

Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Pedrita Fernanda Silva

Análise de barreiras para redução de resíduos de construção civil no canteiro de obras em edificação comercial de médio porte no Brasil: uma aplicação do *fuzzy*-DEMATEL

Uberaba

2022

Pedrita Fernanda Silva

Análise de barreiras para redução de resíduos de construção civil no canteiro de obras em edificação comercial de médio porte no Brasil: uma aplicação do *fuzzy*-DEMATEL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Lauro Osiro

Uberaba

2022

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

S582a Silva, Pedrita Fernanda
Análise de barreiras para redução de resíduos de construção civil no canteiro de obras em edificação comercial de médio porte no Brasil: uma aplicação do fuzzy-Dematel / Pedrita Fernanda Silva. – 2022.
86 f. : il., graf., tab.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) --
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2022
Orientador: Prof. Dr. Lauro Osiro

1. Construção civil. 2. Redução de resíduos. 3. Gestão ambiental.
4. Sistemas difusos. 5. Dematel. I. Osiro, Lauro. II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. III. Título.

CDU 69:502.15

ANÁLISE DE BARREIRAS PARA REDUÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO CANTEIRO DE OBRAS EM EDIFICAÇÃO COMERCIAL DE MÉDIO PORTE NO BRASIL: UMA APLICAÇÃO DO FUZZY DEMATEL

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, para obtenção do título de mestre.

Uberaba, 11 de outubro de 2022.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Lauro Osiro
Orientador - UFTM

Prof. Dr. Lucas Daniel Del Rosso Calache
Membro Titular - UFTM

Prof.^a Dr.^a Yovana María Barrera Saavedra
Membro Titular - UFScar



Documento assinado eletronicamente por **LAURO OSIRO, Professor do Magistério Superior**, em 11/10/2022, às 12:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 87, de 17 de agosto de 2021](#).



Documento assinado eletronicamente por **LUCAS DANIEL DEL ROSSO CALACHE, Professor do Magistério Superior**, em 11/10/2022, às 12:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 87, de 17 de agosto de 2021](#).



Documento assinado eletronicamente por **Yovana María Barrera Saavedra, Usuário Externo**, em 11/10/2022, às 15:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 87, de 17 de agosto de 2021](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.uftm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0838800** e o código CRC **66719F0B**.

Dedico à minha afetuosa filha Virgínia, inspiração
diária do que é o amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Criador de todas as criaturas e suas inteligências sobre a Terra. Sem Deus nada é possível e nada faria sentido, nem mesmo esta pesquisa. Um recomeço em plena pandemia: então não é preciso dizer que foram muitos sacrifícios em solitárias madrugadas.

À minha linda mãezinha, por sempre acreditar no meu potencial e nunca me deixar desistir, você é a mulher mais incrível, inteligente e humana que eu conheço.

Ao meu paizinho, homem de luta e amor pela família, por sempre nos apoiar e nos encorajar com seus exemplos. Sem a bravura de vocês dois eu não teria ânimo, essa conquista é nossa.

Ao meu marido, amor que em todos os momentos esteve ao lado sendo calma. Com você eu aprendi o que é a pesquisa, sua inteligência me apaixonou diariamente. Com você eu compartilho a vida, a profissão e os grandes sonhos.

À Virgínia, luz que me guiou nos momentos mais difíceis da pesquisa. Tudo por ela e com ela.

Ao meu irmão Daniel e minha cunhada Renata, por me proporcionarem lindos momentos de descontração e por preocuparem em ajudar nas festinhas da Vivi: quanto tempo me pouparam!

Ao meu orientador Lauro Osiro, por sua paciência incrível diante de todas as dúvidas e inseguranças que tive no percurso, sem você nada disso seria possível. Sua dedicação e cumplicidade nesta pesquisa foi digna de um educador.

À Universidade Federal do Triângulo Mineiro e todos os colaboradores, por terem me acolhido humanamente como aluna.

Aos colegas da Turma V do PPGCTA, em especial ao valioso Gabriel Henrique por todo auxílio na disciplina de Estatística.

Aos professores que gentilmente participaram das bancas de qualificação e de defesa, foram fundamentais para o aprimoramento do trabalho.

A todos os amigos que de alguma forma me ajudaram nessa caminhada, gratidão!

RESUMO

A construção civil é um dos setores econômicos que mais impactam o meio ambiente, com grande consumo de matéria prima e geração de resíduos, que globalmente correspondem a 35% do total gerado. Dentro desse segmento tem-se as edificações comerciais de médio porte, com grande relevância econômica, pois são o foco principal de atuação das 50 maiores empresas construtoras do país listadas na base de dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). Sob o ponto de vista do conceito de sustentabilidade é preciso avaliar porque comumente as empresas construtoras não possuem uma gestão de Resíduos de Construção Civil (RCC) eficiente, ou porque em alguns casos essa tentativa de implementação se torna frustrante. O objetivo do presente trabalho foi identificar e avaliar as principais barreiras para redução de RCC em um canteiro de obras comerciais, de médio porte, no Brasil. Para isso, foi realizado um levantamento bibliográfico com uma revisão sistemática para identificação das barreiras que dificultam a redução eficiente desses resíduos, as quais foram validadas por especialistas acadêmicos. Posteriormente, foi usado o método multicritérios *fuzzy*-DEMATEL (*Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*), que a partir da coleta de dados com especialistas gestores de obras, permitiu a identificação das barreiras mais importantes e das suas relações de influência. Os resultados da pesquisa mostraram que B6 (Falta de planejamento e gestão da obra) e B9 (Falta de recursos financeiros) são as barreiras mais importantes e a mais influente é a B13 (Falta de legislação vigente e de incentivo governamental). Esses resultados permitem auxiliar os gestores de obras e demais partes interessadas a implementar ações focadas que colaborem para redução de resíduos no canteiro de obras.

Palavras-chave: RCC. Construção. Gestão. Barreiras. *Fuzzy*-DEMATEL.

ABSTRACT

Civil construction is one of the industrial sectors that most impacts the environment, with large consumption of raw materials and generation of waste, which globally corresponds to 35% of the total generated. Of these, one has as a medium-sized commercial activity segment, with great savings, as the focus of the main construction companies in the country 50 largest companies in the country is used in the database of the Brazilian Chamber of Construction Industry (CBIC). From the point of view of the concept of sustainability, it is necessary to assess why construction companies commonly do not have an efficient Civil Construction Waste (CDW) management, or why some implementation attempts become frustrating. The objective of this work was to identify and evaluate the main barriers to RCC reduction in a medium-sized commercial construction site in Brazil. For reduction, an efficient bibliographic survey was carried out with a systematic to identify the barriers that make it difficult to reduce these losses, as validated by experts for this. Subsequently, the multicriteria *fuzzy*-DEMATEL method (Decision Making a Trial and Evaluation Laboratory) was used, which from the collection of data with more detarium managers, and the identification of their influence relationships. The results of government planning research that B6 (Lack of planning and management of the work of financial resources) are more important and more influential than B913 (Lack of current legislation and government incentives). These results are allowed for project managers and other stakeholders to implement focused on reducing results at the construction site.

Keywords: CDW. Construction. Management. Barriers. Fuzzy-DEMATEL.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma de Impactos Ambientais na Construção Civil.	19
Figura 2 - Gráfico de participação da construção civil no PIB do Brasil.	25
Figura 3 - Gráfico esquemático do diagrama causal do resultado a ser obtido na pesquisa.	34
Figura 4 - Framework da metodologia da presente pesquisa.	35
Figura 5 - Fases para condução da RBS.	36
Figura 6 - Fluxograma do processo para definição das barreiras por meio da RBS.....	39
Figura 7 - Gráfico da função fuzzy triangular.	41
Figura 8 - Gráfico percentual de países dentre os artigos selecionados para o levantamento de barreiras.	47
Figura 9 - Diagrama causal: Valores de causa e efeito.....	67
Figura 10 - Relações de impacto geral no diagrama causal.....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Agrupamento dos RCC segundo a Resolução nº 307/02 do CONAMA.....	23
Quadro 2 - Classificação dos tipos de edificações segundo o CNAE 2.0	30
Quadro 3 - Barreiras técnicas que impedem a redução de RCC em canteiro de obras.	47
Quadro 4 - Barreiras econômicas que impedem a redução de RCC em canteiro de obras.	49
Quadro 5 - Barreiras legais que impedem a redução de RCC em canteiro de obras.....	50
Quadro 6 - Perfil dos especialistas acadêmicos e validação das barreiras.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do porte de obra a partir da Resolução nº 04/12 do COEMA.	31
Tabela 2 - Strings para busca de artigos na plataforma Scopus.....	37
Tabela 3 - Variáveis linguísticas e seus números fuzzy triangulares.	42
Tabela 4 - Características demográficas dos participantes da pesquisa.....	57
Tabela 5 - Características demográficas das empresas em que os especialistas atuam.....	58
Tabela 6 - Matriz Z: matriz de relação direta.	60
Tabela 7 - Matriz X: matriz normalizada.	62
Tabela 8 - Matriz T: matriz de relação total.	64
Tabela 9 - Valores de causa e efeito.	66
Tabela 10 - Relações de impacto geral entre as barreiras na matriz de relação total.	68

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAAE – Certificado de Apresentação de Apreciação Ética
CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CEP - Comitê de Ética em Pesquisa
CNAE 2.0 - Classificação Nacional de Atividades Econômicas, versão 2.0
COEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente do Ceará
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
DEMATEL – *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*
EESC-USP – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MCDM – *Multi Criteria Decision Making*
NBR – Norma Brasileira de Regulamentação
PAIC – Pesquisa Anual da Indústria da Construção
PIB – Produto Interno Bruto
RBS – Revisão Bibliográfica Sistemática
RCC – Resíduos de Construção Civil
RCD – Resíduos de Construção e de Demolição
TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UFTM - Universidade Federal do Triângulo Mineiro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 A CONSTRUÇÃO CIVIL E O PILAR AMBIENTAL DA SUSTENTABILIDADE	18
2.2 REGULAMENTAÇÕES AMBIENTAIS	21
2.3 O PAPEL DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA ECONOMIA	24
2.4 A GESTÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL: REDUZIR, RECICLAR E REUTILIZAR	26
2.5 CLASSIFICAÇÃO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL: TIPOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES E PORTE DAS OBRAS	28
2.6 ESTUDO DAS BARREIRAS LIMITANTES PARA A REDUÇÃO DE RESÍDUOS	31
2.7 O MÉTODO <i>FUZZY-DEMATEL</i>	32
3 METODOLOGIA	35
3.1 IDENTIFICAÇÃO DAS BARREIRAS NA RBS	36
3.2 VALIDAÇÃO DAS BARREIRAS	40
3.3 COLETA DE DADOS	40
3.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO <i>FUZZY-DEMATEL</i>	41
3.5 ANÁLISE DAS BARREIRAS	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1 BARREIRAS LEVANTADAS A PARTIR DA RBS	46
4.1.1 Barreiras técnicas	50
4.1.2 Barreiras econômicas	53
4.1.3 Barreiras legais	54
4.2 VALIDAÇÃO DAS BARREIRAS: ESPECIALISTAS ACADÊMICOS	55

4.3 COLETA DE DADOS: CARACTERIZAÇÃO DOS ESPECIALISTAS GESTORES DE OBRAS.....	56
4.4 RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DA APLICAÇÃO DO MÉTODO FUZZY-DEMATEL	58
4.5 ANÁLISE DAS BARREIRAS.....	69
5 CONCLUSÃO.....	73
REFERÊNCIAS	75
APÊNDICE A – Questionário aplicado aos especialistas gestores de obras	79
APÊNDICE B – Relações entre as barreiras em termos linguísticos	80

1 INTRODUÇÃO

A construção civil consome entre 15% e 50% dos recursos naturais disponíveis no planeta (AZEVEDO; KIPERSTOK; MORAES, 2006), com suas inerentes atividades é também responsável por gerar cerca de um quarto dos resíduos sólidos depositados em aterros de cidades com grande economia (BAO; LEE; LU, 2020), além de contribuir com 35% dos resíduos sólidos urbanos gerados no mundo (LIU; YI; WANG, 2020). Esses Resíduos de Construção Civil (RCC) podem ser originados de diversas fontes, como construções novas, demolições, reformas e ampliações (RÖHM; MARQUES NETO; RÖHM, 2013). Por isso, cabe a necessidade de requerer o crescimento da indústria da construção civil em um patamar de sustentabilidade, com um controle dos resíduos produzidos em obra (AZEVEDO; KIPERSTOK; MORAES, 2006).

Porém, promover essa conscientização na construção civil é imperativo, considerando o grande volume de RCC gerados (NUNES; SANTOS; SANTOS JUNIOR, 2015). Por essa razão, cabe a necessidade de identificar as barreiras¹ que impedem a redução dos RCC nas obras, o que chega a ser um dos desafios na indústria da construção civil.

Assim, focando em uma visão local, a indústria da construção civil de obras comerciais no Brasil possui alto movimento econômico, pois as 50 maiores construtoras do país estão focadas neste tipo de construção (CBIC, 2018), sendo construções de edifícios comerciais, restaurantes, escolas, hospitais, clínicas, centros comerciais, dentre outros, segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas, versão 2.0 (CNAE 2.0)²,

De maneira geral, para se compreender as barreiras que impedem a redução da geração de resíduos em um empreendimento, é necessário o entendimento abrangente das suas fases de execução, desde a concepção do projeto até o pós-obra (SOUZA et al., 1999; VIEIRA et al., 2019), incluindo as devidas manutenções previstas no termo de recebimento da obra.

Na literatura de Abarca-Guerrero, Maas e Van Twillert (2017) foram estudadas as barreiras e motivações que propiciam a redução dos RCC, afirmando ainda que poucos autores desenvolvem pesquisas que evidenciam quais barreiras impedem a redução de desperdício na construção.

¹ Barreira é a denominação usada nesta pesquisa para falar das dificuldades que impedem a redução de RCC em canteiro de obras. O termo também é o mais utilizado em artigos internacionais publicados sobre o assunto, com a terminologia em inglês de *barries*.

² Órgão responsável pelo agrupamento das atividades econômicas no Brasil, sendo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o órgão gestor, a partir da Resolução Concla nº 01/2006, publicada no diário oficial da União em 05/09/2006 (IBGE, 2021).

Abarca-Guerrero, Maas e Van Twillert (2017) apresentaram as barreiras encontradas a partir de uma busca de dados na literatura e as listaram em seis diferentes grupos, sendo: institucional, financeiro, ambiental, técnico, legal e sociocultural. Para Negash et al. (2021), em um estudo realizado no território da Somalilândia sobre as dificuldades regulatórias que impedem a gestão sustentável de RCC, o termo aplicado também foi o de barreiras. E os critérios de questionamentos para entendimento das barreiras que dificultam essa gestão foram agrupados em técnica, ambiental, econômica, social e regulatória.

Em Liu, Yi e Wang (2020) as barreiras analisadas na pesquisa foram chamadas de hipóteses, as quais foram relacionadas positivamente com os fatores que podem influenciá-las. A estrutura conceitual para a redução de resíduos, ainda segundo estes autores, apresenta os fatores contratuais, de transporte de materiais de construção, de gerenciamento e planejamento no canteiro de obras, de armazenamento de materiais e do operacional no canteiro como influenciáveis na hipótese do plano de redução na origem, ou seja, antes mesmo de sua formação a partir do uso do material.

Na literatura de Mavi e Standing (2018) o termo usado para barreiras foi o de fatores críticos de sucesso, em que foram encontrados 41 fatores que podem influenciar na redução de resíduos com a gestão sustentável de projetos de construção. Com isso, os autores reuniram esses fatores em cinco grupos a partir da lógica e opinião dos especialistas, sendo: projeto, equipe de projetos, organização, ambiente externo e a sustentabilidade.

Um estudo feito em Hong Kong observou que as principais barreiras que dificultam a redução de resíduos no canteiro de obras, com o uso da reciclagem *in situ*, foram: restrição de espaço no canteiro, pouca oportunidade para comercializar os produtos reciclados, relatos de negócios vulneráveis, falta de apoio e ausência de políticas governamentais (BAO; LEE; LU, 2020).

São diversas barreiras que devem ser avaliadas e monitoradas por um gestor de obras, no intuito de minimizar a geração de resíduos em todas as etapas do cronograma físico da construção (LIU; YI; WANG, 2020), identificando a importância individual de cada barreira. Para auxiliar os gestores em ações focadas mais eficazes na redução de resíduos, a identificação das barreiras mais relevantes se torna necessária.

Na literatura observa-se a existência de estudos amplos sobre os tipos de barreiras que a construção civil pode enfrentar para atingir uma eficiente gestão de resíduos, porém, não foi encontrada nenhuma pesquisa que tenha sido realizada no Brasil com essa delimitação do tema.

O *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) é uma técnica eficiente utilizada para análise de barreiras, conforme apresentou Negash et al. (2021) e Mavi e Standing (2018) em suas literaturas. Já a lógica *fuzzy* possibilita um tratamento mais adequado da incerteza e imprecisão dos dados, dado seu caráter de flexibilização e diferentes graus de pertinência em relação ao conjunto a ser analisado (OSIRO, 2013).

Saber os motivos pelos quais os resíduos de construção civil ainda são altamente gerados (NUNES; SANTOS; SANTOS JUNIOR, 2015) e quais as barreiras encontradas que impedem a implementação de uma eficiente gestão de resíduos são respostas que devem ser buscadas a partir do resultado obtido da análise multicritério *fuzzy*-DEMATEL, sendo essa uma técnica usada na tomada de decisões que envolve múltiplos critérios conflitantes e com pesos diferentes (RODRIGUES, 2017). A escolha do método *fuzzy*-DEMATEL na pesquisa baseou-se na facilidade para interpretação dos resultados a partir do gráfico do diagrama causal gerado.

O presente trabalho enfocará na perda de materiais que são gerados nos canteiros de obras, não sendo escopo deste estudo as perdas incorporadas durante a execução, pois estas são complexas de identificar e quantificar. Ademais, a problemática envolveria análise de projetos e de práticas construtivas.

A partir da problemática contextualizada neste capítulo, a presente pesquisa tem como objetivo geral analisar as principais barreiras para a redução de RCC no canteiro de obras na construção de edificações comerciais de médio porte no Brasil. Para alcançar esse objetivo foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- i. Identificar na literatura as barreiras que impendem e/ou dificultam a redução de resíduos na construção civil em canteiro de obras de edificações comerciais de médio porte no Brasil;
- ii. Analisar e validar a lista de barreiras com especialistas (pesquisadores acadêmicos);
- iii. Coletar as avaliações das relações entre as barreiras com os especialistas (gestores de obras) de empresas construtoras;
- iv. Identificar a importância e as relações de dependência entre as barreiras com o *fuzzy*-DEMATEL;
- v. Priorizar as barreiras a partir dos resultados obtidos com o *fuzzy*-DEMATEL.

