movimentação do resíduo

Fonte: Autor (2023)

É possível concluir, então que não existe atualmente uma ferramenta gratuita e com foco no gerenciamento de RCC em obras de edificações capaz de realizar tanto o planejamento da gestão de RCC no canteiro, apresentando opções de dispositivos de acondicionamento e transporte de RCC e facilitando a tomada de decisões, quanto o gerenciamento dessas ações práticas no canteiro de forma remota.

Em vista disso, com relação à futura ferramenta que pode ser desenvolvida, idealizou-se a ferramenta com cinco módulos principais:

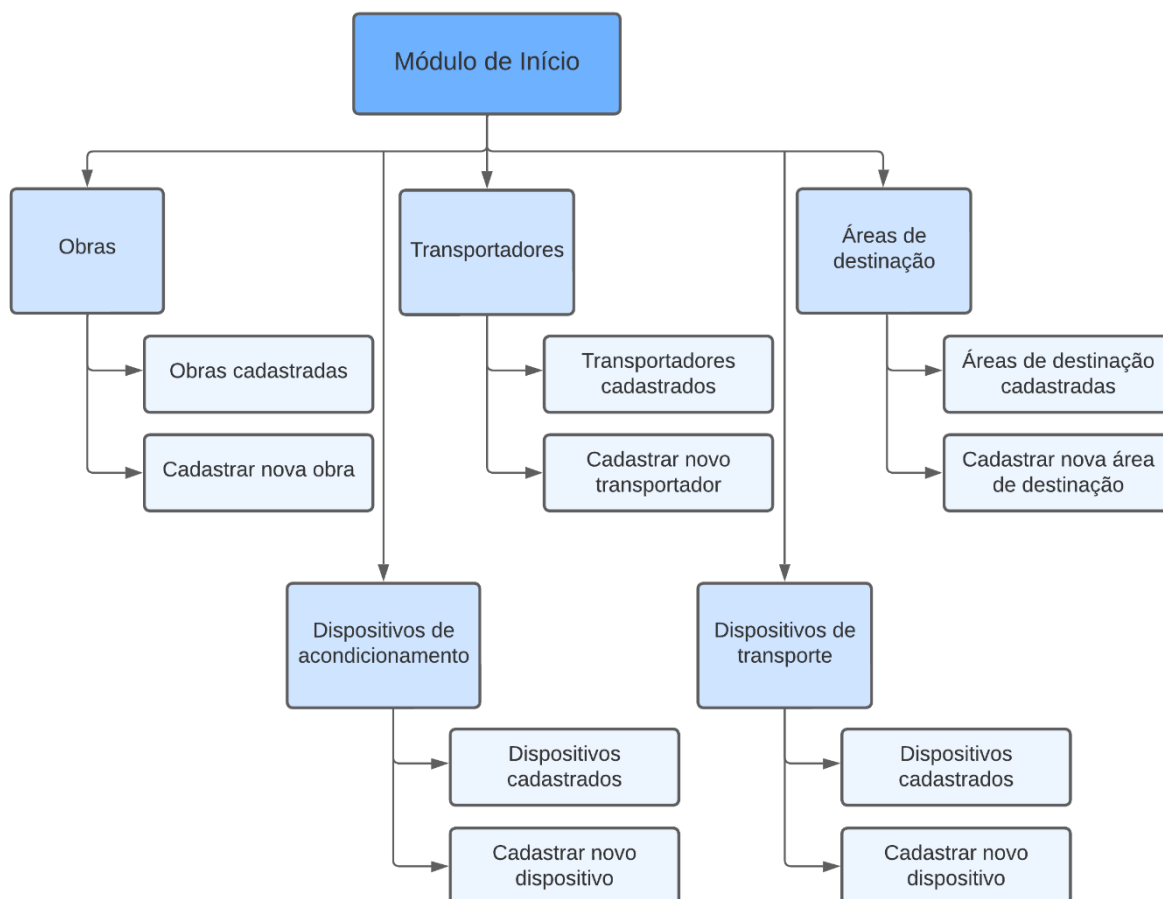
- Módulo de Início: acesso às obras, aos transportadores, às áreas de destinação, aos dispositivos de acondicionamento e dispositivos de transporte cadastrados;
- Módulo de Planejamento da gestão de RCC: caracterização da obra, caracterização quantitativa e qualitativa do RCC a ser gerado e gerenciado, dimensionamento de recipientes e equipamentos para manejo do RCC em canteiro, planejamento das áreas de destinação dos resíduos, emissão do relatório do diagnóstico;

- Módulo de Gerenciamento de RCC: monitoramento e análise das situações de acondicionamento, transporte e destinação do RCC;
- Módulo de Informações: *links* de acesso às principais legislações vigentes acerca dos RCC e que trazem informações pertinentes como classificação de RCC e práticas recomendadas para manejo de resíduos, dentre outras;
- Módulo de Contato: informações de contato dos responsáveis pela ferramenta.

4.3.1 MÓDULO DE INÍCIO

O módulo de início é destinado ao acesso e cadastro de obras, transportadores, áreas de destinação, dispositivos de acondicionamento e transporte. Seu funcionamento deve se dar de acordo com a Figura 16.