O texto da pesquisa está estruturado em cinco capítulos, sendo a Introdução o primeiro deles com a apresentação do tema e dos objetivos. O próximo capítulo é a Revisão Bibliográfica com uma revisão bibliográfica sistemática. No capítulo três foi detalhada a Metodologia da pesquisa. Resultados e Discussões foram narrados no capítulo quatro. As Conclusões encerram o trabalho no capítulo cinco.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta os principais conceitos encontrados na literatura sobre a problemática da geração de RCC, bem como introduz conceitos importantes para compreensão do assunto. Os dois primeiros tópicos abordam o tema da construção civil com a sustentabilidade, analisando os impactos ambientais que o setor causa na natureza e as regulamentações ambientais que regem as atividades. O terceiro tópico abrange a relevância que o macro setor da construção civil ocupa na economia do país, evidenciando a movimentação que as atividades provocam e, conseqüentemente, o grande consumo de insumos para produção de materiais, além dos resíduos gerados das atividades construtivas.

Posteriormente, serão introduzidos os conceitos fundamentais para compreender a gestão dos RCC e como se dão as perdas de materiais em canteiros de obras. Finalizando, os três últimos tópicos adentram no objetivo da pesquisa, fazendo uma explicação da escolha por obras de médio porte, apresentando as principais barreiras encontradas na literatura e o método utilizado para analisar as barreiras a serem avaliadas pelos especialistas e gestores de obras.

Sendo assim, o presente capítulo traz os seguintes tópicos:

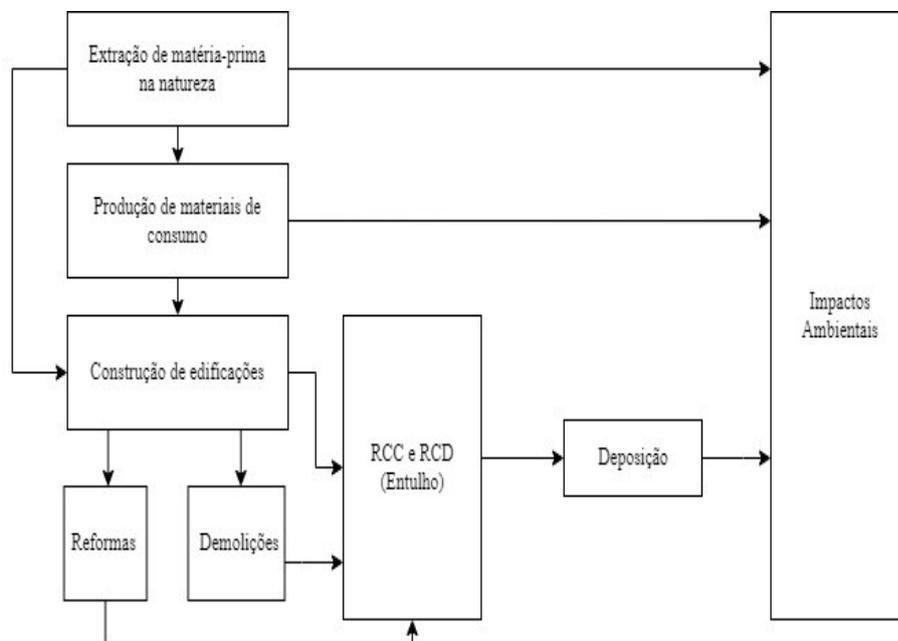
- A construção civil e o pilar ambiental da sustentabilidade;
- Regulamentações ambientais;
- O papel da construção civil na economia;
- A gestão dos resíduos de construção civil: reduzir, reciclar e reutilizar;
- Classificação da indústria da construção civil: tipologia das edificações e porte das obras;
- Estudo das barreiras limitantes para a redução de resíduos;
- O método *fuzzy*-DEMATEL.

2.1 A CONSTRUÇÃO CIVIL E O PILAR AMBIENTAL DA SUSTENTABILIDADE

A indústria da construção civil contribui inegavelmente com as oportunidades de emprego e em manter o crescimento econômico através de suas atividades de criar um ambiente construído (BAO; LEE; LU, 2020). E com as crescentes preocupações sobre o desenvolvimento sustentável, em que é feito, de forma simultânea, o uso razoável dos recursos da terra e a preservação das espécies e dos habitats naturais (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E

DESENVOLVIMENTO, 1991), percebe-se um aumento das críticas voltadas para a construção civil, vista como culpada pela degradação ambiental (BAO; LEE; LU, 2020) através da extração de insumos e produção de materiais de consumo, passando pela construção das obras e finalizando com a deposição final dos resíduos sólidos oriundos das atividades construtivas (ROTH; GARCIAS, 2009), conforme esquematizado no fluxograma da Figura 1.

Figura 1- Fluxograma de Impactos Ambientais na Construção Civil.



Fonte: Adaptado de Roth e Garcias (2009).

A definição de RCC os classifica como um recurso excedente nas obras, visto que em torno de 10 a 15% dos materiais utilizados nas obras viram resíduos de construção (OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020). Os RCC podem ser definidos como qualquer material excedente, exceto os materiais de terra, os quais precisam ser retirados do canteiro de obra para um bota-fora ou utilizados na compensação do aterro no próprio canteiro (PELLEGRINI et al., 2020). Os RCC podem ainda ser classificados em físicos, que são os desperdícios de materiais; e em não-físicos, que são os desvios de custo (*cost overrun*) e desvios de prazo (*time overrun*) no cronograma da obra (NAGAPAN et al., 2012 apud OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020).

A não destinação correta desses resíduos é alarmante e recorrente. Em muitos casos, é um problema inevitável, tendo em vista o grande volume gerado em uma construção, devido a precariedade das tecnologias e materiais utilizados, desperdício, falta de planejamento, imprevistos, alterações de projetos, dentre outros fatores relevantes (SOUZA et al., 1999; BAILEY et al., 2020).

Os prejuízos ambientais oriundos das práticas indiscriminadas na geração de RCC podem ser minimizados com a implementação da gestão de resíduos, com a capacitação dos profissionais envolvidos, com práticas sustentáveis dentro do canteiro de obra, bem como a reciclagem dos entulhos de construção (AZEVEDO; KIPERSTOK; MORAES, 2006).

As práticas sustentáveis dentro da construção civil vão ao encontro do ideal de redução de resíduos dentro dos canteiros de obras, com o manejo sustentável de resíduos sólidos em obras, conforme preconizado no capítulo sete da Agenda 21 (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992).

Essa necessidade de consumo consciente fez gerar protocolos e convenções que deram início a mudanças de comportamento do indivíduo dentro da sociedade, desencadeando outros métodos de analisar o comprometimento com o planeta em relação a processos de fabricação e produção de insumos, no intuito de suprir as necessidades do homem.

Tais regulamentações não proíbem o modelo linear de produção, no qual a partir de uma ideia surge-se um projeto, sua construção, sua utilização e, encerrando sua vida útil, os produtos são descartados no ambiente (GEBREMARIAM et al., 2020). Contudo, esse descarte implica nas preocupações inerentes com os limites de poluição, na tentativa de minimizar os danos, evidenciando a não sustentabilidade de um modelo linear de produção (JOHN, 2000).

Por isso, a economia circular se tornaria uma resposta para uma nova visão da gestão de resíduos, com o ideal de zero desperdício. Porém, uma transição abrupta ao atual modelo aplicado seria para a realidade dos setores um enorme desafio, tendo em vista que as economias estão muito aquém do desejável para uma gestão baseada na economia circular (ZHANG et al., 2019). Essa transição envolveria uma mudança da cultura organizacional das empresas, o que é complexo devido as diferentes variáveis envolvidas para apoiar essa transição, sendo necessário envolver modelos de maturidade dentro das empresas, trazendo uma visão ampla dos processos internos (BERTASSINI et al., 2022).

Zhang et al. (2019) fizeram um estudo das barreiras que impedem a gestão inteligente de resíduos dentro do conceito de economia circular na China, sendo elas: falta de conhecimento sobre

a gestão inteligente de resíduos, falta de pressão regulatória, falta de capacidade de inovação para novas tecnologias, falta de demanda de mercado, alto custo para aplicação, falta de educação ambiental, falta de investidores e apoiadores, falta do efeito cluster e falta de comprometimento da liderança. Com a aplicação do *fuzzy*-DEMATEL os autores concluíram que as barreiras causais que mais afetam o sistema são as de pressão regulatória, demanda de mercado e educação ambiental.

Fundamentando-se nas vantagens sociais, econômicas e ambientais que o desenvolvimento sustentável traz para dentro de um canteiro de obras, é questionável saber os motivos pelos quais as empresas ainda não conseguem acompanhar as exigências mínimas do gerenciamento de resíduos preconizadas na Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2002), ou não tenham interesse em aplicar o processo dentro da empresa, dificultando ainda mais o controle para posterior destinação final, ambientalmente adequada, para os resíduos sólidos gerados.

2.2 REGULAMENTAÇÕES AMBIENTAIS

Um dos papéis da construção civil é transformar o ambiente natural em um ambiente construído, como consequência do desenvolvimento industrial e urbano. Para isso, são necessárias interferências na natureza que muitas das vezes são abruptas e invasivas, tornando a arte de construir uma visão exploradora, que se contrapõe com a preservação do meio ambiente. Por essa razão, as preocupações com o ecossistema e um desenvolvimento sustentável podem ser encaradas por profissionais da construção civil como uma atitude contrária ao desenvolvimento, dificultando ainda mais a implementação de ideias sustentáveis dentro das empresas (JOHN, 2000).

A realidade deste paradigma – preservar e edificar – desencadeou um aumento de regulamentações ambientais na sociedade, com o intuito de preservar os recursos naturais e diminuir os índices de poluição, contaminação e degradação (JOHN, 2000).

No Brasil, a Constituição Federal de 1988 trata em seu artigo 23 das obrigações e competências em comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios em relação a preservação do meio ambiente e o combate à poluição, forçando as cidades a elaborarem políticas públicas ambientais que atendam tais necessidades.

Em 2002, o CONAMA estabeleceu em sua Resolução nº 307/02 as diretrizes fundamentais para uma efetiva redução dos resíduos de construção civil. Também apresentou critérios e

procedimentos para uma gestão integrada de resíduos, incorporando os benefícios de ordem ambiental, econômica e social, considerado o tripé da sustentabilidade.

A ABNT NBR 10004: 2004 se incumbiu de fazer a classificação dos resíduos sólidos e seu potencial de impacto em relação ao meio ambiente e a saúde humana, permitindo que os resíduos possam ser gerenciados corretamente. Essa norma também trata da periculosidade e outras características dos resíduos em relação a suas propriedades físicas, químicas, infectantes ou contagiosas, fundamental para que seja feito o descarte correto, sem causar riscos à saúde pública e ao meio ambiente, podendo o resíduo sólido ser classificado em perigosos (Classe I) e não perigosos (Classe II A: não inertes e Classe II B: inertes).

Posteriormente, a partir da instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos, com a Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, bem como o seu posterior decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022 (BRASIL, 2010), foi necessária uma alteração na Resolução nº 307/02 do CONAMA, entrando em vigor a Resolução nº 448/12 (BRASIL, 2012a).

Na Resolução CONAMA nº 307/02 e suas alterações, foi definido que o gerenciamento de resíduos é um sistema de gestão, que tem a função de reduzir, reciclar ou reutilizar os RCC, dentro de práticas de planejamento. Para isso, os RCC devem ser agrupados em classes por tipo de materiais, conforme o Quadro 1, com o objetivo de facilitar a separação e triagem dos resíduos no canteiro de obras, para posterior destinação (BRASIL, 2012a).

Quadro 1- Agrupamento dos RCC segundo a Resolução nº 307/02 do CONAMA.

Classe	Descrição	Exemplo
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados.	Resíduo de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem. Resíduos provenientes de tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa, concreto e peças pré-moldadas produzidas em canteiro de obras.
B	Resíduos recicláveis para outras destinações.	Plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso; (Redação dada ao inciso pela Resolução CONAMA nº 431, de 24.05.2011, DOU 25/05/2011)
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.	(Redação dada ao inciso pela Resolução CONAMA nº 431, de 24.05.2011, DOU 25/05/2011)
D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção.	Tintas, solventes, óleos, 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. (Redação dada ao inciso pela Resolução CONAMA nº 348, de 16.08.2004, DOU 17/08/2004)

Fonte: Adaptado de Brasil (2002) e Brasil (2012a).

Em 2012, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) publicou a Instrução Normativa nº 13, de 18 de dezembro de 2012, intitulada Lista Brasileira de Resíduos Sólidos, formulada a partir da lista internacional europeia (*Commission Decision 2000/532/EC*). Na listagem do IBAMA, o capítulo 17 é o que abrange as atividades inerentes ao setor da construção civil, bem como os RCC gerados no setor. Essa classificação surgiu para orientar as atividades licenciadas no órgão do IBAMA e demais setores federais (BRASIL, 2012b).

Ainda no que tange as regulamentações ambientais, faz-se necessário abordar o conceito de educação ambiental, conforme preconizado na Lei 9.795/99, de 27 de abril de 1999 (BRASIL, 1999), formulada a partir do artigo 225 da Constituição Federal (BRASIL, 1988), o qual assegura a todos o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, sendo dever do Poder Público promover a conscientização e a educação ambiental em todos os níveis de ensino. Dentro do ambiente empresarial, a referida Lei incube as empresas de promoverem programas de capacitação dos trabalhadores, buscando melhorias no ambiente de trabalho e uma busca por processos produtivos sustentáveis (BRASIL, 1999).

A educação ambiental, conforme a Lei 9.795/99, tem como objetivo a participação individual e coletiva para a preservação do meio ambiente, além do princípio de vincular a ética, a educação, o trabalho e as práticas sociais. Nesse contexto se enquadra a importância das empresas em aplicar os processos de educação ambiental nos treinamentos em canteiro de obras, para que a individualidade de cada colaborador contribua com a redução dos resíduos gerados.

Porém, todas essas regulamentações podem se tornar onerosas para as empresas, dificultando a implementação da gestão de RCC e abordagem dentro do escopo. Sabe-se que uma eficiente gestão de resíduos em empresas da construção civil pode gerar economias posteriores, além de contribuir com o meio ambiente e com as gerações futuras (LIU; YI; WANG, 2020), por exemplo, a realização da triagem dos RCC na fonte de sua geração permite um aproveitamento maior dos mesmos, para posterior reciclagem ou reutilização (RÖHM; MARQUES NETO; RÖHM, 2013).

2.3 O PAPEL DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA ECONOMIA

Em países de baixa e média renda, o setor da construção civil possui um papel importante em relação ao Produto Interno Bruto (PIB), além de contribuir com a geração de emprego para um grande percentual da classe trabalhadora (ABARCA-GUERRERO; MAAS; VAN TWILLERT, 2017). A indústria da construção civil representa o percentual de 13% da economia mundial (OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020), uma considerável contribuição no desenvolvimento global.

Analisando os vários setores de desenvolvimento no Brasil, percebe-se a significativa importância da Construção Civil na geração do PIB, conforme evidenciado no gráfico da Figura 2, e conseqüentemente, nos impactos ambientais causados por essa participação (IBGE, 2020).

Figura 2 - Gráfico de participação da construção civil no PIB do Brasil.



Fonte: IBGE (2020).

Nota: Dados de 2019 referem-se às Contas Nacionais Trimestrais 3ºTrim. /2020.

Valor adicionado bruto (VABpb).

Segundo os dados da Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC) referente ao ano de 2019, divulgados pelo IBGE, as empresas de construção civil no Brasil, até a data base de 31 de dezembro de 2019, incluíram 1.903.715 pessoas ocupadas no setor, sendo expressiva a geração de emprego na construção civil no país.

Ainda segundo a PAIC (IBGE, 2019), dentro de seus custos e despesas, a construção civil gerou um gasto com consumo de materiais de construção no valor aproximado de 56,40 bilhões de reais, montante expressivo para a economia, mas também sob o ponto de vista ambiental, quando se analisa a quantidade de matéria prima necessária para se obter esses materiais, bem como os resíduos que podem ser gerados a partir do uso desses materiais.

Essa relevante participação da Construção Civil na economia do Brasil traz intrinsecamente as mazelas do desenvolvimento: as interferências do homem na natureza, seja para sua subsistência ou pela coletividade que move os interesses econômicos, causando impactos ambientais que,

somados às influências na própria saúde (PINTO, 1999), reduzem consideravelmente a qualidade de vida dos trabalhadores e consumidores envolvidos na produção, gerando impactos sociais.

No contexto econômico, a construção civil tem seu papel consolidado, gerando emprego e renda para população brasileira (ROTH; GARCIAS, 2009), além de alavancar o comércio local e a mão de obra indireta envolvida no ciclo de atividades das obras.

Se por um lado os indicadores são positivos para a economia do país, por outro são preocupantes os impactos ambientais que as atividades do setor causam na natureza (ROTH; GARCIAS, 2009), gerando gastos aos cofres públicos e privados com a recomposição de áreas degradadas ou com a destinação correta dos RCC. Muitos desses impactos poderiam ser minimizados ou evitados com práticas eficazes da gestão de resíduos dentro do canteiro de obras.

Abarca-Guerrero, Maas e Van Twillert (2017) avaliaram a relação das empresas em países de baixa e média economia, afirmando que neste caso as preocupações ambientais, como a redução de resíduos em obras, recebem menor atenção do que em países com a economia mais consolidada.

2.4 A GESTÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL: REDUZIR, RECICLAR E REUTILIZAR

A partir da relevância e dos impactos causados pelas construções, surge a necessidade de implementar políticas de gestão de resíduos dentro das empresas de construção civil, com o intuito de conscientizar os gestores e usuários, além de repensar o uso de matérias primas empregadas na fabricação de produtos, bem como o seu uso consciente e as novas alternativas de exploração dos insumos do setor da construção (MAVI; STANDING, 2018), causando conseqüentemente a redução de resíduos gerados dentro de um canteiro de obras.

Pinto (1999) assinala que os gestores de obras só percebem a ineficácia de suas ações corretivas ao se depararem com o problema da geração de entulho, por desconhecimento do volume de RCC gerados nas obras e os impactos causados por eles.

Considerando as perdas na construção civil dos materiais aplicados, ponderando ainda que essas perdas dependerá do tipo de tecnologia empregada na aplicação e uso do material (NARCIS; RAY; HOSEIN, 2019), percebe-se a significância em adotar um sistema de gestão dentro das obras, no intuito de reduzir a geração de RCC, como preconizado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Na Resolução nº 307/02 do CONAMA (BRASIL, 2002) a gestão foi definida como uma prática de reduzir, reciclar e reaproveitar os resíduos de construção civil, fazendo assim o gerenciamento dos resíduos.

Segundo essa resolução, o ato de reciclar um resíduo é reaproveitar o mesmo após sua transformação. Já a reutilização é reaplicar o resíduo em um novo uso sem alterar suas características iniciais. Essas medidas, mais o beneficiamento, contribuem para reduzir os RCC, sendo o alvo principal a não geração de resíduos. Caso não seja possível gera-los, prioriza-se a seguinte ordem: a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final do resíduo.

No entanto, nem sempre as empresas do segmento possuem essa gestão bem definida e implementada. Comumente, percebe-se maior aderência em empresas de médio a grande porte, pois em muitos casos são essas que conseguem manter o sistema funcionando, devido ao alto custo da destinação correta dos resíduos (TSAI; CHOU, 2009).