Figura 16: Módulo de Início da Ferramenta



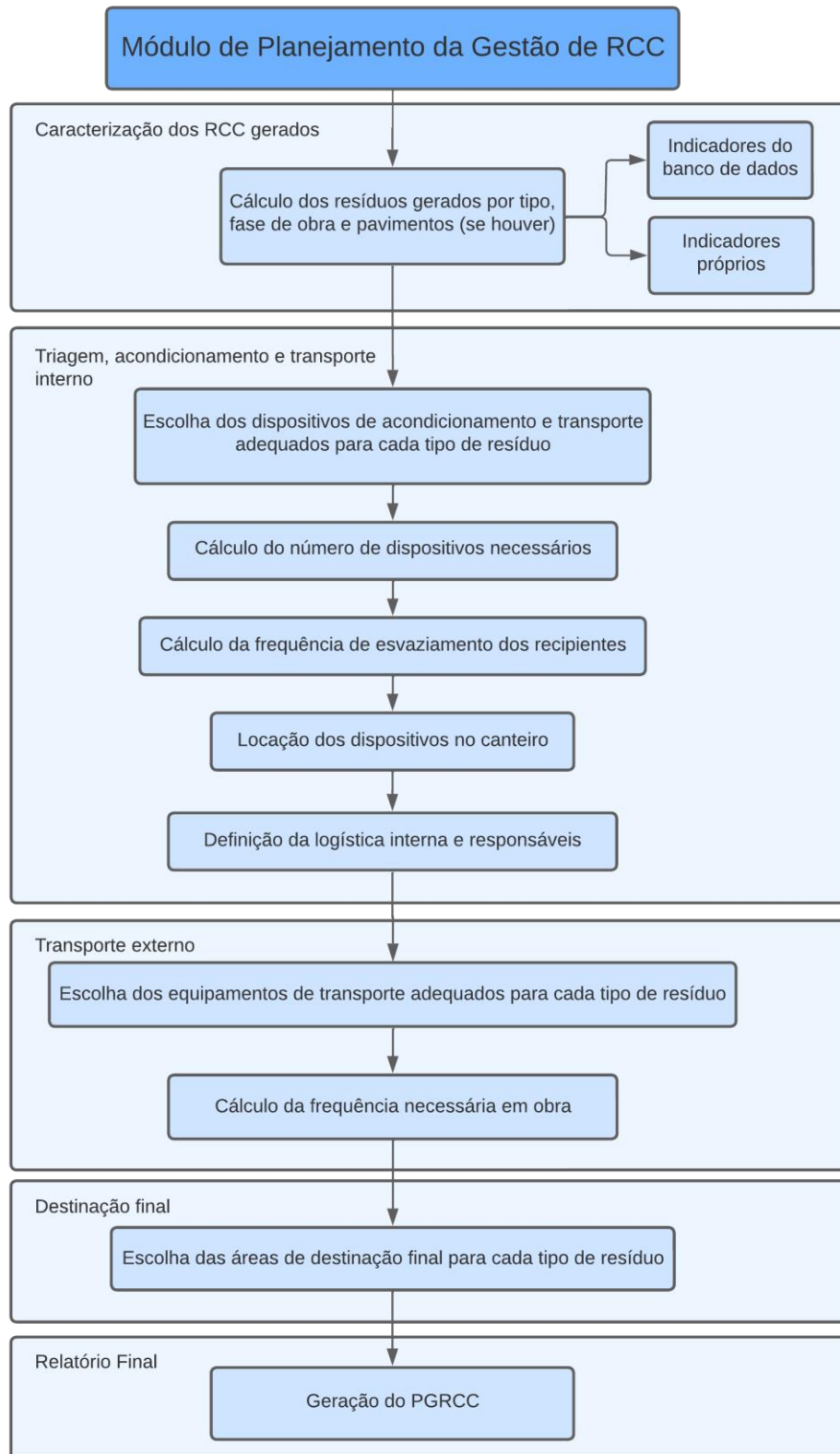
Fonte: Autor (2023)

No cadastro das obras, devem conter como informações o nome de identificação, o local da obra, a metragem de construção, o sistema construtivo utilizado, o indicador de geração de RCC próprio, se houver, e os responsáveis da equipe pelo gerenciamento. Nos cadastros dos transportadores, deve conter o nome de identificação, contato e tipos de resíduos transportados. No cadastro das áreas de destinação deve conter o nome de identificação, contato, endereço e tipos de resíduos recebidos. Os dispositivos de acondicionamento e transporte devem vir cadastrados os principais dispositivos existentes no mercado, listados por Vendramim (2021), juntamente com suas capacidades volumétricas e indicação de uso.

4.3.2 MÓDULO DE PLANEJAMENTO DA GESTÃO DE RCC

No módulo de planejamento da gestão de RCC, concentram-se todas as atividades referentes ao PGRCC, com as etapas solicitadas pela Resolução nº 307 do CONAMA, sendo elas: caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação final. O processo de caracterização, triagem e acondicionamento e transporte utilizado pela ferramenta deve ser o desenvolvido por Vendramim (2021). Este estudo possui um processo bem definido acerca dos cálculos de caracterização dos resíduos gerados, baseado em índices da literatura, tanto para volume global quanto por tipo de resíduo, por fase de obra e por pavimento. O estudo de Vendramim (2021) também compila as soluções de dispositivos de acondicionamento e transporte interno e externo de RCC mais comuns do mercado, indicando suas capacidades e indicações de uso de acordo com o tipo de resíduo. Com base nessas informações, devem ser escolhidos os dispositivos a serem utilizados para, posteriormente, calcular as quantidades necessárias de cada um, bem como a frequência de esvaziamento dos mesmos, ainda de acordo com o método de Vendramim (2021). De posse dessas informações, é possível definir as posições desses dispositivos em canteiro e, assim, a logística interna dos resíduos da construção civil dentro do canteiro, com rotas e responsáveis pelo manejo dos resíduos. Em seguida, é necessário avaliar as opções de transporte externo e destinação final disponíveis para selecionar as adequadas para cada tipo de resíduo. Por fim, a ferramenta poderá gerar o documento do PGRCC com as informações resultantes. A Figura 17 sintetiza o processo de planejamento proposto para ser desenvolvido pela ferramenta.

Figura 17: Módulo de Planejamento da Ferramenta



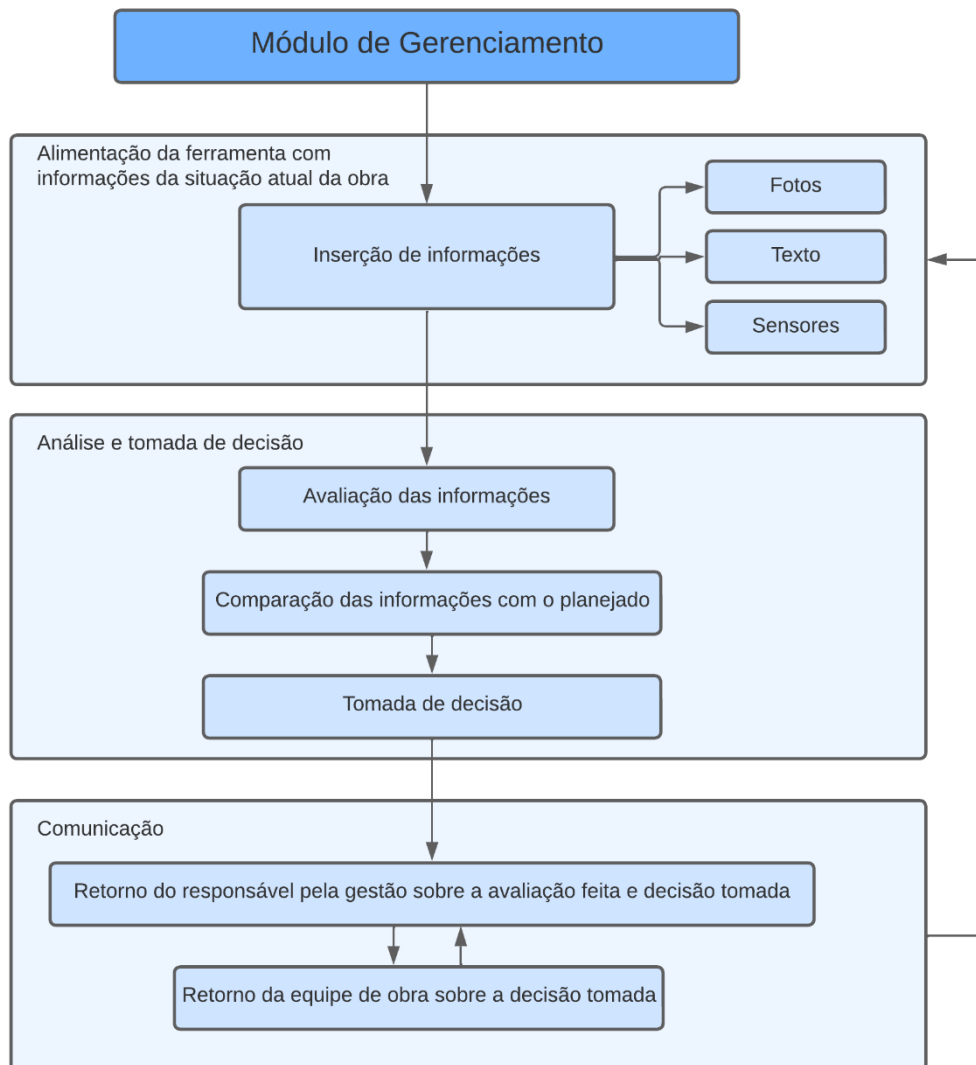
Fonte: Autor (2023)

Assim, para o planejamento da gestão de RCC, os dados de entrada são a área da edificação a ser construída, o indicador de geração utilizado, caso o usuário já possua e queira utilizar, os tipos de dispositivos de acondicionamento e transporte que serão utilizados e possíveis limitantes de gestão, como frequência máxima de esvaziamento dos dispositivos e número de recipientes. Os dados de saída são as informações de número e tipos de recipientes de acondicionamento utilizados, número e tipos de equipamentos de transporte utilizados e frequência de esvaziamento dos dispositivos.

4.3.3 MÓDULO DE GERENCIAMENTO DE RCC

No módulo de gerenciamento de RCC, o foco é a alimentação da ferramenta com a situação atual da obra em relação aos resíduos da construção civil, a análise do profissional responsável pela gestão remota e a comunicação deste profissional com a equipe de obra responsável pelo manejo in loco. As informações a serem comunicadas se referem ao preenchimento/esvaziamento dos recipientes de acondicionamento, à realização do transporte interno e externo e possíveis dificuldades ou dúvidas no manejo. Essa alimentação pode se dar de forma manual ou automatizada em algum nível. A alimentação de modo manual seria quando a equipe in loco detalha manualmente a situação dos RCC, podendo ser por meio de registros fotográficos e/ou textos. Já de forma automatizada pode ser com sensores nos recipientes, com uso de VANTs, com uso de câmeras e outras tecnologias. Em ambas as formas, o profissional responsável pela gestão deve analisar as informações avaliadas e tomar decisões em relação à situação, seja de validar as ações feitas em canteiro ou indicar mudanças nos processos. Esse processo deve ocorrer de forma cíclica, ou seja, os colaboradores presentes em obra devem fazer o relato da situação dos resíduos de acordo com a frequência pré-definida no planejamento e também sempre que houver algum problema com o manejo. A Figura 18 sintetiza o processo de gerenciamento proposto para ser desenvolvido pela ferramenta.