É de suma importância para o município que o controle na geração de resíduos comece dentro das construtoras, evitando assim o acarretamento de sobrecarga dos pontos de descarte urbano (JERONIMO; FERREIRA; DA LUZ, 2019), os aterros de RCC e os bota-fora legalizados pela prefeitura, reduzindo gastos públicos com a destinação final dos resíduos de construção civil (GIORGI et al., 2022).

Quando o problema é mitigado internamente, não somente o poder público se beneficia, mas também as empresas construtoras (LIU; YI; WANG, 2020) com a evidente redução de custos com materiais, demolições por retrabalhos e destinação final do resíduo (locação de caçambas, licenças, transporte legalizado e descarga do material).

Huang et al. (2018) analisaram os maiores desafios na redução de RCC na China, baseando-se no princípio dos 3R's (Reduzir, Reciclar e Reutilizar) combinados entre si, e encontrou as seguintes limitações: falta de regulamentação na fase de projetos; baixo custo para disposição dos RCC em aterros; inadequado planejamento urbano; falta de orientação para a classificação e coleta do RCC; falta de conhecimento e padronização para reciclar o RCC; pouca aceitação para o uso de materiais de construção civil feitos a partir de RCC; ineficiente sistema de gestão; pouca ou imatura tecnologia para reciclagem de RCC; falta de padronização dos materiais reciclados e operação do mercado de reciclagem imatura (HUANG et al., 2018).

Nem sempre o acúmulo de resíduos em uma obra pode ser atribuído a ingerência do serviço, pois em muitos casos ocorrem alterações de projetos por parte da fiscalização ou do cliente, ou ainda imprevistos não computados inicialmente (MAVI; STANDING, 2018).

Outro ponto relevante e oneroso para o meio ambiente e para as despesas da empresa construtora são as obras de demolição, que inevitavelmente e intrinsecamente gerarão os resíduos próprios da alteração de projeto, conhecidos como Resíduos de Construção e Demolição (RCD) (LIU; YI; WANG, 2020). Nesse caso existe uma dualidade ambiental: aproveitar um imóvel reformando-o gera uma economia de materiais e novos insumos, porém, se essa reforma for impactante e invasiva, irá acarretar a geração de resíduos provenientes das demolições do imóvel.

Souza (1999) cita a importância de saber qual tipo de perda se está analisando na obra, se é uma perda incorporada, como uma ferragem dimensionada acima dos coeficientes mínimos de projeto ou um reboco com espessura acima do recomendado, ou uma perda que sai da obra, isto é, o entulho gerado.

Com um sistema operante ineficiente dentro dos canteiros de obras, somando-se as fraquezas das empresas em adotar uma eficiente gestão de resíduos, tem-se o aumento na geração de RCC, que pode ocorrer devido a inúmeras barreiras dentro das etapas de uma construção (LIU; YI; WANG, 2020).

A importância de um controle rigoroso no canteiro de obras civis em todas as etapas de uma construção, monitorando o consumo, o reaproveitamento e o descarte de matéria prima é verificado no custo final do empreendimento, pois o desperdício de materiais, seja pelo uso incorreto ou por retrabalho da etapa, pode encarecer cada fase de execução da obra (JOHN, 2000).

2.5 CLASSIFICAÇÃO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL: TIPOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES E PORTE DAS OBRAS

No Brasil, as atividades econômicas seguem a hierarquização da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), criada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 1994.

Antes da criação dessa ferramenta, o Brasil utilizava a base de dados internacional, conhecida pela sigla em inglês ISIC (*International Standard Industrial Classification*) e adotado pelas Nações Unidas em 1948, sendo um padrão internacional de estatística econômica e classificação de atividades (CONSELHO NACIONAL DE CLASSIFICAÇÃO, 2007).

Em 2007, a ferramenta passou por revisões que deram origem a atual versão, a CNAE 2.0, com base legal na Resolução CONCLA nº 01/2006.

Na versão atual, as atividades econômicas inerentes ao setor da construção civil correspondem a seção F para realização da busca na plataforma, denominada construção de edifícios em geral com as classificações descritas no Quadro 2.

Analisando o conteúdo do Quadro 2, pode-se verificar que os tipos de construções classificadas como comerciais são obras relevantes para a economia e desenvolvimento do país, e que ocorrem com grande frequência no seguimento da indústria da construção civil. Fazendo uma análise no banco de dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), foi verificado que esse tipo de construção é predominante entre as 50 maiores empresas construtoras do país, segundo um levantamento realizado em 2018 (IBGE, 2018).

Quadro 2 - Classificação dos tipos de edificações segundo o CNAE 2.0

Tipos de edificação	Exemplos
Construção de edifícios residenciais de qualquer tipo	Casas e residências unifamiliares
	Edifícios residenciais multifamiliares, incluindo edifícios de grande altura (arranha-céus)
Construção de edifícios comerciais de qualquer tipo	Consultórios e clínicas médicas
	Escolas
	Escritórios comerciais
	Hospitais
	Hotéis, motéis e outros tipos de alojamento
	Lojas, galerias e centros comerciais
	Restaurantes e outros estabelecimentos similares
	Shopping centers
Construção de edifícios destinados a outros usos específicos	Armazéns e depósitos
	Edifícios garagem, inclusive garagens subterrâneas
	Edifícios para uso agropecuário
	Estações para trens e metropolitanos
	Estádios esportivos e quadras cobertas
	Igrejas e outras construções para fins religiosos (templos)
	Instalações para embarque e desembarque de passageiros (em aeroportos, rodoviárias, portos, etc.)
	Penitenciárias e presídios
	Posto de combustível
	Construção de edifícios industriais (fábricas, oficinas, galpões industriais, etc.)
Outras construções	Reformas, manutenções correntes, complementações e alterações de edifícios de qualquer natureza já existentes
	Montagem de edifícios e casas pré-moldadas ou pré-fabricadas de qualquer material, de natureza permanente ou temporária, quando não realizadas pelo próprio fabricante

Fonte: Adaptado de Conselho Nacional de Classificação (2007).

Em relação ao porte da obra, a presente pesquisa utilizará a definição da Resolução nº 04/12 do Conselho Estadual de Meio Ambiente do Ceará (COEMA), em seu Anexo II, na qual são apresentados três parâmetros para classificação do tamanho da obra (área construída, o faturamento bruto e o número de funcionários), conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do porte de obra a partir da Resolução nº 04/12 do COEMA.

Classificação	Parâmetros		
	Área total construída (m ²)	Faturamento Bruto Anual (UFIRCE)	Número de Funcionários
Micro	≤ 250	≤ 100.000	≤ 6
Pequeno	> 250 ≤ 1000	> 100.000 ≤ 200.000	> 7 ≤ 50
Médio	> 1000 ≤ 5.000	> 200.000 ≤ 2.000.000	> 51 ≤ 100
Grande	> 5.000 ≤ 10.000	> 2.000.000 ≤ 15.000.000	> 101 ≤ 500
Excepcional	> 10.000	> 15.000.000	> 501

Fonte: Adaptado de COEMA (2012).

As obras de médio porte, analisando a partir do parâmetro de área construída na Tabela 1, são edificações relevantes em tamanho e, conseqüentemente, na geração de RCC também. Devido à dificuldade de encontrar gestores de empresas com atuação em obras de grande e excepcional porte, esta pesquisa se restringirá na análise apenas de obras de médio porte.

2.6 ESTUDO DAS BARREIRAS LIMITANTES PARA A REDUÇÃO DE RESÍDUOS

Após a revisão sistemática da literatura sobre o assunto abordado neste trabalho foi possível identificar as maiores dificuldades ou barreiras encontradas para que se possa reduzir de forma eficiente a geração de RCC em canteiros de obras.

Para Negash *et al.* (2021), as barreiras são fatores que impedem uma gestão sustentável do RCC. Identificar as barreiras ajuda a entender melhor uma situação do presente e melhorar a tomada de decisões no futuro. Abarca-Guerrero, Maas e Van Twillert (2017) definiram que identificar as barreiras é essencial para capacitar os tomadores de decisões. Para Bao, Lee e Lu (2020) é desejável uma compreensão abrangente das barreiras, com o intuito de superá-las para alcançar o objetivo desejável, enquanto Mahpour (2018) relata que como as barreiras são escolhidas a partir da revisão de literaturas disponíveis, todas as barreiras realmente existentes não são possíveis de serem identificadas.

Analisando a literatura de Negash *et al.* (2021), verifica-se um agrupamento das barreiras em 05 atribuições realizado pelos autores, sendo divididas em: técnica, econômica, social, regulatória e ambiental. Posteriormente os autores definiram os critérios dentro desse agrupamento.

Mahpour (2018) faz um levantamento das barreiras potenciais na redução de resíduos de construção, baseando-se na economia circular, agrupando os critérios em barreiras comportamentais, técnicas e de ordem jurídica.

No presente trabalho, baseando-se na divisão de Negash *et al.* (2021) e de Mahpour (2018), optou-se em condensar as barreiras social e ambiental com a barreira técnica, visto que a temática social analisa o comportamento operacional e os critérios ambientais estão inseridos com as legislações vigentes e em alguns aspectos técnicos. Portanto, as barreiras da presente pesquisa foram elencadas e agrupadas por segmentos, sendo:

- Técnica: neste agrupamento foram considerados os conceitos ligados diretamente com a execução das obras, como a falta de projeto executivo bem elaborado e compatibilizado, alterações de projeto por parte do cliente, inadequada descarga de material, armazenamento não adequado de materiais, falta de qualidade dos materiais de construção, falta do planejamento e da gestão de obra, falta de capacitação operacional e de educação ambiental na empresa e alterações climáticas;
- Econômica: aqui foram agrupados os conceitos financeiros que influenciam e facilitam a gestão dos RCC em canteiro de obras, como a falta de recurso financeiro, falta de retorno econômico com a reciclagem de RCC e custo de implantação de novas tecnologias;
- Legal: os aspectos regulatórios foram analisados mediante os conceitos burocráticos, além da influência que as legislações exercem sobre os profissionais (técnicos e operacionais) em relação ao comportamento responsável e ético com o meio ambiente. Portanto, esse agrupamento recebeu como conceitos a falta de detalhamento ambiental no contrato, falta de legislação vigente e de incentivo governamental e falta da fiscalização de obras.

2.7 O MÉTODO FUZZY-DEMATEL

As decisões que envolvem critérios distintos, como possíveis respostas para a melhor tomada de decisão, são conhecidas como métodos de decisão multicritério. Em inglês, utiliza-se o termo *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) (LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2013).

Nos métodos MCDM, o agente decisório pode ser apenas uma pessoa ou mais de uma, bem como pode existir mais de um critério para avaliação do problema proposto. Para modelar os problemas e dificuldades enfrentados pelas empresas e seus gestores de obra na implementação da gestão de resíduos eficiente e, conseqüente redução dos mesmos nos canteiros de obras de edificações comerciais de médio porte, foi adotado o desenvolvimento do método multicritério DEMATEL, devido a facilidade de interpretação dos resultados no diagrama causal que é gerado como resultado final da aplicação do método.

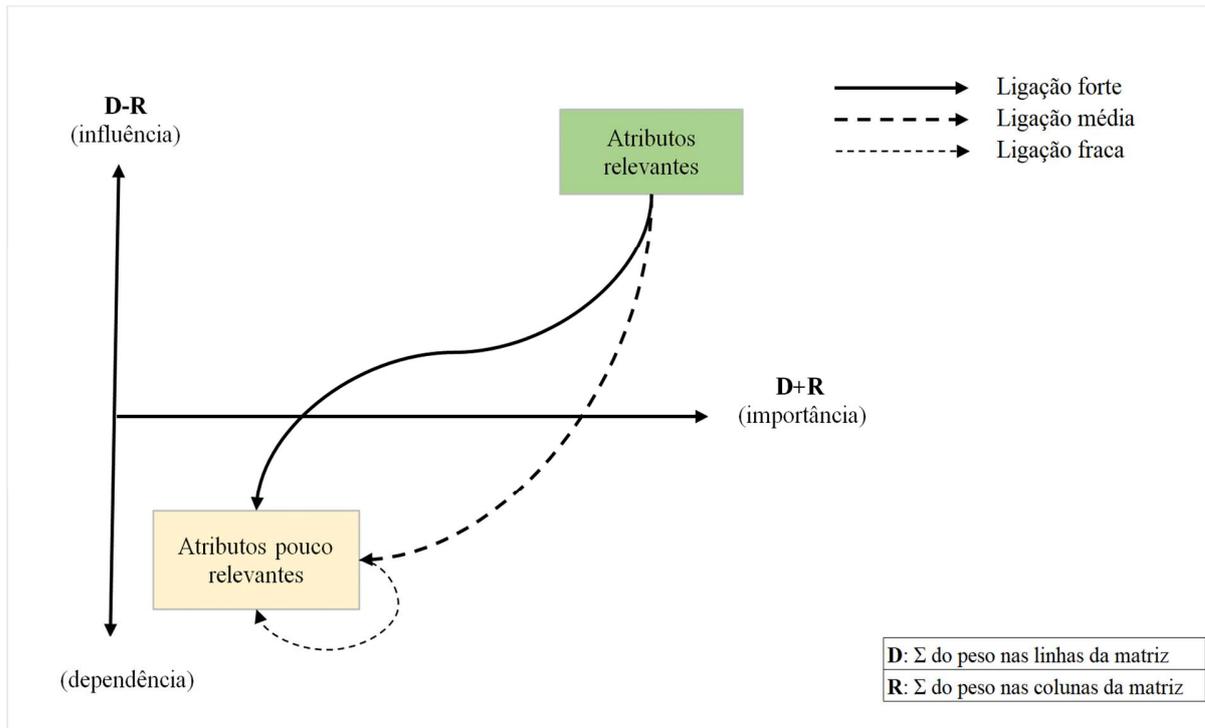
Existem várias técnicas para explorar modelos que auxiliem nas tomadas de decisões complexas e subjetivas. Dentre essas técnicas, está a ferramenta DEMATEL, criada no Instituto Memorial Battelle de Genebra no Programa de Ciência e Assuntos Humanos por Gabus e Fontela, em 1972 (TSAI; CHOU, 2009; RODRIGUES, 2017). Essa ferramenta analisa a dependência entre fatores e permite avaliar de forma estruturada a relação de causa e efeito entre os critérios (RODRIGUES, 2017; ZHANG et al., 2019), ou barreiras no caso da presente pesquisa.

A lógica dos conjuntos *fuzzy* é incorporada na técnica DEMATEL para auxiliar nas divergências para a tomada de decisão, tratando matematicamente as imprecisões de julgamento dos tomadores de decisões (MAVI; STANDING, 2018). Devido a sua simplicidade e eficiência computacional, o uso de números *fuzzy* triangulares para representar os termos linguísticos é utilizado por diversos autores.

A lógica *fuzzy* foi incorporada ao método DEMATEL também devido à subjetividade das respostas e das incertezas humanas ao responder os questionários (RODRIGUES, 2017). Esse método é amplamente utilizado para solucionar problemas complicados, porém interligados (TSAI; CHOU, 2009), e que possuam relevância para se obter uma proposta ou resposta final, a partir da relação de uma estrutura de rede e seu grau de interdependência.

Na presente pesquisa, o resultado das interações tem por finalidade apresentar um resultado gráfico conforme o gráfico esquemático contido na Figura 3, com intuito de analisar as causas e efeitos das barreiras propostas na análise da redução de RCC.

Figura 3 - Gráfico esquemático do diagrama causal do resultado a ser obtido na pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Diante de um problema, a tomada de decisões se torna intuitiva quando o tomador escolhe uma alternativa baseando-se em apenas um critério. No entanto, para problemas com inúmeras alternativas e com vários critérios a serem considerados, a tomada de decisões se torna complexa, exigindo a utilização de ferramentas adequadas e precisas para se obter uma decisão com baixo risco e mais efetiva do problema (RODRIGUES, 2017).

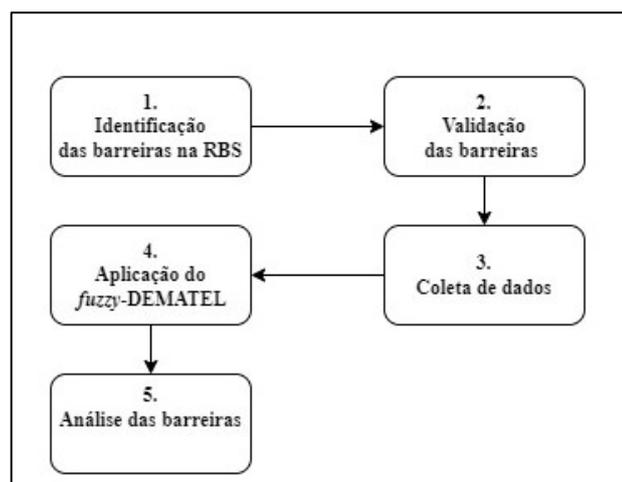
O *fuzzy*-DEMATEL sido utilizada para investigações semelhantes ao objetivo da presente pesquisa, pois o uso da lógica *fuzzy* possibilita um tratamento mais adequado da incerteza e imprecisão das avaliações dos especialistas. Exemplo semelhante de aplicação do *fuzzy*-DEMATEL pode ser visto no trabalho de Negash et al. (2021) ao abordar as barreiras regulatórias na gestão sustentável dos RCC na Somalilândia. Outro exemplo do uso de *fuzzy*-DEMATEL é encontrado na literatura de Zhang et al. (2019) no tratamento das barreiras para uma gestão inteligente de resíduos na economia circular da China. Mavi e Standing (2018) também abordaram a aplicação do *fuzzy*-DEMATEL na análise dos fatores críticos de sucesso para a gestão de projetos sustentáveis na construção.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa é exploratória e bibliográfica, com análise quantitativa dos dados. O framework da pesquisa com as etapas do trabalho está apresentado na Figura 4. O início se deu com a busca de artigos relacionados ao tema da pesquisa a partir de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) dentro da definição do problema de pesquisa (objetivo). No passo 2, as barreiras encontradas na RBS foram validadas por especialistas acadêmicos, com o intuito de avaliar o levantamento encontrado na literatura.

Em seguida, foi elaborado um formulário conforme orientações do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), tendo o formulário elaborado sido submetido a avaliação deste comitê para aprovação antes de sua aplicação. O formulário foi aplicado em obras comerciais de médio porte no Brasil, com respostas coletadas de gestores de obras, responsáveis pela equipe de canteiro. Todos os dados obtidos na pesquisa bibliográfica e em campo foram armazenados em planilhas programadas do Microsoft Excel®, finalizando o passo 3. Depois da coleta de dados e da quantificação dos pesos, foi aplicado o método multicritério *fuzzy-DEMATEL*, conforme descrito no passo 4. Por fim, no passo 5, foi feita uma análise das barreiras com a aplicação do método, permitindo a discussão dos resultados da pesquisa.

Figura 4 - Framework da metodologia da presente pesquisa.