Figura 18: Módulo de Gerenciamento da Ferramenta



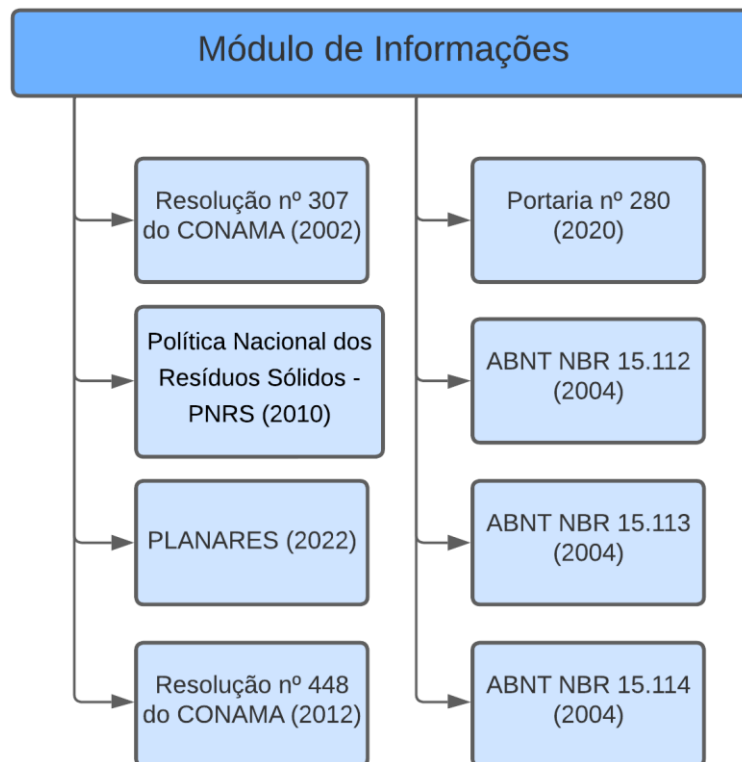
Fonte: Autor (2023)

Assim, no gerenciamento de RCC, os dados de entrada serão as informações colhidas pelos funcionários presentes em canteiro e inseridas na ferramenta nos campos adequados e também as informações obtidas de forma automatizada, como sensores e câmeras. Nesta etapa, portanto, haverá uma comunicação pela ferramenta entre usuários da mesma: os funcionários que estarão presencialmente nos canteiros e os gestores que irão dar suporte aos primeiros, tomar as decisões necessárias e solucionar possíveis problemas. Os dados de saída dessa etapa serão as próprias decisões e análises feitas pelo gestor.

4.3.4 MÓDULO DE INFORMAÇÕES

No módulo de informações, devem estar *links* de acesso para as principais legislações brasileiras acerca dos resíduos da construção civil, as quais são as responsáveis por definir informações importantes como classificação de RCC, locais de acondicionamento e destinação final de resíduos e práticas recomendadas para manejo de resíduos. A Figura 19 cita as principais legislações contidas no módulo de forma a facilitar a consulta às mesmas.

Figura 19: Módulo de Informações da Ferramenta



Fonte: Autor (2023)

4.3.5 MÓDULO DE CONTATO

O módulo de contato da ferramenta deve conter as informações de contato dos responsáveis pela ferramenta, de forma a viabilizar a comunicação em caso de problemas do usuário na utilização da ferramenta.

5 Conclusões

A realização deste estudo teve como objetivo principal desenvolver um modelo de gestão remota de resíduos da construção civil, com foco em obras de edificações, com o intuito de incorporar à gestão de resíduos os conceitos e tecnologias da Indústria 4.0, permitindo a evolução tecnológica da construção civil e a adaptação dessa indústria à cenários extremos, como foi o caso da pandemia de COVID-19. Conforme o exposto ao longo desta pesquisa, pode-se considerar que os objetivos propostos para o estudo foram alcançados. O modelo de gestão proposto engloba princípios e tecnologias da Indústria 4.0 em toda sua extensão e, se aplicado em conjunto com as tecnologias propostas, é capaz de proporcionar o gerenciamento do RCC de forma remota ao canteiro de obras.

Assim como as particularidades de cada obra, construtora e local de construção devem ser levados em consideração para adequação do método de gestão a ser utilizado, percebe-se que o nível tecnológico envolvido também é um dos determinantes para o método de gestão. Sem a utilização de tecnologias modernas, como sensores em recipientes, Internet das Coisas, VANTs, câmeras, ferramentas computacionais automatizadas, dentre outras, a gestão dos RCC se torna extremamente dependente da comunicação com trabalhadores presentes em canteiro ou ainda da visita do gestor responsável pelo gerenciamento de RCC no próprio canteiro. Dessa forma, a gestão não é feita de forma remota. Além dos processos utilizados, as tecnologias empregadas determinam o quão remota uma gestão pode ser.

Entende-se, portanto, que o ponto chave para o emprego da gestão remota de RCC é o uso de tecnologias. No entanto, esse ponto esbarra em algumas questões conhecidas da construção civil como a predominância de práticas arcaicas em relação aos processos construtivos, à resistência em utilização de novas tecnologias, à falta de interesse em investimentos em tecnologia e à baixa qualificação da mão de obra.