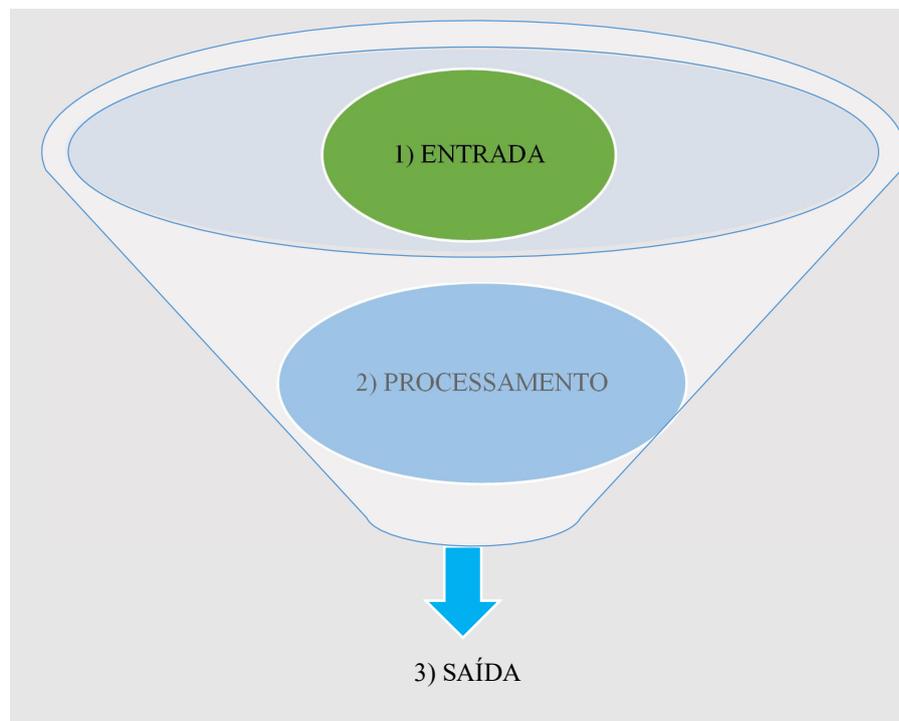
Fonte: Da autora (2022).

3.1 IDENTIFICAÇÃO DAS BARREIRAS NA RBS

O método da RBS é fundamental para que se tenha uma pesquisa confiável, metódica e com alcance de melhores resultados na busca por artigos científicos. Esse método aumenta a consistência da pesquisa ao possibilitar relacionar o tema com trabalhos já publicados, além de evitar trabalhos em duplicidade (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

O roteiro para elaboração da RBS foi adaptado do modelo proposto por Conforto, Amaral e Silva (2011), chamado de RBS *Roadmap*. Conforme esquema ilustrado pela Figura 5, foram definidas 3 etapas para o processo de busca: Entrada, Processamento e Saída.

Figura 5 - Fases para condução da RBS.



Fonte: Da autora (2022).

Na Entrada foram definidos os critérios de elegibilidade. Para iniciar o processo de busca na literatura, primeiramente foi definido a questão de pesquisa a ser explorada: “identificar as principais barreiras para a redução de RCC”. A partir disso foi iniciada a busca de artigos na plataforma *Scopus*. Os critérios de elegibilidade utilizados no filtro de busca foram: apenas artigos, publicados em inglês, no período de 2012 a 2022, com disponibilização em acesso aberto. Foram

excluídos no filtro de buscas documentos do tipo notas e revisão de conferência. A área subjetiva para a busca foram todas as ciências físicas. A busca na plataforma *Scopus* foi restringida ao título, resumo e palavras-chave dos arquivos que continham as palavras de entrada (*string*) escolhidas para a pesquisa. O operador booleano utilizado para os domínios de busca foi o AND. A *string* de busca inicial utilizada foi “*management AND barrier AND construction AND waste*”. A segunda *string* de busca foi “*barrier AND reduction AND construction AND waste*”.

A partir dessas entradas, no Processamento foram encontrados 169 documentos nos resultados de buscas, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Strings para busca de artigos na plataforma Scopus.

PARÂMETRO DE BUSCA	DESCRIÇÃO
PRIMEIRO <i>STRING</i> DE BUSCA	
Palavras-chaves	<i>management AND barrier AND construction AND waste</i>
Total de documentos	120
SEGUNDO <i>STRING</i> DE BUSCA	
Palavras-chaves	<i>barrier AND reduction AND construction AND waste</i>
Total de documentos	49
<i>STRING 1 + STRING 2</i>	
Total de documentos	169

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

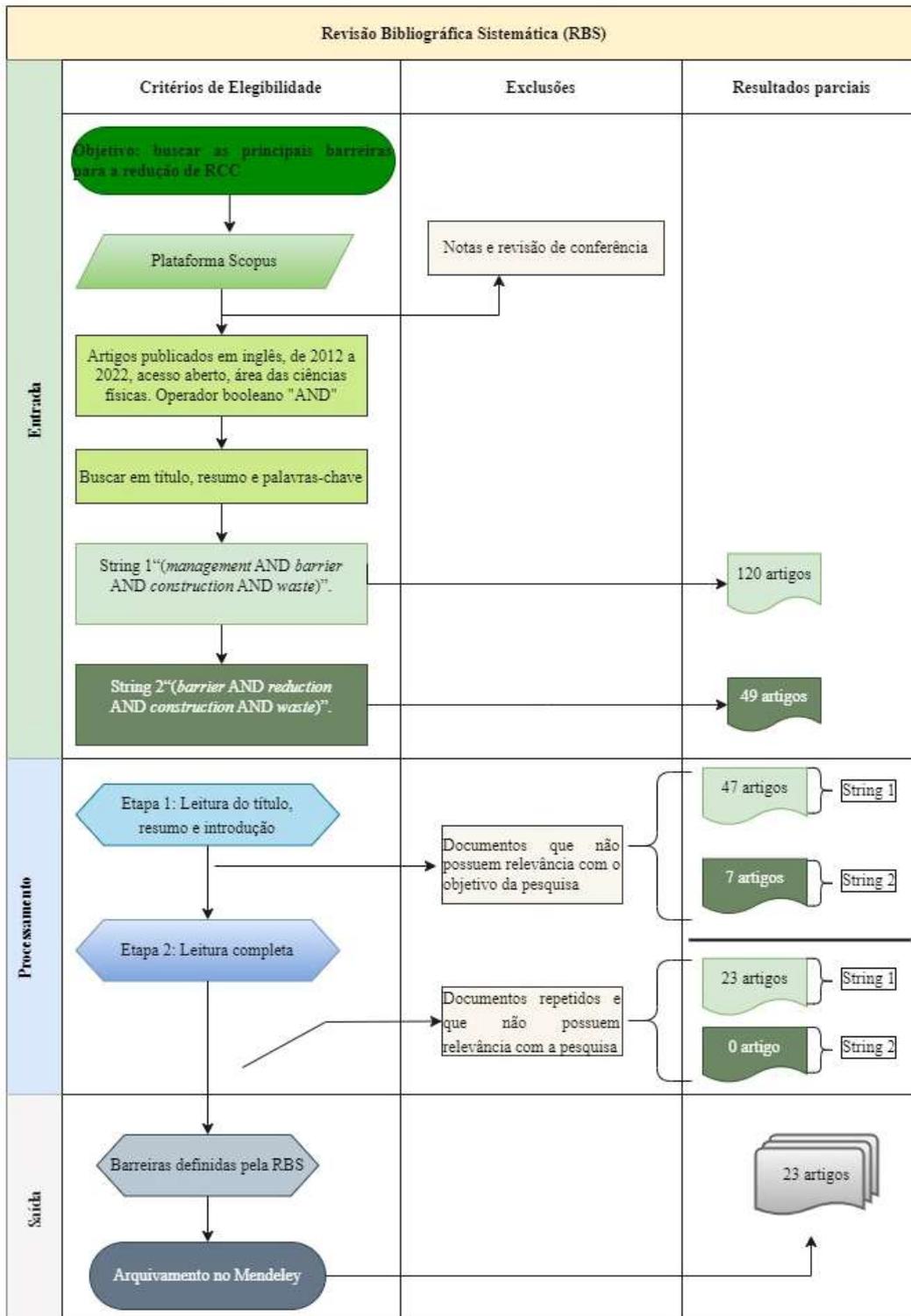
No Processamento foram definidas duas etapas de avaliação dos documentos: etapa um, que correspondeu à leitura parcial e etapa dois, que correspondeu à leitura completa dos artigos. Com isso, foi elaborado um arquivamento em planilhas do Microsoft Excel® dos 169 documentos encontrados, ordenando-os por título, autores, ano de publicação, país e base de dados.

A etapa um de leitura consistiu na leitura do título, resumo e introdução. Nessa verificação foram excluídos os documentos que não possuíam relevância com o objetivo da pesquisa e os

documentos repetidos, restando 47 artigos para a “*string 1*” e 7 arquivos para a “*string 2*”, totalizando 54 documentos.

A etapa dois consistiu na leitura da metodologia e resultados dos 54 artigos, que resultaram em 23 artigos para a elaboração das barreiras. Os 23 artigos selecionados foram arquivados no *Mendeley*®, um software utilizado para gerenciar e criar referências bibliográficas para trabalhos acadêmicos. O fluxograma da Figura 6 apresenta resumidamente as etapas descritas no processo da RBS.

Figura 6 - Fluxograma do processo para definição das barreiras por meio da RBS.



Fonte: Da autora (2022).

3.2 VALIDAÇÃO DAS BARREIRAS

Após a definição das barreiras obtidas através da RBS, foram convidados os especialistas acadêmicos da área de pesquisa para avaliar, classificar e validar as barreiras apresentadas no resultado da RBS, conforme sua pertinência. Essa etapa da pesquisa tem a importância fundamentada na proposta de confirmação somente dentro da busca de artigos encontrados na RBS. Com essa etapa foi possível dar credibilidade e corroborar as barreiras levantadas antes da coleta de dados.

3.3 COLETA DE DADOS

A população de estudo considerada elegível para participar da pesquisa foi formada por engenheiros civis com a função ou cargo de gestor de obras, que atuassem em canteiros de obras comerciais no Brasil. O recrutamento foi feito com amostragem por conveniência, em que os participantes foram escolhidos de acordo com a facilidade de acesso e disponibilidade em participar da pesquisa.

A coleta de dados foi realizada por meio de e-mails encaminhados aos elegíveis, disponibilizando o link do formulário no *Google Forms*. Em sequência, houve um segundo contato com o entrevistado, em que foi encaminhado o questionário em Microsoft Excel® para o preenchimento da matriz a ser utilizada no método *fuzzy-DEMATEL*. O preenchimento da tabela foi inicialmente orientado pela pesquisadora aos participantes, para que estes pudessem preencher corretamente a matriz.

O formulário foi respondido em dois passos: o primeiro correspondeu à primeira aba da planilha com as perguntas de identificação profissional do indivíduo e da empresa, que auxiliaram na análise dos resultados obtidos ao permitir traçar um perfil de experiência dos gestores que participaram da pesquisa. Destaca-se que dentre essas perguntas não houve a identificação pessoal de qualquer tipo, seja da pessoa ou da empresa, visto que tais informações não possuem relevância para os resultados da pesquisa, garantindo o sigilo e a privacidade do participante. O segundo passo foi o preenchimento da segunda aba da tabela, utilizada para a coleta de dados do *fuzzy-DEMATEL*.

Na matriz, as barreiras encontradas na RBS foram agrupadas em 14 linhas e 14 colunas, contendo a definição individual de cada barreira, a serem interpretadas baseando-se em uma escala qualitativa com termos linguísticos, para posterior interação dessas barreiras em vários passos seguindo a técnica do método, conforme apêndice A.

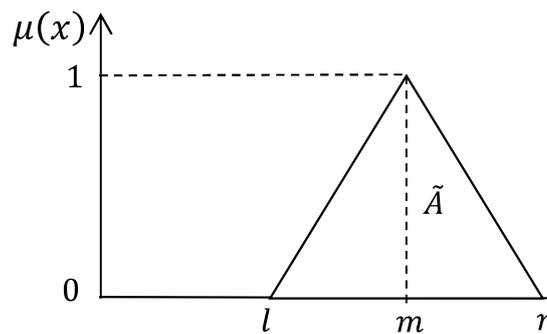
A coleta de dados passou antes pela submissão na Plataforma Brasil para apreciação e aprovação (CAAE número 58880922.0.0000.5154) do CEP da UFTM. Além disso, todos os envolvidos na pesquisa receberam e assinaram eletronicamente um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

3.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO FUZZY-DEMATEL

No uso da ferramenta *fuzzy*-DEMATEL, os números *fuzzy* triangulares são representados pela função de pertinência definida pela equação 1, e tem o valor máximo de x representado por m , os valores mínimos e máximos do intervalo são representados por l e r , respectivamente, conforme a Figura 7.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{x-r}{m-r}, & m \leq x \leq r \\ 0, & x \geq r \end{cases} \quad (1)$$

Figura 7 - Gráfico da função fuzzy triangular.



Fonte: Adaptado de Osiro (2013).

Sendo os números *fuzzy* triangulares $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, r_1)$ e $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, r_2)$ e a constante k , as operações básicas são representadas pelas equações de 2 a 6 (MAVI; STANDING, 2018; ZHANG et al., 2019).

$$(l_1, m_1, r_1) \oplus (l_2, m_2, r_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, r_1 + r_2) \quad (2)$$

$$(l_1, m_1, r_1) \ominus (l_2, m_2, r_2) = (l_1 - r_2, m_1 - m_2, r_1 - l_2) \quad (3)$$

$$(l_1, m_1, r_1) \otimes (l_2, m_2, r_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, r_1 r_2) \quad (4)$$

$$k. (l_1, m_1, r_1) = (k. l_1, k. m_1, k. r_1) \quad (5)$$

$$(l_1, m_1, r_1)^{-1} = \left(\frac{1}{l_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{r_1}\right) \quad (6)$$

Para aplicação do *fuzzy*-DEMATEL na pesquisa, a seguinte sequência de procedimentos foi considerada, baseando -se na metodologia de Mavi e Standing (2018). No procedimento 1 as barreiras (n) foram dispostas no formato de uma matriz \tilde{Z} , com dimensão $[n \times n]$, sendo as barreiras da linha o fator i e as barreiras da coluna o fator j . O tomador de decisão, ou especialista gestor de obras, realizou a análise a partir da pergunta “Qual a influência da barreira linha sobre a barreira coluna?“, respondendo de acordo com o problema proposto, ou seja, para reduzir a geração de RCC no canteiro de obras comerciais de médio porte no Brasil. Essa pergunta traduz a lógica de como um fator i afeta um fator j e como o fator j é afetado por um fator i . As respostas foram dadas utilizando variáveis linguísticas para expressar diferentes graus de influência, de acordo com uma escala de termo linguístico. A incorporação da lógica *fuzzy* é representada pelos números triangulares $\tilde{z}_{ij} = (l, m, r)$, sendo l o limite inferior do intervalo, m o valor característico e r o limite superior, de acordo com as equações de 1 a 6 e a Tabela 3.

Tabela 3 - Variáveis linguísticas e seus números fuzzy triangulares.

Termos Linguísticos	Abreviação	Escala Numérica	Números <i>fuzzy</i> triangulares		
			l	m	r
Nenhuma influência	(NI)	4	0,00	0,00	0,25
Influência muito baixa	(IMB)	3	0,00	0,25	0,50
Influência baixa	(IB)	2	0,25	0,50	0,75
Influência alta	(IA)	1	0,50	0,75	1,00
Influência muito alta	(IMA)	0	0,75	1,00	1,00

Fonte: Calache et al (2021).

O agente decisório, especialista e gestor da obra, responsável por responder o questionário, foi também o responsável pelos valores de julgamento dos critérios avaliados, dando o peso para cada resposta das barreiras avaliadas, definindo assim o grau de pertinência de cada critério de decisão. Cada gestor de obra gerou um julgamento que proporcionou a construção de uma matriz de relação direta. Com isso, aplicou-se as equações 7 e 8 nos valores da matriz inicial \tilde{Z} , e obteve-

se então a matriz normalizada \tilde{X} , também com dimensão $[n \times n]$. Na matriz normalizada a soma dos valores de cada linha, ou coluna, não pode ser maior do que 1. Essa etapa representa a média dos julgamentos dos gestores de obras que participaram da pesquisa.

$$S = \max_{1 \leq i \leq n} (\sum_{j=1}^n \tilde{r}_{ij}) \quad (7)$$

$$\tilde{X}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{S} = \left(\frac{l_{ij}}{S}, \frac{m_{ij}}{S}, \frac{r_{ij}}{S} \right) \quad (8)$$

O Procedimento 2 consiste em configurar a matriz de relação total T a partir da matriz identidade I, na sequência das equações 9, 10, 11 e 12.

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{t}_{11} & \cdots & \tilde{t}_{1n} \\ \tilde{t}_{n1} & \cdots & \tilde{t}_{nn} \end{bmatrix}, \text{ onde } \tilde{t}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, r_{ij}) \quad (9)$$

$$\text{matriz } [l_{ij}] = X_l x (I - X_l)^{-1} \quad (10)$$

$$\text{matriz } [m_{ij}] = X_m x (I - X_m)^{-1} \quad (11)$$

$$\text{matriz } [r_{ij}] = X_r x (I - X_r)^{-1} \quad (12)$$

O Procedimento 3 consiste em calcular os efeitos totais exercidos por uma barreira, direta ou indiretamente, obtido com a equação 13. Os efeitos recebidos são obtidos com a equação 14.

$$\tilde{D}_i = (\sum_{j=1}^n l_{ij}; \sum_{j=1}^n m_{ij}; \sum_{j=1}^n r_{ij}) \quad (13)$$

$$\tilde{R}_j = (\sum_{i=1}^n l_{ij}; \sum_{i=1}^n m_{ij}; \sum_{i=1}^n r_{ij}) \quad (14)$$

O Procedimento 4 consiste em aplicar o método de “defuzzificação”, em que se utiliza o centro de área G_i para considerar todos os valores ativados dentro dessa área e assumir uma posição centralizada. A equação 15 é utilizada para se obter o centro de área de um número triangular *fuzzy*.

$$G_i = \frac{(r_i - l_i) + (m_i - l_i)}{3} + l_i \quad (15)$$

O Procedimento 5 consiste em gerar o diagrama causal com os resultados da etapa anterior, possibilitando analisar as prioridades e relações de influências entre as barreiras. Para se obter o grau de importância de uma barreira usa-se a relação contida na equação 16 e para obter o grau de influência da barreira usa-se a relação contida na equação 17. Ou seja, se o valor for positivo isso significa que a barreira influencia as demais barreiras. Se o valor for negativo isso quer dizer que a barreira é influenciada pelas demais. Essa é uma análise de importância x relação, e que deve ser analisada no diagrama de acordo com o problema proposto (objetivo da pesquisa). Após a “defuzzificação” de $(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)$ e $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)$, obtém-se as equações 16 e 17, as quais são usadas para gerar o gráfico do diagrama causal.

$$(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)^{def} \quad (16)$$

$$(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)^{def} \quad (17)$$

Por último, o Procedimento 6 consiste em analisar as relações fortes no diagrama causal para verificação das relações de maior impacto entre as barreiras (ZHANG *et al.*, 2019). Para se obter essas relações no diagrama é necessário calcular o desvio padrão (σ) na matriz T “defuzzificada”, para posteriormente obter o limite definido como a média da matriz T “defuzzificada” somada a 1,5 (z) do desvio padrão (σ) aplicado, conforme equação 18.

$$\text{limite} = \text{média} + (z * \sigma) \quad (18)$$

3.5 ANÁLISE DAS BARREIRAS

Nesta etapa foram identificadas as barreiras com relações fortes de dependência, as mais influentes, as que possuem maior importância, as que são interligadas e aquelas que recebem maior influência das demais, a partir da aplicação do método *fuzzy*-DEMATEL.