Outra conclusão importante refere-se às ferramentas de gestão remota de RCC. Na pesquisa bibliográfica realizada, não foram encontradas ferramentas gratuitas, com foco específico em RCC e que tivessem funcionalidades tanto de gestão quanto de gerenciamento de RCC em obras. Dessa forma, com base no modelo de gestão remota de RCC desenvolvido, foram elaborados fluxogramas referentes a uma possível ferramenta de gestão remota que pode ser desenvolvida e que tenha como funcionalidades os princípios e processos idealizados no modelo.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para pesquisas futuras, sugere-se a validação com empresas do setor da construção civil com foco em obras de edificações sobre o modelo de gestão remota desenvolvido, bem como das tecnologias passíveis de serem utilizadas. Dessa forma, pode ser analisada a real possibilidade de inclusão dessas tecnologias em canteiro e, conseqüentemente, possibilitar essa efetiva gestão remota do RCC.

Para a ferramenta proposta, sugere-se que, após ser efetivamente codificada e programada, seja aplicada em estudos de casos de obras de edificações, a fim de identificar sua efetividade no que se propõe e detectar pontos falhos. Além disso, sugere-se incluir a ferramenta ao sistema do SISRCD, sistema já existente e desenvolvido por Marques Neto (2009), para tanto os resíduos de construção civil no âmbito municipal quanto no âmbito dos canteiros de obras.

Referências

ABBASI, M.; HANANDEH, A. E. Forecasting municipal solid waste generation using artificial intelligence modelling approaches. **Waste Management**, v. 56, p. 13-22, 2016.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2022. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso em: 20 abril 2023.

ABREU, G. R. DE O.; MENDES, T. A. Software para gestão de resíduos sólidos da construção civil. **Revista Tecnia**, v. 1, n. 2, 2016.

AECWEB. Portal AEC web: Arquitetura, Engenharia e Construção. **Como o uso de robôs na construção pode gerar mais produtividade e segurança?** Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/como-o-uso-de-robos-na-construcao-pode-gerar-mais-produtividade-e-seguranca/21093>>. Acesso em: 20 maio. 2021.

ALI, T. H.; AKHUND, M. A.; MEMON, N. A.; MEMON, A. H.; IMAD, H. U.; KHARO, S. H. Application of Artificial Intelligence in Construction Waste Management. **Proceedings of 2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management**, p. 50–55, 2019.

ALSHAREF, A.; BANERJEE, S.; UDDIN, S. M.; ALBERT, A.; JASELSKIS, E. Early impacts of the COVID-19 pandemic on the United States construction industry. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 1559, 2021.

AMBISIS. **Site do AMBISIS: Gestão de Resíduos Sólidos**. [S.l.] Disponível em: <<https://ambisis.com.br/gestao-de-residuos-solidos/>>. Acesso em: 17 abril 2023.

AMOAHA, C.; SIMPEH, F. Implementation challenges of COVID-19 safety measures at construction sites in South Africa. **Journal of Facilities Management**, v. 19, n. 1, p. 111–128, 2021.

ARAGÃO JÚNIOR, W. R.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. I.; GUEDES, F. L.; SANTOS JÚNIOR, J. I. **Pilares da indústria 4.0 na gestão de resíduos sólidos: análise por meio de estudo bibliométrico**. Almeida, I. M. S., Guedes, F. L., Menezes, N. S. (Org.). Resíduos Sólidos: Gestão e tecnologia. Recife: EDUFRRPE/Gampe, Cap. 1, pp. 31-50. 2020.

ARAGÃO JÚNIOR, W. R.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. I. Internet das coisas na gestão de resíduos sólidos: revisão sistemática com análise bibliométrica da literatura: systematic review with bibliometric analysis of the literature. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 6, n. 3, p. 194-209, 2021.

ARAYA, F. Modeling the spread of COVID-19 on construction workers: An agent-based approach. **Safety Science**, v. 133, n. 105022, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.112: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes: Áreas de Transbordo e Triagem de RCD**. Rio de Janeiro, 2004.

_____ **NBR 15.113:** Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes: Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

_____ **NBR 15.114:** Resíduos sólidos da construção civil: Área de Reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

AYRES, P. H. F. **Etapas iniciais e fundamentais para desenvolvimento de um software de gestão de resíduos sólidos da construção civil.** 84 f. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto Lactec e Instituto De Engenharia Do Paraná, Curitiba, 2014.

BARDUCCO, A. P. S.; CONSTÂNCIO, B. M., **Indústria 4.0: Tecnologias Emergentes no Cenário da Construção Civil e suas Aplicabilidades.** Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019.

BELLO, T.; ÁVILA, S.; SENA, T.; ALVES, Y. **A resiliência na indústria da construção durante a crise da COVID-19.** Latin American Real Estate Society (LARES), 2021.

BERTOL, A. C.; RAFFLER, A.; SANTOS, J. P. **Análise da correlação entre a geração de resíduos da construção e as características das obras.** 2013. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BNDES - BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Cartilha de Cidades.** [S.I.], BNDES, 2018. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/db27849e-dd37-4fbd-9046-6fda14b53ad0/produto-13-cartilha-das-cidades-publicada.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m7tz8bf>> Acesso: 02 março 2022

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, Brasília, jul. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 20 maio 2021.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n.º 348, de 16 de agosto de 2004. Inclui o amianto na classe de resíduos perigosos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 ago. 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>>. Acesso em: 26 maio 2020.