Essas interpretações foram extraídas do diagrama causal, que é o resultado final do método *fuzzy*-DEMATEL. Esse gráfico permite fazer as interações mencionadas para sabermos as relações

entre as barreiras, ajudando interpretar os resultados no entorno do objetivo principal da pesquisa. Esta análise das barreiras permite identificar as relações mais expressivas, que é fundamental para planos de intervenções para redução do RCC em canteiro de obras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

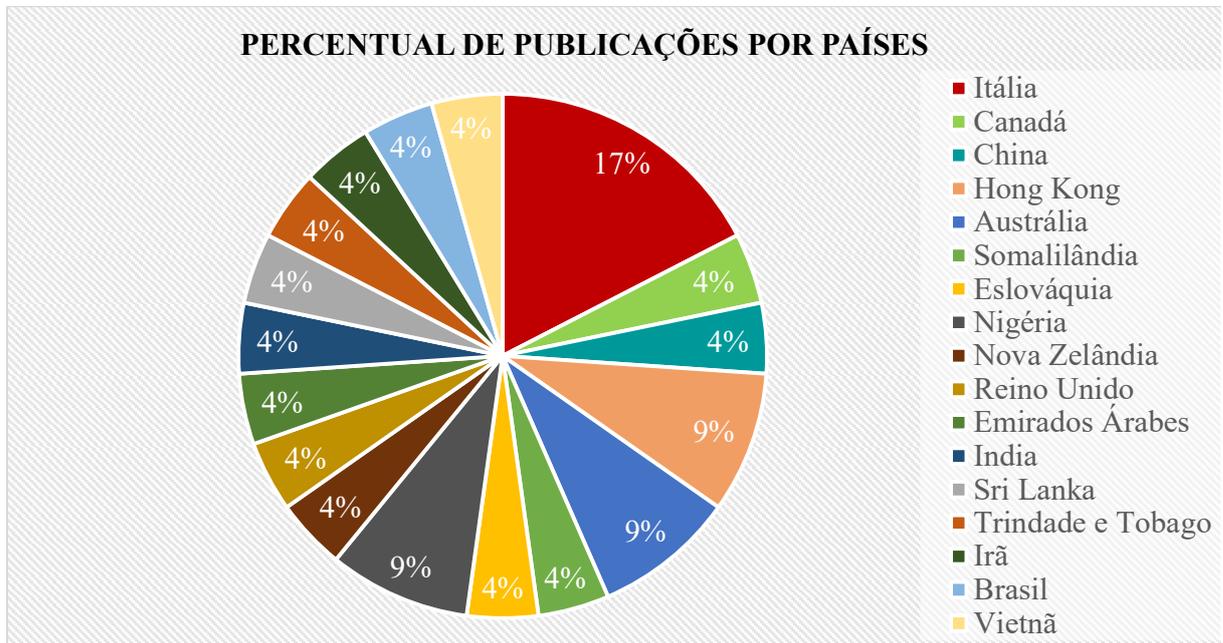
Este capítulo apresenta a sequência dos resultados obtidos na pesquisa. Inicialmente serão discutidas as barreiras levantadas a partir da RBS. A seguir, será descrita a validação das barreiras por especialistas acadêmicos. O terceiro aspecto apresentado será a coleta de dados, com a caracterização dos especialistas gestores de obras. Em sequência, serão elencados os resultados obtidos a partir da aplicação do método *fuzzy*-DEMATEL. Por fim, será realizada a análise das barreiras.

4.1 BARREIRAS LEVANTADAS A PARTIR DA RBS

Com a conclusão da RBS foi possível confirmar as barreiras levantadas na revisão bibliográfica.

Dentre os 23 artigos selecionados para o levantamento das barreiras, houve maior número de publicações da Itália (quatro artigos), seguido pelo empate de Hong Kong, Nigéria e Austrália, ambos com duas publicações. Todos os demais países aparecem com apenas uma publicação na busca realizada. O elevado número de publicações da Itália reforça as preocupações que o país europeu enfrenta com espaços restritos para a deposição dos RCC gerados (CONDOTTA; ZATTA, 2021). O gráfico da Figura 8 ilustra o percentual de cada país dentre os artigos selecionados para a aplicação da pesquisa.

Figura 8 - Gráfico percentual de países dentre os artigos selecionados para o levantamento de barreiras.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os Quadros 3 a 5 apresentam a separação das referências obtidas na literatura e as respectivas barreiras identificadas em seus estudos. As 14 barreiras identificadas na literatura foram codificadas para uso do método *fuzzy*-DEMATEL e a codificação referente a cada barreira está apresentada na primeira coluna dos respectivos quadros.

Quadro 3 - Barreiras técnicas que impedem a redução de RCC em canteiro de obras. (continua)

Cód.	Barreiras	Referências
B1	Falta de projeto executivo bem elaborado e compatibilizado	Giorgi et al. (2022); Condotta e Zatta (2021); Negash et al. (2021); Spišáková, Mésároš e Mandičák (2021); Olanrewaju e Ogunmakinde (2020); Pellegrini et al. (2020); Low et al. (2020); Mawed, Al nuaimi e Kashawni (2020); Vidyasekar (2019); Liyanage, Waidyasekara e Mallawaarachchi (2019); Narcis, Ray e Hosein (2019); Mahpour (2018); Udawatta et al. (2018); Ling e Nguyen (2013), Souza Campos et al. (2013).
B2	Alterações de projeto requeridas pelo cliente	Spišáková, Mésároš e Mandičák (2021); Olanrewaju e Ogunmakinde (2020); Pellegrini et al. (2020); Mawed, Al nuaimi e Kashawni (2020); Liyanage, Waidyasekara e Mallawaarachchi (2019); Narcis, Ray e Hosein (2019).

(conclusão)

Cód.	Barreiras	Referências
B3	Manejo inadequado no recebimento do material	Olanrewaju egunmakinde (2020); Low et al. (2020); Mawed, Al nuaimi e Kashawni (2020); Liyanage, Waidyasekara e Mallawaarachchi (2019); Narcis, Ray e Hosein (2019).
B4	Armazenamento inadequado de materiais.	Olanrewaju e Ogunmakinde (2020); Mawed, Al nuaimi e Kashawni (2020); Narcis, Ray e Hosein (2019).
B5	Baixa qualidade dos materiais de construção	Spišáková, Mésároš e Mandičák (2021); Olanrewaju, Ogunmakinde (2020); Low et al. (2020); Ratnasabapathy, Lashwal e Perera (2021); Mawed, Al nuaimi e Kashawni, (2020); Liyanage, Waidyasekara e Mallawaarachchi (2019); Narcis, Ray, Hosein (2019); Mahpour (2018).
B6	Falta de Planejamento e Gestão de obra	Liu et al. (2021); Negash et al. (2021); Bao, Lee e Lu, (2020); Spišáková, Mésároš e Mandičák (2021); Olanrewaju e Ogunmakinde (2020); Pellegrini et al.(2020); Low et al. (2020); Bailey et al., (2020); Ratnasabapathy, Alashwal e Perera (2021); Mawed, Al nuaimi e Kashawni (2020); Vidyasekar (2019); Liyanage, Waidyasekara e Mallawaarachchi (2019); Narcis, Ray e Hosein (2019); Mahpour (2018); Udawatta et al. (2018); Owolana e Booth (2016); Ling e Nguyen (2013).
B7	Falta de capacitação operacional e de educação ambiental na empresa.	Giorgi et al. (2022); Liu et al. (2021); Yu, Wong e Mok (2021); Spišáková, Mésároš e Mandičák (2021); Olanrewaju, Ogunmakinde (2020); Pellegrini et al (2020); Low et al. (2020); Bailey et al. (2020); Ratnasabapathy, Alashwal e Perera (2021); Mawed, Al nuaimi e Kashawni (2020); Vidyasekar (2019); Liyanage, Waidyasekara e Mallawaarachchi (2019); Narcis, Ray e Hosein (2019); Mahpour (2018); Udawatta et al. (2018); Owolana e Booth (2016); Ling e Nguyen (2013); Souza Campos et al. (2013).
B8	Alterações climáticas	Mawed, Al nuaimi e Kashawni (2020); Narcis, Ray e Hosein (2019).

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Quadro 4 - Barreiras econômicas que impedem a redução de RCC em canteiro de obras.

Cód.	Barreiras	Referências
B9	Falta de recurso financeiro	Negash et al. (2021); Spišáková, Mésároš e Mandičák (2021); Olanrewaju e Ogunmakinde (2020); Bailey et al. (2020); Ratnasabapathy, Alashwal e Perera (2021); Mawed; Al nuaimi e Kashawni (2020); Ling e Nguyen (2013); Souza Campos et al. (2013).
B10	Falta de retorno econômico com a reciclagem dos RCC	Giorgi et al. (2022); Condotta e Zatta (2021); Diotti, Plizzari e Sorlini (2021); Negash et al. (2021); Ratnasabapathy, Alashwal e Perera (2021); Yu, Wong e Mok (2021); Bao, Lee e Lu (2020); Spišáková, Mésároš e Mandičák (2021); Olanrewaju e Ogunmakinde (2020); Low et al. (2020); Bailey et al. (2020); Mawed, Al nuaimi e Kashawni (2020); Liyanage, Waidyasekara e Mallawaarachchi (2019); Mahpour (2018); Udawatta et al. (2018); Owolana e Booth (2016).
B11	Custo de implantação de novas tecnologias	Gagnon et al. (2022); Giorgi et al. (2022); Yu, Wong e Mok (2021); Liu et al. (2021); Condotta e Zatta, 2021); Diotti, Plizzari e Sorlini (2021); Bao, Lee e Lu (2020); Spišáková, Mésároš e Mandičák (2021); Olanrewaju e Ogunmakinde (2020); Ratnasabapathy, Alashwal e Perera (2021); Low et al (2020); Bailey et al (2020); Mawed, Al nuaimi e Kashawni, (2020); Vidyasekar (2019); Liyanage, Waidyasekara e Mallawaarachchi (2019); Mahpour (2018); Udawatta et al. (2018); Owolana e Booth (2016); Souza Campos et al. (2013).

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Quadro 5 - Barreiras legais que impedem a redução de RCC em canteiro de obras.

Cód.	Barreiras	Referências
B12	Falta de detalhamento ambiental no contrato	Spišáková, Mésároš e Mandičák (2021); Olanrewaju e Ogunmakinde (2020); Pellegrini et al. (2020); Ratnasabapathy, Alashwal e Perera (2021); Owolana e Booth (2016); Ling e Nguyen (2013).
B13	Falta de legislação vigente e de incentivo governamental	Giorgi et al. (2022); Gagnon et al. (2022); Liu et al. (2021); Diotti, Plizzari e Sorlini (2021); Negash et al. (2021); Ratnasabapathy, Alashwal e Perera (2021); Spišáková, Mésároš e Mandičák (2021); Yu, Wong e Mok, 2021); Olanrewaju e Ogunmakinde (2020); Pellegrini et al. (2020); Bailey et al. (2020); Mawed, Al nuaimi e Kashawni (2020); Vidyasekar (2019); Liyanage, Waidyasekara e Mallawaarachchi (2019); Narcis, Ray e Hosein (2019); Condotta e Zatta (2021); Bao, Lee e Lu (2020); Low et al. (2020); Mahpour (2018); Udawatta et al. (2018); Owolana e Booth (2016); Ling e Nguyen (2013); Maekawa, Carvalho e Oliveira, (2013).
B14	Falta da fiscalização de obras	Spišáková, Mésároš e Mandičák (2021); Olanrewaju e Ogunmakinde (2020); Pellegrini et al. (2020); Bailey et al. (2020); Ratnasabapathy, Alashwal e Perera (2021); Mawed, Al nuaimi e Kashawni (2020); Liyanage, Waidyasekara e Mallawaarachchi (2019); Mahpour (2018).

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para um melhor entendimento das barreiras encontradas na RBS foi criada a apresentação exemplificada abaixo, com detalhamento individual.

4.1.1 Barreiras técnicas

- **Falta de projeto executivo bem elaborado e compatibilizado:** A falta do projeto bem elaborado refere-se à ausência de um projeto executivo, com todos os elementos e detalhes necessários para a execução, em que deve conter todas as informações suficientes para o cumprimento em todas as etapas da obra, em conformidade com as normas da ABTN, de acordo com a Lei nº 14.133/21 (BRASIL, 2021). A falta desse requisito mínimo de detalhes nos projetos ocasiona

dúvidas e inseguranças que resultarão em erros de execução, que por consequência gerarão retrabalhos e consequente geração de RCC (OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020; PELLEGRINI et al., 2020; RATNASABAPATHY; ALASHWAL; PERERA, 2021). A compatibilização é outro fator importante na fase de projetos, pois a integração entre os projetos evita imprevistos. Os projetistas não estão cientes de que também fazem parte do problema de geração de RCC nas obras, ou não se importam (LING; NGUYEN, 2013; NEGASH et al., 2021). Um projeto bem elaborado, com riqueza de detalhes e compatibilizado evitará retrabalhos, além de otimizar o uso de materiais de construção (CONDOTTA; ZATTA, 2021).

- **Alterações de projeto requeridas pelo cliente:** As alterações de projeto referem-se as indefinições e modificações do contratante (cliente), que geram atrasos, retrabalhos e consequente geração de RCC (MAWED; AL NUAIMI; KASHAWNI, 2020; OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020).
- **Manejo inadequado no recebimento do material:** A inadequada descarga refere-se ao manejo impróprio dos colaboradores no ato do recebimento. As perdas durante o descarregamento dos materiais podem ocorrer devido a indisponibilização de equipamentos ideais (e.g., empilhadeira) e mão de obra insuficiente no ato da descarga (MAWED; AL NUAIMI; KASHAWNI, 2020; OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020).
- **Armazenamento inadequado de materiais:** O armazenamento não adequado refere-se a falta de boas práticas desejáveis no manuseio e controle de materiais em canteiro de obras, o que inclui o armazenamento de material em local compatível com suas especificações (LING; NGUYEN, 2013). Um local bem definido e com acondicionamento ideal, para qualquer tipo de material, pode trazer praticidade e economia, além de evitar perdas na estocagem dos mesmos (NARCIS; RAY; HOSEIN, 2019; MAWED; AL NUAIMI; KASHAWNI, 2020; OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020).
- **Baixa qualidade dos materiais de construção:** A falta de qualidade dos materiais refere-se ao uso de materiais com especificações e procedência não adequadas às exigências dos projetos. A aquisição de materiais e insumos de baixa qualidade ou

sem procedências podem resultar em excessivo consumo na execução, pouca durabilidade e pouco rendimento do material (NARCIS; RAY; HOSEIN, 2019; MAWED; AL NUAIMI; KASHAWNI, 2020; OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020).

- **Falta do Planejamento e Gestão de obra:** A falta de planejamento e de gestão refere-se a ausência de uma boa gestão no canteiro de obras, integrada com todas as etapas dos projetos executivos, e que pode reduzir a geração de resíduos através da antecipação do gestor de obras, evitando retrabalhos, correções, substituição de materiais com mesmo valor técnico e menos impactantes ao meio ambiente (OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020; NEGASH et al., 2021; SPIŠÁKOVÁ; MÉŠÁROŠ; MANDIČÁK, 2021) . O canteiro de obras planejado inclui campo para triagem e segregação dos RCC (NEGASH et al., 2021; RATNASABAPATHY; ALASHWAL; PERERA, 2021).
- **Falta de capacitação operacional e de educação ambiental na empresa:** A falta de capacitação refere-se a desqualificação do setor da construção civil, que possui uma mão de obra majoritariamente desqualificada, o que dificulta na eficiência da gestão de resíduos de RCC (LING; NGUYEN, 2013). Quando uma equipe é bem treinada e motivada, podem ser evitadas perdas durante a execução, sejam elas por negligência, retrabalho ou improdutividade (RATNASABAPATHY; ALASHWAL; PERERA, 2021). A capacitação, somada à educação ambiental, também reduzem os resíduos gerados em obra (LING; NGUYEN, 2013). É a responsabilidade compartilhada (NEGASH et al., 2021; GAGNON et al., 2022) no canteiro de obras para implementar a gestão dos resíduos sólidos, de maneira mais ecológica, econômica e ética, pois a postura ética profissional aumenta a conscientização ambiental dos trabalhadores envolvidos (ZHANG et al., 2019; LIU et al., 2021; RATNASABAPATHY; ALASHWAL; PERERA, 2021). Também no operacional, o transporte e uma logística bem definida no ato da compra minimiza perdas durante o trajeto (OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020), seja pelo acondicionamento da carga, ou pelo tempo de espera pelo recurso no canteiro de obras (LIYANAGE; WAIDYASEKARA; MALLAWAARACHCHI, 2019).

- **Alterações climáticas:** As alterações climáticas referem-se as intempéries, que podem acarretar perdas devido a situações não previstas ou que fogem do controle humano (NARCIS; RAY; HOSEIN, 2019; MAWED; AL NUAIMI; KASHAWNI, 2020).