BRASIL. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 03 ago 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 20 maio 2021.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n.º 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3.º da Resolução n.º 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. **Diário Oficial da União**, Brasília, 25 maio 2011. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>>. Acesso em: 26 maio 2020.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 448, de 18 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, jan. 2012. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=652#:~:text=%22%C2%A7%201%C2%BA%20Os%20res%C3%ADduos%20da,em%20%C3%A1reas%20protegidas%20por%20Lei.>. Acesso em: 20 abril 2023.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 469, de 29 de julho de 2015. Altera a Resolução CONAMA no 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, Brasília, jul. 2015. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=688>. Acesso em: 20 abril 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Como se proteger da COVID-19**. Disponível em: <<https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca#como-se-proteger>>. 2020a. Acesso em: 26 abr. 2021.

BRASIL. Portaria nº 280, de 29 de junho de 2020. Regulamenta os arts. 56 e 76 do Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, e o art. 8º do Decreto nº 10.388, de 5 de junho de 2020, institui o Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR nacional, como ferramenta de gestão e documento declaratório de implantação e operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos, dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos e complementa a Portaria nº 412, de 25 de junho de 2019. **Diário Oficial da União**, Brasília, jun. 2020b. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-280-de-29-de-junho-de-2020-264244199>>. Acesso em: 20 abril 2023.

BRASIL. Decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022. Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, abril. 2022. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-11.043-de-13-de-abril-de-2022-393566799>>. Acesso em: 20 abril 2023.

CABRAL, A. E. B.; MOREIRA, K. M. V. **Manual de Gestão dos Resíduos Sólidos**. Fortaleza: SindusCon-CE, 2011.

CAMARGO, E. B. **Desempenho financeiro de empresas do setor da construção civil durante o período da pandemia de COVID-19 através da análise fundamentalista**. Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais. 2021.

CAVALCANTI, V. Y. S. L.; SOUZA, G. H.; SODRÉ, M. A. C.; ABREU, M. S.D., MACIEL, T. S., SILVA, J. M. A. Indústria 4.0: Desafios e Perspectivas na Construção Civil. **Revista Campo do Saber**, Vol. 4 – N. 4, p. 146 – 158, ago./ set. 2018.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Startup cria plataforma de gerenciamento de resíduos**. 2018. Disponível em: <<https://cbic.org.br/startup-cria-plataforma-de-gerenciamento-de-residuos/>>. Acesso em: 17 maio. 2021.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Cartilha de recomendações para o ambiente de trabalho na indústria da construção**. 2020. Disponível em: <<https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2020/04/Cartilha-CBIC-Novo-Coronavirus-1.pdf>>.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Informativo Econômico**. 2021a. Disponível em: <<https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2021/05/informativo-economico-caged-abril-2021.pdf>>. Acesso em: 08 abril 2022.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Informativo econômico**. 2021b. <<https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2021/07/informativo-economico-importanciaconstrucao-civil-final-julho-2021.pdf>> - Acessado em: 05 de março de 2022.

CHUNG, 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.

CÓRDOBA, R. E. **Estudo do Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos de Construção e Demolição do Município de São Carlos-SP**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

DA COSTA, R. V. G. **Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa**. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

ELOVERDE. **Site da Eloverde: Construtoras**. [S.I.] Disponível em: <<https://eloverde.com.br/builders/>>. Acesso em: 19 abril 2023.

EUROPEAN UNION – EU. **Construction and Demolition Waste Management**, 2015. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/mixed_waste.htm#workshop>. Acesso 20 março 2022.

EUROPEAN UNION – EU. **Construction and Demolition Waste (CDW)**, jun. 2016. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm> Acesso 20 março 2022.

EXATI. **Site do Blog Exati: Gerenciamento de Resíduos**. [S.I.] Disponível em: <<https://blog.exati.com.br/gerenciamento-de-residuos/>>. Acesso em: 19 abril 2023.

FIESP. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Avanços nas condições habitacionais e demanda futura por moradias**. 2018. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/observatoriodaconstrucao/noticias/avancos-nas-condicoes-habitacionais-e-demanda-futura-por-moradias/#:~:text=No>>. Acesso em: 16 maio. 2021.

FIRJAN. **Indústria 4.0 – Panorama da Inovação**. Cadernos SENAI de Inovação, abril 2016.

FRIEDEMANN, E. S. **Diagnóstico de sistema de Gerenciamento de resíduos de construção civil em obras de construtoras de pequeno porte**. Monografia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2016.

GABRIEL, J. C.; AMARAL, M. A.; CAMPOS, G. M. Automação e robótica na construção civil. In: **Brazilian Technology Symposium**, São Paulo–SP. 2018. p. 1-7.

GÁLVEZ-MARTOS, J. L.; STYLES, D.; SCHOENBERGER, H.; ZESCHMAR-LAHL, B. Construction and demolition waste best management practice in Europe. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 136, p. 166–178, 2018.

GOUVEIA *et al.* Composição gravimétrica do resíduo produzido na construção de edificações residenciais multifamiliar em Palmas (TO). **Congresso ABES FENASAN 2017**. Disponível em: < <http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletoPDF/III-113.pdf>>. Acesso em 20 dez 2020.

GUERRA, J. de S. **Gestão de Resíduos da Construção em Obras de Edificação**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Recife, 2009.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review**. Technische Universität Dortmund, 2015.

KLEIN, F. B.; GONÇALVES-DIAS, S. L. F.; JAYO, M. Gestão de resíduos sólidos urbanos nos municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: uma análise sobre o uso de TIC no acesso à informação governamental. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, p. 140-153, 2018.