4.1.2 Barreiras econômicas

- **Falta de recurso financeiro:** A falta de recurso financeiro refere-se a ausência de verba suficiente para a execução dos serviços, incluindo os aditivos previstos no contrato, que definirão a forma como o gestor irá locar seus recursos financeiros disponíveis (CONDOTTA; ZATTA, 2021; SPIŠÁKOVÁ; MÉSÁROŠ; MANDIČÁK, 2021), bem como a forma que usará as ferramentas que possam agregar valor à construção, contribuindo com a qualidade e conseqüentemente com a redução dos resíduos gerados (OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020; NEGASH et al., 2021). Também a necessidade de trabalhar dentro do orçamento estimado para a obra, para não extrapolar o cronograma físico-financeiro, limita possíveis melhorias na gestão de RCC dentro do canteiro de obras (OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020 apud ZHAO e CHUA, 2003; EKANAYAKE e OFORI, 2004; AIYETAN e SMALLWOOD, 2013; OSMANI et al., 2006).
- **Falta de retorno econômico com a reciclagem dos RCC:** A falta de retorno econômico refere-se a imatura aceitação do mercado em relação aos subprodutos originados da reciclagem ou do beneficiamento, que podem gerar retorno financeiro para as empresas que aplicam a gestão no canteiro de obras. Como é o caso do uso do resíduo da madeira serrada para execução de painéis de fibra (MDF: *Medium Density Fiberboard*) ou para o biocarvão (GAGNON et al., 2022). Porém, as incertezas em encontrar um mercado consumidor para essa demanda de produtos reciclados pode gerar insegurança aos gestores (LIU et al., 2021; SPIŠÁKOVÁ; MÉSÁROŠ; MANDIČÁK, 2021). Quanto a reutilização dos RCC, as empresas que implementam uma gestão de resíduos eficiente dentro do próprio canteiro de obras podem perceber, a curto prazo, o retorno econômico que essa prática pode gerar.
- **Custo de implantação de novas tecnologias:** O custo de implantação de novas tecnologias refere-se a prática de aplicação de materiais e/ou equipamentos

inovadores para o uso em obras, que podem gerar economia financeira, além de otimizar o serviço e reduzir a quantidade de resíduos gerados. Porém, algumas barreiras culturais e o alto custo (GAGNON et al., 2022; GIORGI et al., 2022) para implantação na obra podem afetar o uso dessas tecnologias. As tecnologias implementadas no canteiro de obra com equipamentos de reciclagem dos RCC também contribuem com a eficiência na redução dos resíduos gerados (LIU et al., 2021; RATNASABAPATHY; ALASHWAL; PERERA, 2021). O desenvolvimento de tecnologias em pesquisas para os materiais reciclados também é essencial para que se mantenha o desempenho esperado (CONDOTTA; ZATTA, 2021), quando comparado com o material original. Além disso, sem os devidos testes de eficiência do material reciclado, engenheiros e arquitetos responsáveis não se comprometem em utilizá-los na obra (GIORGI et al., 2022).

4.1.3 Barreiras legais

- **Falta de detalhamento ambiental no contrato:** A falta de detalhamento ambiental refere-se a ausência de um contrato bem fundamentado legalmente nos aspectos ambientais, que forcem o gestor da obra a seguir fielmente as práticas corretas para redução, reuso, reciclagem e/ou destinação final do resíduo (PELLEGRINI et al., 2020; CONDOTTA; ZATTA, 2021; RATNASABAPATHY; ALASHWAL; PERERA, 2021). O contrato também pode impor um volume máximo de resíduos a ser gerado na obra (SPIŠÁKOVÁ; MÉŠÁROŠ; MANDIČÁK, 2021).
- **Falta de legislação vigente e de incentivo governamental:** A falta de legislação e de incentivo governamental refere-se a ausência de aspectos legais em vigor e que obriguem aos gestores e demais envolvidos na construção a adotarem medidas mitigadoras para a redução de resíduos (OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020; CONDOTTA; ZATTA, 2021; LIU et al., 2021), além de instruir a forma correta para uma eficiente gestão de resíduos de construção civil. A inação dos governos em fazer cumprir essas leis dificultam a gestão de RCC (LING; NGUYEN, 2013). Já as políticas de incentivo do poder público podem impulsionar a redução de resíduos (LIU et al., 2021; RATNASABAPATHY; ALASHWAL; PERERA, 2021; GAGNON et al., 2022) ao beneficiarem as construtoras que optam pelo reuso, reaproveitamento ou outras posturas sustentáveis. O governo pode impor

maiores taxas de impostos e alto custo para utilização de aterros, o que motivaria a redução de RCC no próprio canteiro de obras (NEGASH et al., 2021; RATNASABAPATHY; ALASHWAL; PERERA, 2021).

- **Falta de fiscalização de obras:** A falta de um fiscal de obras refere-se a ausência de um fiscal atento, presente e responsável, que intimidará o gestor da obra em manter uma qualidade mínima (LIYANAGE; WAIDYASEKARA; MALLAWAARACHCHI, 2019; OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020; LIU et al., 2021; NEGASH et al., 2021), evitando possíveis retrabalhos ou desperdícios.

4.2 VALIDAÇÃO DAS BARREIRAS: ESPECIALISTAS ACADÊMICOS

Após os resultados obtidos com a RBS, as 14 barreiras identificadas foram avaliadas por dois especialistas acadêmicos a fim de validá-las, contribuindo na organização e classificação das mesmas. O Quadro 6 exibe o perfil dos especialistas e suas considerações acerca das barreiras resultantes da RBS. O resultado dessa validação foi positivo, permitindo dar sequência na pesquisa com a coleta de dados.

Quadro 6 - Perfil dos especialistas acadêmicos e validação das barreiras.

Especialista	Perfil acadêmico	O especialista considerou as barreiras válidas?	Considerações e comentários do especialista
AA	Atua na área de Sustentabilidade. Possui Graduação em Engenharia Ambiental, Mestrado em Engenharia de Produção e Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental, ambos pela EESC-USP. Pós-doutorado no programa de Engenharia de Produção da EESC-USP. Têm experiência na área de Ecologia Industrial, Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços, Economia Circular (EC) e EcoInovação.	Sim.	Foram feitas correções conceituais nas definições e exemplificações, sugestões de barreiras ambientais e revisão de agrupamentos.
BB	Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade de Uberaba e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo. Doutoranda da Eindhoven University of Technology/Built Environment/Building Materials. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Construção Civil.	Sim.	A validação foi feita quanto ao estado da arte; clareza e transparência; relevância social e/ou ambiental e quanto a abordagem acadêmica. Parecer positivo nas 14 barreiras analisadas.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.3 COLETA DE DADOS: CARACTERIZAÇÃO DOS ESPECIALISTAS GESTORES DE OBRAS

A amostragem inicial correspondeu a um total de 22 especialistas gestores de obras que responderam ao questionário. Após verificação, foram excluídos 3 participantes que devolveram o questionário com o preenchimento incompleto e com respostas contraditórias, totalizando ao final uma amostra de 19 especialistas (N=19). As tabelas 4 e 5 apresentam um resumo com as características dos participantes e das empresas em que os mesmos atuam, respectivamente.

Tabela 4 - Características demográficas dos participantes da pesquisa.

Especialistas gestores de obras		
Propriedades	Item	Percentual (%)
Gênero	Feminino	26%
	Masculino	74%
Idade	18-25 anos	5%
	26-30 anos	32%
	31-40 anos	53%
	41-50 anos	5%
	Acima de 51 anos	5%
Experiência de trabalho	0-5 anos	47%
	6-10 anos	37%
	11-15 anos	11%
	Acima de 16 anos	5%
Área de estudo	Engenharia civil	100%
	Na área de RCC	26%
Pós-graduação	Outras áreas	47%
	Não possui	27%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Conforme demonstrado nos dados da Tabela 4, a maioria dos participantes são homens com idade entre 31 e 40 anos. Todos os especialistas gestores de obras possuem graduação em Engenharia Civil, sendo que 37% possui tempo máximo de 10 anos de experiência de trabalho na área. Apenas 26% dos entrevistados possuem pós-graduação na área de Gestão de RCC.

Tabela 5 - Características demográficas das empresas em que os especialistas atuam.

Empresas de obras comerciais		
Propriedades	Item	Percentual (%)
Tempo de inserção no mercado	01-04 anos	32%
	05-10 anos	41%
	11- 15 anos	11%
	Acima de 16 anos	16%
Localização (UF)	São Paulo	12%
	Rio de Janeiro	5%
	Minas Gerais	58%
	Goiás	5%
	Alagoas	5%
	Piauí	5%
	Pernambuco	5%
Número de funcionários	Maranhão	5%
	> 50 e <100	84%
	> 100	16%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Sobre as empresas das quais os especialistas são colaboradores, 41% delas possuem de 05 a 10 anos de inserção no mercado. 84% das empresas possuem um quadro de funcionários menor do que 100 colaboradores no canteiro de obras. A maior representatividade das empresas na pesquisa foi na região Sudeste, seguido do Nordeste, conforme a Tabela 5.

4.4 RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DA APLICAÇÃO DO MÉTODO FUZZY-DEMATEL

As avaliações das relações entre as barreiras em termos linguísticos foram convertidas em números *fuzzy* triangulares, seguindo o descrito anteriormente na Tabela 3. A agregação desses valores foi realizada pela média aritmética, sendo que seu uso baseou-se no fato de que não foi considerado que algum especialista tivesse importância maior do que o outro, sendo considerado todos com a mesma importância, por isso foi utilizado o referenciado operador da média como fator de agregação (ZHANG *et al.*, 2019), por meio das equações 2 e 5. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6 que contém a matriz de relação direta (Matriz Z).

A matriz normalizada (Matriz X) foi obtida com a aplicação das equações 7 e 8, e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 7 . A matriz de relação total (Matriz T) foi obtida através das equações de 9 a 12, conforme contido na Tabela 8 .

Os valores de causa e efeito das barreiras foram calculados conforme as equações 13 e 14, enquanto a “defuzzificação” da matriz foi calculada com a equação 15. Os resultados destas operações estão detalhados na Tabela 9.

O diagrama causal das 14 barreiras foi elaborado a partir da aplicação das equações 16 e 17, cujos valores são apresentados nas últimas colunas da Tabela 9. Na Figura 9 o eixo das abscissas determina o grau de importância (D+R) das barreiras. O eixo das ordenadas, por sua vez, determina o grau de influência (D-R).

Tabela 6 - Matriz Z: matriz de relação direta. (continua)

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1	(0; 0; 0)	(0,67; 0,92; 1)	(0,16; 0,32; 0,55)	(0,29; 0,5; 0,74)	(0,29; 0,51; 0,74)	(0,68; 0,93; 0,99)	(0,41; 0,59; 0,75)	(0,04; 0,11; 0,36)	(0,59; 0,82; 0,92)	(0,24; 0,43; 0,67)	(0,47; 0,7; 0,88)	(0,38; 0,57; 0,74)	(0,33; 0,51; 0,7)	(0,55; 0,76; 0,86)
B2	(0,67; 0,92; 0,99)	(0; 0; 0)	(0,33; 0,53; 0,7)	(0,38; 0,58; 0,74)	(0,26; 0,46 ; 0,67)	(0,61; 0,84; 0,95)	(0,36; 0,54; 0,7)	(0,13; 0,28; 0,51)	(0,61; 0,84; 0,95)	(0,21; 0,39; 0,62)	(0,46; 0,64; 0,79)	(0,45; 0,66; 0,83)	(0,24; 0,39; 0,61)	(0,49; 0,68; 0,8)
B3	(0,28; 0,42; 0,63)	(0,26; 0,42; 0,63)	(0; 0; 0)	(0,62; 0,87; 0,97)	(0,34; 0,57; 0,78)	(0,5; 0,72; 0,86)	(0,53; 0,75; 0,89)	(0,32; 0,53; 0,75)	(0,36; 0,55; 0,76)	(0,25; 0,45; 0,66)	(0,25; 0,46; 0,68)	(0,28; 0,47; 0,68)	(0,22; 0,37; 0,59)	(0,47; 0,7; 0,88)
B4	(0,29; 0,46; 0,67)	(0,3; 0,47; 0,7)	(0,57; 0,8; 0,95)	(0; 0; 0)	(0,39; 0,62; 0,79)	(0,59; 0,83; 0,95)	(0,54; 0,76; 0,89)	(0,38; 0,58; 0,76)	(0,46; 0,68; 0,83)	(0,34; 0,57; 0,78)	(0,26; 0,49; 0,72)	(0,3; 0,5; 0,71)	(0,29; 0,46; 0,66)	(0,53; 0,75; 0,89)
B5	(0,33; 0,51; 0,74)	(0,29; 0,47; 0,67)	(0,37; 0,58; 0,78)	(0,43; 0,63 ; 0,79)	(0; 0; 0)	(0,47; 0,68; 0,84)	(0,39; 0,59; 0,76)	(0,32; 0,49; 0,67)	(0,61; 0,82; 0,88)	(0,39; 0,64; 0,86)	(0,43; 0,62; 0,8)	(0,34; 0,54; 0,72)	(0,25; 0,42; 0,64)	(0,49; 0,68; 0,82)
B6	(0,62; 0,87; 0,96)	(0,61; 0,86; 0,96)	(0,62; 0,87; 0,97)	(0,62; 0,87; 0,97)	(0,54; 0,79; 0,96)	(0; 0; 0)	(0,5; 0,74; 0,88)	(0,24; 0,39; 0,61)	(0,57; 0,8; 0,92)	(0,33; 0,54; 0,75)	(0,41; 0,63; 0,83)	(0,41; 0,62; 0,82)	(0,26; 0,46; 0,68)	(0,61; 0,82; 0,88)
B7	(0,36; 0,57; 0,75)	(0,29; 0,47; 0,68)	(0,63; 0,88; 0,99)	(0,61; 0,86; 0,96)	(0,38; 0,61; 0,79)	(0,58; 0,83; 0,97)	(0; 0; 0)	(0,14; 0,24; 0,47)	(0,5; 0,72; 0,87)	(0,38; 0,61; 0,78)	(0,51; 0,74; 0,89)	(0,37; 0,58; 0,76)	(0,32; 0,53; 0,72)	(0,46; 0,66; 0,79)
B8	(0,13; 0,24; 0,46)	(0,2; 0,36; 0,58)	(0,3; 0,49; 0,7)	(0,43; 0,63; 0,82)	(0,22; 0,39; 0,61)	(0,32; 0,49; 0,7)	(0,13; 0,22; 0,46)	(0; 0; 0)	(0,09; 0,2; 0,45)	(0,07; 0,17; 0,42)	(0,09; 0,21; 0,46)	(0,09; 0,18; 0,43)	(0,05; 0,11; 0,36)	(0,16; 0,26; 0,49)

(conclusão)

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B9	(0,59; 0,83; 0,95)	(0,57; 0,8; 0,93)	(0,42; 0,64; 0,84)	(0,45; 0,68; 0,86)	(0,64; 0,88; 0,96)	(0,57; 0,8; 0,92)	(0,61; 0,84; 0,96)	(0,12; 0,21; 0,45)	(0; 0; 0)	(0,42; 0,67; 0,88)	(0,67; 0,92; 0,99)	(0,41; 0,64; 0,84)	(0,29; 0,5; 0,71)	(0,5; 0,72; 0,87)
B10	(0,34; 0,55; 0,76)	(0,28; 0,45; 0,67)	(0,22; 0,39; 0,63)	(0,32; 0,5; 0,74)	(0,38; 0,61; 0,8)	(0,26; 0,42; 0,64)	(0,38; 0,59; 0,79)	(0,13; 0,25; 0,49)	(0,37; 0,59; 0,8)	(0; 0; 0)	(0,41; 0,63; 0,84)	(0,36; 0,57; 0,78)	(0,39; 0,62; 0,82)	(0,24; 0,43; 0,64)
B11	(0,39; 0,61; 0,84)	(0,37; 0,58; 0,79)	(0,3; 0,51; 0,71)	(0,38; 0,61; 0,82)	(0,5; 0,72; 0,88)	(0,5; 0,75; 0,91)	(0,54; 0,78; 0,91)	(0,12; 0,26; 0,49)	(0,61; 0,84; 0,93)	(0,47; 0,7; 0,87)	(0; 0; 0)	(0,38; 0,61; 0,8)	(0,36; 0,58; 0,82)	(0,29; 0,47; 0,68)
B12	(0,39; 0,59; 0,76)	(0,38; 0,57; 0,78)	(0,34; 0,57; 0,78)	(0,37; 0,55; 0,74)	(0,38; 0,61; 0,82)	(0,54; 0,79; 0,92)	(0,45; 0,7; 0,87)	(0,12; 0,25; 0,47)	(0,29; 0,51; 0,76)	(0,39; 0,62; 0,83)	(0,34; 0,58; 0,79)	(0; 0; 0)	(0,39; 0,59; 0,78)	(0,46; 0,67; 0,8)
B13	(0,39; 0,58; 0,78)	(0,28; 0,45; 0,68)	(0,37; 0,55; 0,75)	(0,36; 0,57; 0,76)	(0,37; 0,58; 0,78)	(0,46; 0,7; 0,88)	(0,49; 0,72; 0,89)	(0,18; 0,28; 0,49)	(0,25; 0,41; 0,66)	(0,45; 0,67; 0,86)	(0,39; 0,62; 0,84)	(0,51; 0,74; 0,86)	(0; 0; 0)	(0,51; 0,72; 0,84)
B14	(0,53; 0,72; 0,82)	(0,43; 0,63; 0,76)	(0,47; 0,68; 0,83)	(0,5; 0,71; 0,84)	(0,45; 0,68; 0,86)	(0,62; 0,86; 0,92)	(0,47; 0,7; 0,86)	(0,12; 0,22; 0,45)	(0,39; 0,61; 0,79)	(0,29; 0,49; 0,71)	(0,3; 0,5; 0,72)	(0,33; 0,55; 0,76)	(0,3; 0,49; 0,7)	(0; 0; 0)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 7 - Matriz X: matriz normalizada. (continua)