KOFOWOROLA, O. F.; GHEEWALA, S. H. Estimation of construction waste generation and management in Thailand. **Waste Management**, v. 29, n. 2, p. 731-738, 2008.

LACHOWSKI, F. R. **Análise de acidentes de trabalho ocorridos na indústria da construção civil baseado em relatórios elaborados por auditores fiscais do trabalho**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), 2017.

LIAO, Y.; LOURES, E. R.; DESCHAMPS, F.; BREZINSKI, G.; VENÂNCIO, A. **The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison**. *Production*, v. 28, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132018000100401&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 25 março 2022

LIMA, F. R.; GOMES, R. Conceitos e tecnologias da Indústria 4.0: uma análise bibliométrica. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 19, 2020.

LIMA, R. S.; LIMA, R. R. R. **Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil**. Série de Publicações Temáticas do Crea-PR. Curitiba: Crea, 2009.

LOWEN, Elisa Margareth; NAGALLI, André. Pequenos geradores de resíduos da construção civil: prefeituras municipais e a disponibilização de informações. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 15, p. 43-50, 2020.

MANN, D. C. A.; NAGALLI, A.; CARVALHO, K. Q. Conformidade de sistemas de gerenciamento de resíduos da construção civil. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 9, n. 19, 2020.

MARQUES NETO, J. C. **Diagnóstico para estudo da gestão dos resíduos de construção e demolição do município de São Carlos - SP**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

MARQUES NETO, J. C. **Estudo da Gestão Municipal dos Resíduos de Construção e Demolição na Bacia Hidrográfica do Turvo Grande (UGRHI-15)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009.

MATEUS, V. A. C. B. **Otimização da gestão de resíduos sólidos na construção civil por meio de modelagem matemática aplicando a tecnologia BIM**. Dissertação. Universidade Federal do Amazonas. 2019.

MAVROPOULOS, A. (Org). **How industry 4.0 transforms the waste sector**. [S.l.]: International Solid Waste Association – ISWA, Out. 2019. Disponível em: <https://www.iswa.org/index.php?eID=tx_iswaknowledgebase_download&documentUId=5235> Acesso em: 07 março 2022

MEURESÍDUO. **Site do meuResíduo: Página inicial**. [S.l.] Disponível em: <https://meuresiduo.com/?gclid=CjwKCAjwqliFBhAHEiwANg9szhThMAC6QQaHtoFh5jqjI17bt4tj95cbkBYKNYbACK29EhndiCjrCBoCXJwQAvD_BwE>. Acesso em: 19 abril 2023.

MORAES, F. T. F.; LIMA, J. P.; LIMA, R. S. Logística reversa de resíduos de construção civil: os oportunidades e desafios em diferentes países. **XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Enegep, Joinville, SC, Brasil. 2017. https://doi.org/10.14488/enegep2017_tn_sto_248_433_34119, 2017.

MULTIPLUS. **Módulo do ARQUIMEDES: Gestão de Resíduos da Construção Civil**. [S.l.] Disponível em: <<https://multiplus.com/software/arquimedes/modulos-e-recursos/residuos-da-construcao.html>>. Acesso em: 19 de abril de 2023.

NAGALLI, A. The sustainability of Brazilian construction and demolition waste management system. **The Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 18, p. 1755-59, 2013.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. Curitiba: Editora Oficina de Textos, 2014.

NETRESÍDUOS. **Site do NETResíduos: Página Inicial**. [S.l.] Disponível em: <<https://www.netresiduos.com.br/>>. Acesso em: 17 abril 2023.

NITIVATTANANON, V.; BORONGAN, G. Construction and Demolition Waste Management : Current Practices in Asia. **Proceedings of the International Conference on Sustainable Solid Waste Management**. Chennai, India, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268206184_Construction_and_Demolition_Waste_Management_Current_Practices_in_Asia>. Acesso em: 20 maio 2021.

NG INFORMÁTICA. **Site da NG Informática: Gestão de Resíduos**. [S.I.] Disponível em: <<https://www.ngi.com.br/gestao-de-residuos/>>. Acesso em: 19 abril 2023.

OGUNNUSI, M.; HAMMA-ADAMA, M.; SALMAN, H.; KOUIDER, T. COVID-19 pandemic: the effects and prospects in the construction industry. **International Journal of Real Estate Studies (INTREST)**, v. 14, n. 2, p. 120–128, 2020.

OLUGBENGA, A.; LUKUMON, O.; SAHEED, A.; MUHAMMAD, B.; HAFIZ, A.; HAKEEM, O.; OMOLOLA, A. **Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment**. Elsevier. Journal of Cleaner Production 375-385, 2018.

PEDRO, T. M. N.; BARBOSA, B. B. Impactos do Novo Corona Vírus sobre o mercado da construção Civil. **Revista Eletrônica TECEN**, v. 14, n. 1, p. 33-39, 2021.

PEREIRA, L. L.; AZEVEDO, B. F. O Impacto da Pandemia na Construção Civil. **Boletim do Gerenciamento**, v. 20, n. 20, p. 71-80, 2020.

PEREIRA, A.; SIMONETTO, E. O. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, 2018.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção - estudo do uso em argamassas**. São Carlos 1986. 148 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Arquitetura e Planejamento, Universidade de São Paulo. 1986.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 218 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, T. P. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: A Experiência do SindusCon-SP**. São Paulo: SindusCon-SP, 2005.

PORTO, G. D. B. P.; KADLEC, T. M. D. M., **Mapeamento de Estudos Prospectivos de Tecnologias na Revolução 4.0: Um Olhar para a Indústria da Construção Civil**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

RECK, M. I.; OLIVEIRA, R.; NAGALLI, A. Comparativo de gerenciamento de resíduos de construção: estudo de caso em canteiros de obra no Brasil. **ANAIS da 9ª Reunião de Estudos Ambientais**, v. 1, p. 180-189, 2019.

RIBEIRO, J. M. **O conceito da indústria 4.0 na confecção: Análise e implementação**. 2017. 82f. Dissertação de Mestrado - Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Guimarães, 2017.

RIBEIRO, D. A. **Tecnologias advindas da Indústria 4.0 aplicada na construção civil: efeitos e desafios da implantação no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

RÖCKER, A. L. A. **O setor da construção civil e a quarta revolução industrial: entraves e oportunidades**. Monografia. Universidade Federal do Paraná. 2021.

ROCHA, L. B. G. da.; SARTI JUNIOR, L. A.; SERRA, S. M. B. Ações de enfrentamento à pandemia de covid-19 em duas construtoras do interior paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 12., 2021. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1–8. DOI: 10.46421/sibragec.v12i00.493. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/493>. Acesso em: 15 out. 2023.

SANTOS, M. C.; LIMA, T. P.; BORGES, A. C. G. **Indústria 4.0 na gestão integrada e gerenciamento de resíduos sólidos no município de São Carlos/SP**. Almeida, I. M. S., Guedes, F. L., Menezes, N. S. (Org.). **Resíduos Sólidos: Gestão e tecnologia**. Recife: EDUFRPE/Gampe, Cap. 1, pp. 31-50. 2020.

SÃO PAULO. Secretaria da Educação. Fundação para o Desenvolvimento da Educação. **Manual para Gestão de Resíduos em Construções Escolares**. São Paulo, 2010.

SCHAMNE, A. N.; NAGALLI, A. Reverse logistics in the construction sector: A literature review. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 21, n. 2, p. 691-702, 2016.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.

SENAI. **Benefícios da indústria 4.0**. SENAI 4.0. 2018a. Disponível em: <<https://senai40.com.br/sobre-senai40/>>. Acesso em: 10 março. 2022.

SENAI. **Carta da indústria 4.0**. SENAI 4.0. 2018b. Disponível em: <<https://senai40.com.br/wp-content/uploads/2018/03/CartaIndustria4.0.pdf>>. Acesso em: 10 março. 2022.

SILVA, L. P. **Análise e caracterização da gestão dos resíduos da construção civil no município de Ribeirão Preto (SP)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

SILVA, A. D. D. Impactos da Indústria 4.0 na Construção Civil. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, 2018.

SINDUSCON-SP - Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil - Avanços Institucionais e melhorias técnicas**. São Paulo, 2015. Disponível em <<https://goo.gl/gNmUy9>>. Acesso em: 26 maio 2020.

SINIR - Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. **Manifesto de Transporte de Resíduos - Manual de Ajuda ao Usuário versão 1.10**. 2022. Disponível em: <<https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2023/03/MANIFESTO-DE-TRANSPORTE-DE-RESIDUOS-%E2%80%93-MTR-1.10.pdf>>. Acesso em: 20 abril. 2023.

SOARES, D. H. **Estudo da geração dos resíduos da construção civil (RCC) em empreendimento habitacional de interesse social no município de Taquaritinga (SP)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

SOARES JÚNIOR, G. G. **Tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 aplicadas para melhoria da segurança do trabalho na construção civil**. Dissertação. Universidade Nove de Julho. 2021.

SOUZA, F. E. G. **Relações entre a indústria 4.0 e o processo decisório organizacional**. 2018. 26f. Trabalho de Conclusão de Curso de MBA em Gestão de Estratégica - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SOUZA, K. S.; VILELA, H. J. T. N.; MEDEIROS, C. M. Impactos da pandemia na Construção Civil na cidade de Monteiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 4692-4703, 2022.

TIMAFEJN, M. I. **Gestão da manutenção predial: definição de práticas e ferramentas a partir de conceitos aplicados da indústria 4.0 na construção civil**. Universidade Federal de São Carlos. 2021.

TONETTO, M. S.; DE LUCA, F. M. B.; LORA, F. P.; LANTELME, E. M. V.; FORMOSO; C. T.; SAURIN, T. A. Boas práticas e dificuldades para melhorar a saúde e segurança do trabalho na construção civil durante a pandemia de COVID-19. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO**, v. 12, p. 1-8, 2021.

TOWNSEND, Timothy; Wilson, Christina; Beck, Blaire, **The Benefits of Construction and Demolition Materials Recycling in the United States**. CDRA, 2014. Disponível em: <<http://www.cdrecycling.org/>>. Acesso em: 20 de março 2022.

<<https://www.qualimoraes.com.br/gestao-residuos>>. Acesso em: 17 maio. 2021.

VALENTE, A. C. C.; AIRES, V. M. **Gestão de projetos e lean construction: uma abordagem prática e integrada**. 1. ed. Curitiba: Editora Appris, 2017

VENDRAMIM, J. M. C. **Projeto de manejo de resíduos da construção civil como subsídio para elaboração de planos de gerenciamento: estudo de caso em edificação de múltiplos pavimentos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.

VERTOWN. **Site do VERTOWN: Página Inicial**. [S.l.] Disponível em: <<https://www.vertown.com/gerenciamento-de-residuos/>>. Acesso em: 17 abril 2023.