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	
B1		(0,06; 0,08;	(0,01; 0,03;	(0,03; 0,04;	(0,03; 0,05;	(0,06; 0,08;	(0,04; 0,05;		(0,05; 0,07;	(0,02; 0,04;	(0,04; 0,06;	(0,03; 0,05;	(0,03; 0,05;	(0,05; 0,07;	
	(0; 0; 0)	0,09)	0,05)	0,07)	0,07)	0,09)	0,07)	0,03)	0,08)	0,06)	0,08)	0,07)	0,06)	0,08)	
	(0,06; 0,08;		(0,03; 0,05;	(0,03; 0,05;	(0,02; 0,04;	(0,05; 0,08;	(0,03; 0,05;	(0,01; 0,02;	(0,05; 0,08;	(0,02; 0,04;	(0,04; 0,06;	(0,04; 0,06;	(0,02; 0,06;	(0,04; 0,06;	
B2	0,09)	(0; 0; 0)	0,06)	0,07)	0,06)	0,08)	0,06)	0,05)	0,08)	0,06)	0,07)	0,07)	0,05)	0,07)	
	(0,02; 0,04;	(0,02; 0,04;		(0,06; 0,08;	(0,03; 0,05;	(0,04; 0,06;	(0,05; 0,07;	(0,03; 0,05;	(0,03; 0,05;	(0,02; 0,04;	(0,02; 0,04;	(0,02; 0,04;	(0,02; 0,03;	(0,04; 0,06;	
	0,06)	0,06)	(0; 0; 0)	0,09)	0,07)	0,08)	0,08)	0,07)	0,07)	0,06)	0,06)	0,06)	0,06)	0,05)	0,08)
B3	(0,03; 0,04;	(0,03; 0,04;	(0,05; 0,07;		(0,04; 0,06;	(0,05; 0,07;	(0,05; 0,07;	(0,03; 0,05;	(0,04; 0,06;	(0,03; 0,05;	(0,02; 0,04;	(0,03; 0,04;	(0,03; 0,04;	(0,05; 0,07;	
	0,06)	0,06)	0,08)	(0; 0; 0)	0,07)	0,08)	0,08)	0,07)	0,07)	0,07)	0,06)	0,06)	0,06)	0,08)	
	(0,03; 0,04;	(0,03; 0,04;	(0,05; 0,07;		(0,04; 0,06;	(0,05; 0,07;	(0,05; 0,07;	(0,03; 0,05;	(0,04; 0,06;	(0,03; 0,05;	(0,02; 0,04;	(0,03; 0,04;	(0,03; 0,04;	(0,05; 0,07;	
B4	0,06)	0,06)	0,08)	(0; 0; 0)	0,07)	0,08)	0,08)	0,07)	0,07)	0,07)	0,06)	0,06)	0,06)	0,08)	
	(0,03; 0,05;	(0,03; 0,04;	(0,03; 0,05;	(0,04; 0,06;		(0,04; 0,06;	(0,04; 0,05;	(0,03; 0,04;	(0,05; 0,07;	(0,04; 0,06;	(0,04; 0,06;	(0,03; 0,05;	(0,02; 0,04;	(0,04; 0,06;	
	0,07)	0,06)	0,07)	0,07)	(0; 0; 0)	0,08)	0,07)	0,06)	0,08)	0,08)	0,07)	0,06)	0,06)	0,07)	
B5	(0,06; 0,08;	(0,05; 0,08;	(0,06; 0,08;	(0,06; 0,08;	(0,05; 0,07;		(0,04; 0,07;	(0,02; 0,04;	(0,05; 0,07;	(0,03; 0,05;	(0,04; 0,06;	(0,04; 0,06;	(0,02; 0,04;	(0,05; 0,07;	
	0,09)	0,09)	0,09)	0,09)	0,09)	(0; 0; 0)	0,08)	0,07)	0,08)	0,08)	0,07)	0,06)	0,06)	0,07)	
	(0,03; 0,05;	(0,03; 0,04;	(0,06; 0,08;	(0,05; 0,08;	(0,03; 0,05;	(0,05; 0,07;		(0,01; 0,02;	(0,04; 0,06;	(0,03; 0,05;	(0,04; 0,07;	(0,04; 0,05;	(0,03; 0,05;	(0,04; 0,06;	
B6	0,07)	0,06)	0,09)	0,09)	0,07)	0,09)	(0; 0; 0)	0,04)	0,08)	0,07)	0,08)	0,07)	0,06)	0,07)	
	(0,06; 0,08;	(0,05; 0,08;	(0,06; 0,08;	(0,06; 0,08;	(0,05; 0,07;		(0,04; 0,07;	(0,02; 0,04;	(0,05; 0,07;	(0,03; 0,05;	(0,04; 0,06;	(0,04; 0,06;	(0,02; 0,04;	(0,05; 0,07;	
	0,09)	0,09)	0,09)	0,09)	0,09)	(0; 0; 0)	0,08)	0,05)	0,08)	0,07)	0,07)	0,07)	0,06)	0,08)	
B7	(0,03; 0,05;	(0,03; 0,04;	(0,06; 0,08;	(0,05; 0,08;	(0,03; 0,05;	(0,05; 0,07;		(0,01; 0,02;	(0,04; 0,06;	(0,03; 0,05;	(0,04; 0,07;	(0,03; 0,05;	(0,03; 0,05;	(0,04; 0,06;	
	0,07)	0,06)	0,09)	0,09)	0,07)	0,09)	(0; 0; 0)	0,04)	0,08)	0,07)	0,08)	0,07)	0,06)	0,07)	
	(0,01; 0,02;	(0,02; 0,03;	(0,03; 0,04;	(0,04; 0,06;	(0,02; 0,04;	(0,03; 0,04;	(0,01; 0,02;		(0,01; 0,02;	(0,01; 0,02;	(0,01; 0,02;	(0,01; 0,02;		(0,01; 0,02;	
B8	0,02; 0,04)	0,03; 0,05)	0,04; 0,06)	0,06; 0,07)	0,04; 0,05)	0,04; 0,06)	0,02; 0,04)	(0; 0; 0)	0,04)	0,04)	0,04)	0,04)	0,04)	0,03)	0,04)

(conclusão)

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B9	(0,05; 0,07; 0,08)	(0,05; 0,07; 0,08)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,06; 0,08; 0,09)	(0,05; 0,07; 0,08)	(0,05; 0,08; 0,09)	(0,01; 0,02; 0,04)	(0,03; 0,04; 0,04)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,06; 0,08; 0,09)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,03; 0,04; 0,06)	(0,04; 0,06; 0,08)
B10	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,02; 0,04; 0,06)	(0,02; 0,04; 0,06)	(0,03; 0,04; 0,07)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,02; 0,04; 0,06)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,01; 0,02; 0,04)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,04; 0,06; 0,07)	(0,02; 0,04; 0,06)
B11	(0,04; 0,05; 0,08)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,03; 0,05; 0,06)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,04; 0,07; 0,08)	(0,05; 0,07; 0,08)	(0,01; 0,02; 0,04)	(0,05; 0,08; 0,08)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,03; 0,04; 0,06)
B12	(0,04; 0,05; 0,07)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,05; 0,07; 0,08)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,01; 0,02; 0,04)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,04; 0,06; 0,07)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,04; 0,05; 0,07)	(0,04; 0,06; 0,07)
B13	(0,04; 0,05; 0,07)	(0,02; 0,04; 0,06)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,02; 0,02; 0,04)	(0,02; 0,04; 0,06)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,05; 0,07; 0,08)	(0,05; 0,07; 0,08)	(0,05; 0,06; 0,08)
B14	(0,05; 0,06; 0,07)	(0,04; 0,06; 0,07)	(0,04; 0,06; 0,07)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,06; 0,08; 0,08)	(0,04; 0,06; 0,08)	(0,01; 0,02; 0,04)	(0,04; 0,05; 0,07)	(0,03; 0,04; 0,06)	(0,03; 0,04; 0,06)	(0,03; 0,05; 0,07)	(0,03; 0,04; 0,06)	(0,03; 0,04; 0,06)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 8 - Matriz T: matriz de relação total. (continua)

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1	(0,03; 0,12; 0,57)	(0,09; 0,19; 0,64)	(0,04; 0,15; 0,62)	(0,06; 0,17; 0,66)	(0,06; 0,17; 0,65)	(0,1; 0,22; 0,72)	(0,07; 0,18; 0,66)	(0,02; 0,07; 0,43)	(0,09; 0,2; 0,67)	(0,05; 0,14; 0,6)	(0,07; 0,18; 0,65)	(0,06; 0,16; 0,61)	(0,05; 0,14; 0,56)	(0,08; 0,19; 0,65)
	(0,09; 0,2; 0,65)	(0,03; 0,12; 0,55)	(0,06; 0,16; 0,63)	(0,07; 0,18; 0,66)	(0,05; 0,16; 0,64)	(0,09; 0,22; 0,71)	(0,07; 0,18; 0,65)	(0,03; 0,09; 0,44)	(0,09; 0,2; 0,67)	(0,04; 0,14; 0,59)	(0,07; 0,17; 0,64)	(0,07; 0,17; 0,61)	(0,04; 0,13; 0,55)	(0,08; 0,19; 0,64)
B2	(0,05; 0,15; 0,61)	(0,05; 0,14; 0,6)	(0,03; 0,11; 0,56)	(0,08; 0,19; 0,67)	(0,06; 0,16; 0,64)	(0,08; 0,19; 0,69)	(0,08; 0,18; 0,66)	(0,04; 0,1; 0,45)	(0,06; 0,17; 0,64)	(0,04; 0,14; 0,59)	(0,05; 0,15; 0,62)	(0,05; 0,14; 0,59)	(0,04; 0,12; 0,54)	(0,07; 0,18; 0,64)
	(0,06; 0,16; 0,64)	(0,06; 0,16; 0,63)	(0,08; 0,19; 0,67)	(0,03; 0,13; 0,62)	(0,06; 0,18; 0,67)	(0,09; 0,21; 0,73)	(0,08; 0,19; 0,69)	(0,05; 0,11; 0,47)	(0,07; 0,19; 0,68)	(0,05; 0,16; 0,63)	(0,05; 0,16; 0,65)	(0,05; 0,15; 0,62)	(0,05; 0,13; 0,57)	(0,08; 0,19; 0,67)
B3	(0,06; 0,16; 0,63)	(0,05; 0,15; 0,61)	(0,06; 0,17; 0,63)	(0,07; 0,18; 0,66)	(0,03; 0,12; 0,58)	(0,08; 0,2; 0,7)	(0,07; 0,18; 0,66)	(0,04; 0,1; 0,45)	(0,08; 0,19; 0,66)	(0,06; 0,16; 0,62)	(0,07; 0,17; 0,64)	(0,06; 0,15; 0,61)	(0,04; 0,13; 0,55)	(0,07; 0,18; 0,64)
	(0,09; 0,21; 0,71)	(0,09; 0,21; 0,7)	(0,09; 0,21; 0,72)	(0,09; 0,22; 0,75)	(0,08; 0,21; 0,73)	(0,05; 0,17; 0,71)	(0,08; 0,21; 0,74)	(0,04; 0,11; 0,49)	(0,09; 0,22; 0,74)	(0,06; 0,17; 0,67)	(0,07; 0,19; 0,71)	(0,07; 0,18; 0,68)	(0,05; 0,15; 0,61)	(0,09; 0,22; 0,72)
B4	(0,06; 0,18; 0,66)	(0,06; 0,16; 0,64)	(0,09; 0,2; 0,68)	(0,09; 0,21; 0,71)	(0,07; 0,18; 0,68)	(0,09; 0,22; 0,75)	(0,04; 0,14; 0,63)	(0,03; 0,09; 0,46)	(0,08; 0,2; 0,69)	(0,06; 0,16; 0,64)	(0,08; 0,19; 0,68)	(0,06; 0,17; 0,64)	(0,05; 0,14; 0,58)	(0,08; 0,19; 0,67)
	(0,03; 0,08; 0,44)	(0,03; 0,09; 0,44)	(0,04; 0,1; 0,46)	(0,05; 0,12; 0,49)	(0,03; 0,1; 0,46)	(0,04; 0,12; 0,51)	(0,03; 0,09; 0,46)	(0,01; 0,03; 0,28)	(0,02; 0,08; 0,46)	(0,02; 0,07; 0,42)	(0,02; 0,08; 0,44)	(0,02; 0,07; 0,42)	(0,01; 0,06; 0,38)	(0,03; 0,09; 0,45)

(conclusão)

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B9	(0,09; 0,21; 0,71)	(0,08; 0,2; 0,7)	(0,07; 0,19; 0,71)	(0,08; 0,21; 0,74)	(0,09; 0,22; 0,73)	(0,1; 0,24; 0,79)	(0,09; 0,22; 0,74)	(0,03; 0,09; 0,48)	(0,04; 0,15; 0,66)	(0,07; 0,18; 0,68)	(0,09; 0,22; 0,72)	(0,07; 0,18; 0,68)	(0,05; 0,15; 0,62)	(0,08; 0,21; 0,72)
B10	(0,05; 0,15; 0,6)	(0,05; 0,14; 0,58)	(0,04; 0,14; 0,59)	(0,05; 0,15; 0,63)	(0,06; 0,16; 0,62)	(0,05; 0,16; 0,66)	(0,06; 0,16; 0,63)	(0,02; 0,08; 0,42)	(0,06; 0,16; 0,63)	(0,02; 0,09; 0,52)	(0,06; 0,15; 0,62)	(0,05; 0,14; 0,59)	(0,05; 0,13; 0,54)	(0,05; 0,15; 0,6)
B11	(0,07; 0,18; 0,67)	(0,06; 0,17; 0,65)	(0,06; 0,17; 0,66)	(0,07; 0,18; 0,7)	(0,07; 0,19; 0,69)	(0,08; 0,21; 0,74)	(0,08; 0,2; 0,7)	(0,02; 0,09; 0,46)	(0,09; 0,2; 0,7)	(0,07; 0,17; 0,64)	(0,03; 0,12; 0,61)	(0,06; 0,17; 0,64)	(0,05; 0,15; 0,59)	(0,06; 0,17; 0,66)
B12	(0,06; 0,17; 0,64)	(0,06; 0,16; 0,63)	(0,06; 0,16; 0,64)	(0,06; 0,17; 0,67)	(0,06; 0,17; 0,66)	(0,08; 0,21; 0,72)	(0,07; 0,19; 0,68)	(0,02; 0,08; 0,44)	(0,06; 0,17; 0,67)	(0,06; 0,16; 0,62)	(0,06; 0,16; 0,65)	(0,03; 0,11; 0,56)	(0,05; 0,14; 0,57)	(0,07; 0,18; 0,65)
B13	(0,06; 0,17; 0,64)	(0,05; 0,15; 0,62)	(0,06; 0,16; 0,64)	(0,06; 0,17; 0,67)	(0,06; 0,17; 0,66)	(0,08; 0,2; 0,72)	(0,07; 0,19; 0,68)	(0,03; 0,08; 0,44)	(0,05; 0,16; 0,65)	(0,06; 0,16; 0,62)	(0,06; 0,17; 0,65)	(0,07; 0,17; 0,63)	(0,02; 0,09; 0,5)	(0,08; 0,18; 0,65)
B14	(0,08; 0,18; 0,64)	(0,07; 0,17; 0,62)	(0,07; 0,18; 0,64)	(0,08; 0,19; 0,67)	(0,07; 0,18; 0,66)	(0,09; 0,22; 0,72)	(0,08; 0,19; 0,67)	(0,02; 0,08; 0,44)	(0,07; 0,18; 0,66)	(0,05; 0,15; 0,61)	(0,06; 0,16; 0,64)	(0,06; 0,16; 0,62)	(0,05; 0,14; 0,56)	(0,03; 0,13; 0,58)

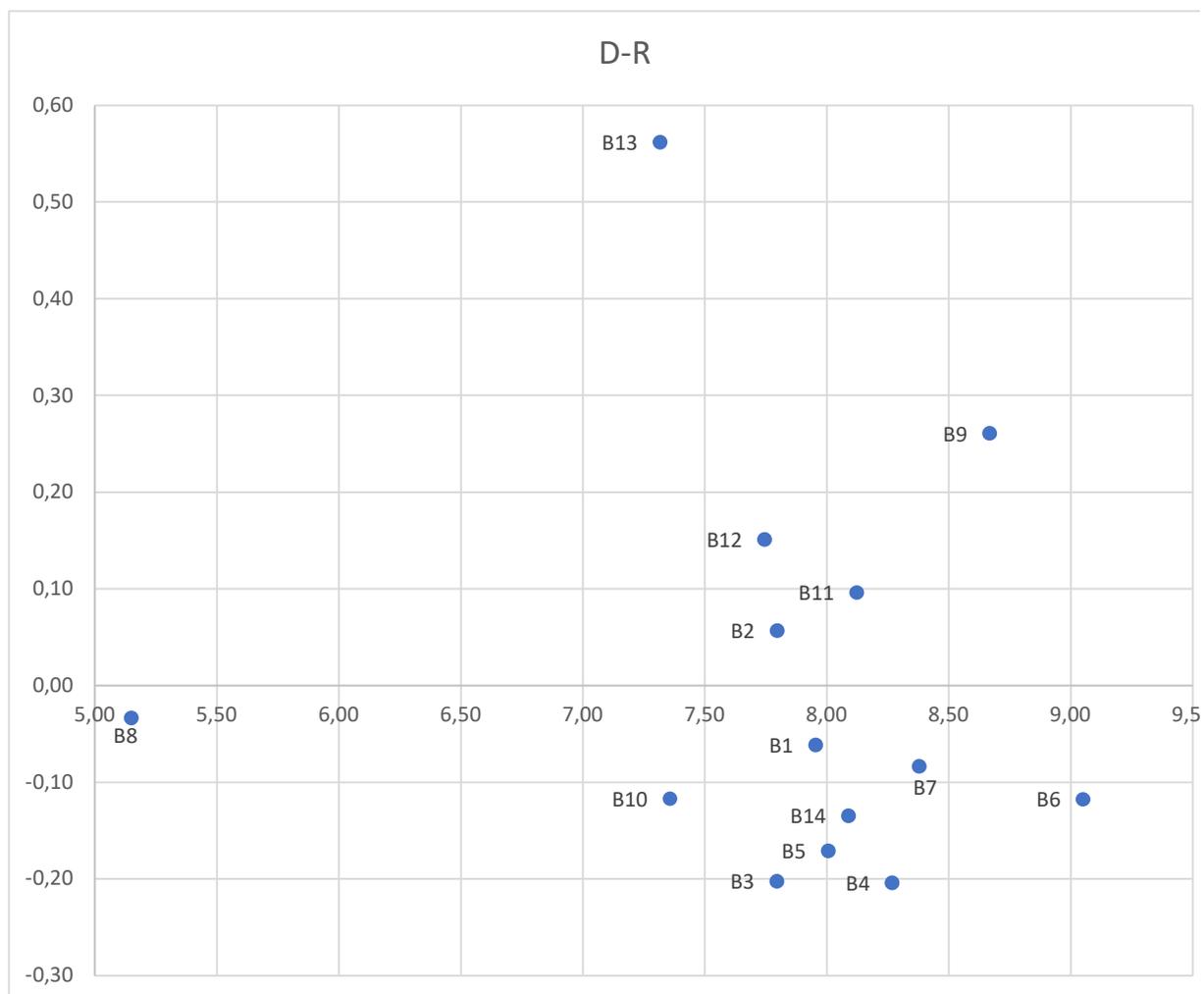
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 9 - Valores de causa e efeito.

Cód.	D				R				D-R				D+R				Defuzzificação	
																	(D-R) ^{def}	(D+R) ^{def}
B1	0,861	2,294	8,683	0,885	2,319	8,820	-7,958	-0,025	7,798	1,746	4,613	17,503	-0,062	7,954				
B2	0,868	2,299	8,612	0,822	2,198	8,588	-7,720	0,100	7,790	1,690	4,497	17,201	0,057	7,796				
B3	0,773	2,126	8,490	0,850	2,297	8,849	-8,076	-0,171	7,640	1,623	4,423	17,339	-0,203	7,795				
B4	0,863	2,316	8,916	0,946	2,484	9,278	-8,415	-0,168	7,971	1,809	4,800	18,194	-0,204	8,268				
B5	0,845	2,243	8,664	0,856	2,352	9,058	-8,213	-0,108	7,808	1,701	4,595	17,722	-0,171	8,006				
B6	1,038	2,686	9,674	1,098	2,790	9,864	-8,826	-0,104	8,576	2,136	5,476	19,538	-0,118	9,050				
B7	0,916	2,431	9,096	0,958	2,499	9,237	-8,321	-0,068	8,138	1,873	4,930	18,332	-0,084	8,379				
B8	0,384	1,175	6,114	0,394	1,217	6,162	-5,779	-0,042	5,720	0,778	2,391	12,276	-0,033	5,149				
B9	1,033	2,679	9,680	0,948	2,478	9,183	-8,151	0,201	8,732	1,981	5,157	18,863	0,261	8,667				
B10	0,679	1,950	8,230	0,705	2,050	8,456	-7,777	-0,100	7,525	1,384	4,000	16,687	-0,117	7,357				
B11	0,868	2,358	9,102	0,834	2,277	8,930	-8,062	0,082	8,268	1,701	4,635	18,032	0,096	8,123				
B12	0,807	2,234	8,803	0,763	2,124	8,503	-7,696	0,110	8,039	1,570	4,358	17,306	0,151	7,745				
B13	0,826	2,220	8,771	0,617	1,792	7,722	-6,896	0,428	8,153	1,444	4,012	16,493	0,562	7,316				
B14	0,868	2,314	8,749	0,953	2,448	8,933	-8,065	-0,134	7,795	1,821	4,762	17,682	-0,135	8,089				

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 9 - Diagrama causal: Valores de causa e efeito.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

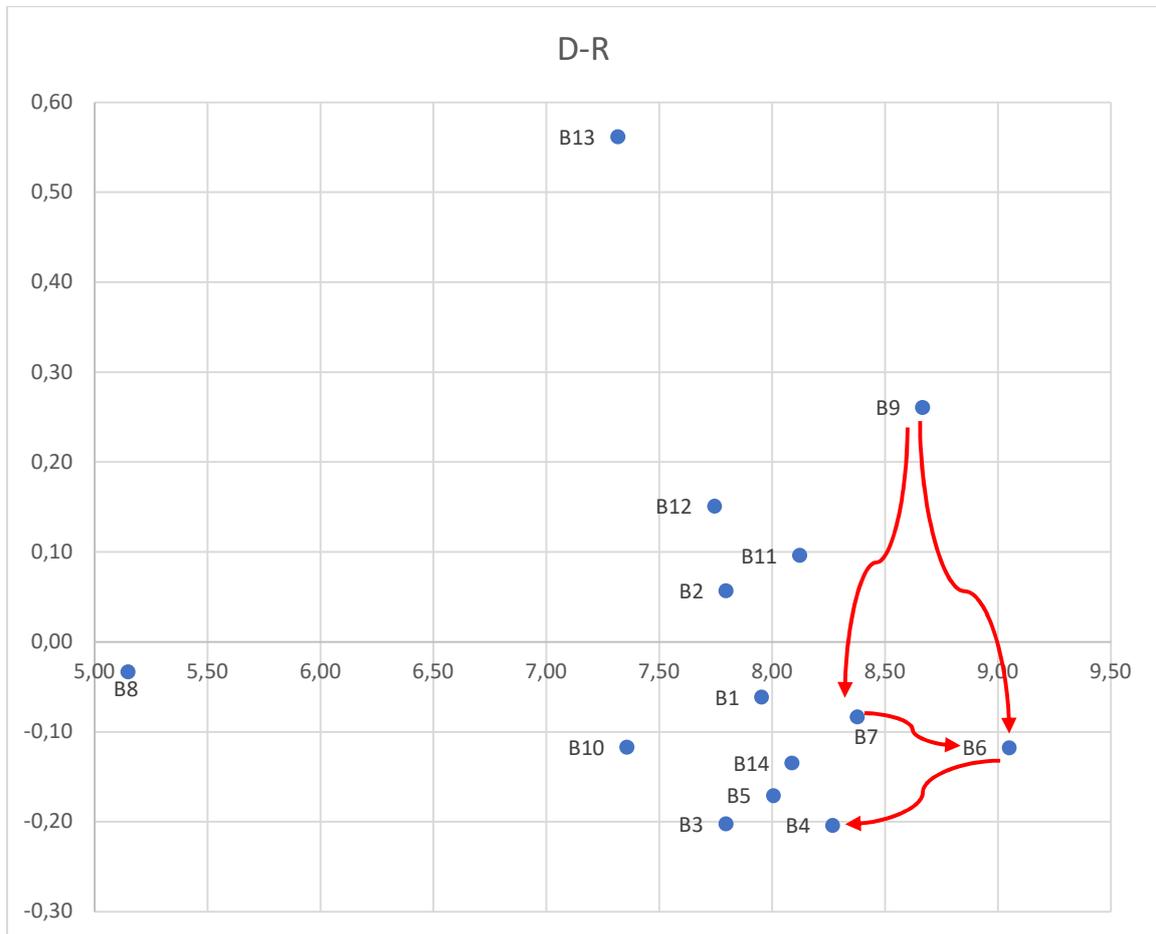
As relações de maior impacto entre as barreiras foram obtidas a partir da matriz T de relação total (Tabela 8), em seguida aplicou-se a equação 15 e obteve-se a matriz T defuzzificada. Os resultados são demonstrados na Tabela 10, na qual podem ser identificadas em destaque as relações significativas entre dois fatores. O valor limite para uma relação significativa foi calculado conforme equação 18, adicionando 1,5 de desvio padrão para a média da Matriz T. Como valor médio obtido foi 0,280 e o desvio padrão foi 0,0476, o valor limite calculado foi de 0,351. Os valores maiores do que 0,351 foram destacados na Tabela 10. Sendo assim: a barreira B6 com a B4; a barreira B7 com a B6; e a barreira B9 com B6 e B7 são aquelas que possuem uma relação significativa. Esses relacionamentos importantes foram mapeados com setas vermelhas no diagrama causal da Figura 10.

Tabela 10 - Relações de impacto geral entre as barreiras na matriz de relação total.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1	0,243	0,306	0,270	0,297	0,290	0,347	0,304	0,173	0,318	0,265	0,300	0,278	0,249	0,308
B2	0,312	0,233	0,283	0,300	0,285	0,339	0,298	0,183	0,318	0,260	0,294	0,282	0,239	0,301
B3	0,270	0,262	0,233	0,314	0,285	0,322	0,305	0,199	0,290	0,257	0,272	0,261	0,231	0,295
B4	0,286	0,280	0,311	0,260	0,302	0,345	0,320	0,211	0,312	0,278	0,288	0,276	0,249	0,312
B5	0,284	0,272	0,287	0,304	0,245	0,327	0,301	0,199	0,314	0,278	0,292	0,273	0,241	0,300
B6	0,339	0,330	0,339	0,354	0,341	0,309	0,345	0,213	0,349	0,300	0,325	0,310	0,270	0,342
B7	0,300	0,286	0,322	0,334	0,309	0,353	0,267	0,191	0,323	0,287	0,314	0,289	0,259	0,312
B8	0,182	0,186	0,202	0,221	0,197	0,222	0,191	0,107	0,188	0,169	0,181	0,172	0,151	0,189
B9	0,338	0,327	0,324	0,342	0,346	0,373	0,353	0,200	0,286	0,310	0,344	0,311	0,273	0,336
B10	0,269	0,255	0,258	0,278	0,278	0,290	0,284	0,172	0,283	0,210	0,277	0,260	0,242	0,265
B11	0,303	0,292	0,294	0,315	0,316	0,345	0,327	0,190	0,330	0,294	0,253	0,290	0,263	0,298
B12	0,291	0,282	0,289	0,302	0,298	0,337	0,311	0,183	0,298	0,279	0,291	0,230	0,256	0,301
B13	0,290	0,273	0,288	0,301	0,295	0,330	0,313	0,186	0,290	0,282	0,294	0,288	0,205	0,304
B14	0,301	0,286	0,298	0,313	0,303	0,343	0,313	0,183	0,305	0,270	0,287	0,277	0,248	0,249

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 10 - Relações de impacto geral no diagrama causal



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A partir do diagrama causal obtido como resultado final do *fuzzy*-DEMATEL, a pesquisa aponta quais as relações dos atributos causais (barreiras que influenciam) em relação ao grau de proeminência (importância das barreiras), permitindo identificar as maiores relevâncias no estudo.

4.5 ANÁLISE DAS BARREIRAS

A discussão dos resultados é realizada em torno da Figura 9 pois essa apresenta o resultado final do presente trabalho. Nesta figura fica evidente, diante do contexto dos especialistas entrevistados, que a barreira B13 (falta de legislação vigente e de incentivo governamental) é a que mais influencia as demais, sendo apontada pelos gestores como a que mais impede a redução de RCC no canteiro de obras. Isso se justifica pela relevância do poder público e dos aspectos legais

na redução de resíduos gerados em canteiros de obras (OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020; CONDOTTA; ZATTA, 2021; LIU *et al.*, 2021), pois é fundamental a participação e incentivo governamental para que os geradores implementem a redução, segundo afirmam Ling *et al.* (2013).

A barreira B9 (falta de recursos financeiros) foi considerada a segunda barreira com mais influência. Porém, deve-se destacar que possui maior importância que B13, por ter no eixo (D+R) um valor maior, o que justifica pelas limitações das tomadas de decisões nas obras, quando existem situações nas quais os gestores necessitam de liberdade econômica para conduzir a gestão de RCC no canteiro, ou até mesmo por limitar a qualidade do material adquirido (CONDOTTA; ZATTA, 2021; SPIŠÁKOVÁ; MÉŠÁROŠ; MANDIČÁK, 2021), que pode possuir pouco rendimento e baixo desempenho, gerando material excedente no canteiro de obras, conforme mencionado em Negash *et al.* (2021).

As barreiras B2 (alterações de projeto requeridas pelo cliente), B11 (custos de implantação de novas tecnologias) e B12 (falta de detalhamento ambiental no contrato) possuem um equilíbrio nos resultados, sendo barreiras que exercem influência e possuem considerável importância sobre as demais, segundo seus valores obtidos no eixo das abscissas (D+R) e no eixo das ordenadas (D-R). A falta de detalhamento ambiental no contrato, por exemplo, foi percebida pelos gestores como uma barreira importante na redução de RCC, tendo em vista que contratos bem elaborados possuem finalidade punitiva, demonstra que essa barreira pouco vai influenciar, mas seria de grande importância caso houvesse essa postura adotada nos contratos (PELLEGRINI *et al.*, 2020; CONDOTTA; ZATTA, 2021; RATNASABAPATHY; ALASHWAL; PERERA, 2021; SPIŠÁKOVÁ; MÉŠÁROŠ; MANDIČÁK, 2021).

A barreira B8 (alterações climáticas), com pouca influência, foi a que apresentou menor importância dentre todas as barreiras analisadas. Isso evidencia a questão de que os fenômenos ambientais não podem ser impedidos de acontecerem (NARCIS; RAY; HOSEIN, 2019; MAWED; AL NUAIMI; KASHAWNI, 2020), gerando o sentimento de incapacidade para os gestores diante de um imprevisto causado, por exemplo, por chuvas, o que inevitavelmente causaria perdas no serviço, e conseqüentemente a geração de RCC. A barreira B10 (falta de retorno econômico com a reciclagem dos RCC) foi considerada a segunda menos importante para os especialistas. Mesmo que a barreira relacionada a questões econômicas tenha recebido maior pontuação, possivelmente a baixa importância atribuída a B10 deve-se ao fato de que os gestores de obras consideram que o retorno econômico com reciclagem é pequeno ou desprezível para os custos na gestão (ZHANG *et*

al., 2019). Em países nos quais a reciclagem seja mais bem remunerada, essa barreira pode ser avaliada com maior importância.

Já as barreiras B3 (manejo inadequado no recebimento de material) e B4 (armazenamento inadequado no recebimento de material) foram consideradas as mais influenciadas por outras barreiras. Isso destaca a importância do treinamento e capacitação operacional dos colaboradores (MAWED; AL NUAIMI; KASHAWNI, 2020). Porém, é provável que estejam atreladas à falta de recursos econômicos e às lacunas na legislação ambiental (OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020).

A barreira avaliada como de maior importância dentre todas e pouca influência para os gestores foi a B6 (falta de planejamento e gestão da obra), o que justifica a importância da antecipação de um gestor de obras diante dos imprevistos, retrabalhos e no planejamento das etapas de serviço (OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020; NEGASH *et al.*, 2021; SPIŠÁKOVÁ; MÉSÁROŠ; MANDIČÁK, 2021).

Analisando as relações significativas entre dois fatores (linha e coluna na matriz), conforme mostra a Tabela 10, os resultados mostraram que a barreira B6 (falta de planejamento e gestão da obra) possui significativo efeito sobre a B4 (armazenamento inadequado no recebimento de material), evidenciando que a falta de planejamento afeta diretamente a organização e disposição dos materiais no canteiro de obras (NARCIS; RAY; HOSEIN, 2019).

A barreira B7 (falta de capacitação operacional e educação ambiental) possui efeito sobre B6 (Falta de planejamento e gestão da obra), justificando que para se ter um planejamento e gestão ideal é necessário que antes os colaboradores passem por uma capacitação profissional, além de criarem uma visão de educação ambiental, para que possuam o sentimento de pertencimento e de cuidados com o meio ambiente (LIYANAGE; WAIDYASEKARA; MALLAWAARACHCHI, 2019; VIDYASEKAR; SELVAN, 2019; ZHANG *et al.*, 2019).

E por fim, o mesmo ocorre com a relação significativa da barreira B9 (falta de recursos financeiros) sobre B6 (falta de planejamento e gestão da obra) e B7 (falta de capacitação operacional e educação ambiental). Essa análise reafirma a importância de que com um maior volume de recursos financeiros poderiam ser realizados investimentos na programação de obra e gestão de recursos (e.g., *softwares* e funcionários dedicados exclusivamente ao controle de cada etapa da obra) (OLANREWAJU; OGUNMAKINDE, 2020), otimizando prazos, custos, materiais e qualidade dos serviços realizados nos canteiros de obras (RÖHM; MARQUES NETO; RÖHM,

2013). Ademais, com maiores recursos financeiros poderiam ser realizados investimentos com a capacitação dos colaboradores e direcionar parte dos recursos para a educação e conscientização ambiental (MAHPOUR, 2018; VIDYASEKAR; SELVAN, 2019; BAILEY *et al.*, 2020).

5 CONCLUSÃO

O trabalho identificou 14 barreiras para a redução de RCC no canteiro de obras na construção de edificações comerciais de médio porte, no Brasil, por meio de uma revisão bibliográfica sistemática e validadas por especialistas acadêmicos.

A ferramenta *fuzzy*-DEMATEL mostrou ser útil para definir o peso de prioridade das barreiras levantadas, pois a partir da aplicação do método ficou demonstrado quais são as barreiras mais importantes e as mais causais, possibilitando definir uma hierarquia entre elas.

As barreiras que obtiveram as maiores pontuações de importância foram B6 (Falta de planejamento e gestão da obra) e B9 (Falta de recursos financeiros). Já as mais influentes foram B13 (Falta de legislação vigente e de incentivo governamental), B9 (Falta de recursos financeiros), B12 (falta de detalhamento ambiental no contrato), B11 (custos de implantação de novas tecnologias) e B2 (alterações de projeto requeridas pelo cliente). Portanto, essas são as barreiras que mais devem ser aprofundadas por gestores de obras e tomadores de decisão na indústria da construção civil, na tentativa de reduzir o RCC dentro do canteiro de obras.

Por outro lado, notou-se que a barreira B8 (Alterações climáticas) carece de importância e é influenciada pelas outras, portanto a atenção a ser dada a ela pode ser menor pelos gestores e tomadores de decisões.

Diante das análises e resultados apresentados, verificou-se que se faz necessário ampliar os cuidados com o planejamento das obras em relação aos gestores e sua tomada de decisões, além dos recursos financeiros disponíveis para a execução das obras, pois essas questões foram apontadas nos resultados como barreiras de grande importância sobre as demais. Face a isso, sugere-se o investimento em tecnologias de planejamento que consiga integrar projeto, execução e administrativo, afim de diminuir imprevistos e impactos causados na execução das obras. Algumas ferramentas computacionais integradas existem e são aplicáveis em construtoras, no entanto, se faz imprescindível a capacitação dos usuários. Essas ferramentas também permitem alocar os recursos financeiros de maneira eficiente para cada etapa de execução, alertando o gestor para a falta de provimentos em cada nível da obra.

O trabalho mostra que o Brasil precisa avançar nas políticas públicas de incentivo para redução de RCC, bem como adotar uma legislação mais rigorosa e punitiva em relação ao RCC gerado nas obras, fazendo com que o volume para destinação em aterros seja o mínimo possível, visto que esse problema foi apresentado como a barreira mais influente dentre os resultados.

Como recomendações da pesquisa sugere-se usar *proxies* que sejam de uma obtenção mais simplificada, pois o questionário é complexo, tanto o seu entendimento como a sua aplicação. Durante a pesquisa, verificou-se que o questionário demandava tempo superior a 25 minutos para ser respondido, acima do tempo considerado ideal para a aplicação de uma pesquisa aos entrevistados.

Para estudos futuros, sugere-se aprofundar nas barreiras de maior peso, pois essas merecem mais atenção na problemática abordada. Destaca-se ainda que países com diferentes legislações e características econômicas podem apresentar resultados diferentes, sendo isso também uma possível nova linha de estudo dentro da temática. Sugere-se também novos trabalhos que aprofundem e incluam todo o ciclo de vida de uma construção de médio porte, permitindo não só uma análise das barreiras que impedem a redução, mas também apresentando todas as etapas envolvidas na geração do RCC.

REFERÊNCIAS

- ABARCA-GUERRERO, L.; MAAS, G.; VAN TWILLERT, H. Barriers and Motivations for Construction Waste Reduction Practices in Costa Rica. **Resources**, v. 6, n. 4, p. 69, 2017.
- AGOPYAN, V. et al. Perdas De Materiais Nos Canteiros De Obras: a Quebra Do Mito. **Simpósio Nacional**, p. 11, 1999.
- BAILEY, M. et al. Opinions of small and medium UK construction companies on environmental management systems. **Proceedings of Institution of Civil Engineers: Management, Procurement and Law**, v. 174, n. 1, p. 23–34, 2020.
- BAO, Z.; LEE, W. M. W.; LU, W. Implementing on-site construction waste recycling in Hong Kong: Barriers and facilitators. **Science of the Total Environment**, v. 747, p. 141091, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141091>>.
- BERTASSINI, A. C. et al. CE-oriented culture readiness: An assessment approach based on maturity models and fuzzy set theories. **Sustainable Production and Consumption**, v. 31, p. 615–629, 2022.
- CALACHE, L. D. D. R. et al. Identificação e avaliação de critérios para seleção de projetos sustentáveis aplicando o VFT e o Fuzzy DEMATEL. n. October, 2021.
- CONDOTTA, M.; ZATTA, E. Reuse of building elements in the architectural practice and the European regulatory context: Inconsistencies and possible improvements. **Journal of Cleaner Production**, v. 318, n. January 2020, p. 128413, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128413>>.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática : aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CNGDP 2011**, n. 1998, p. 1–12, 2011. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cbgdp2011/downloads/9149.pdf>>.
- CONSELHO NACIONAL DE CLASSIFICAÇÃO. Introdução à Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE Versão 2.0 - Subclasses para uso da administração pública 1.1. **Conselho Nacional de Classificação**, p. 10–36, 2007. Disponível em: <http://concla.ibge.gov.br/images/concla/documentacao/CNAE20_Subclasses_Introducao.pdf>.
- DE AZEVEDO, G. O. D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S. Construction waste in Salvador: Ways to a sustainable management. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 65–72, 2006.
- DE SOUZA CAMPOS, L. M. et al. Um Levantamento Exploratório sobre o tema gestão ambiental no setor da construção. **Espacios**, v. 34, n. 4, p. 1–14, 2013.
- DIOTTI, A.; PLIZZARI, G.; SORLINI, S. TECHNICAL ANALYSIS OF FULL-SCALE CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE TREATMENT PLANTS : CASE STUDIES OF THE LOMBARDY REGION , ITALY. v. 15, p. 51–66, 2021.
- GAGNON, B. et al. Forest Products and Circular Economy Strategies: A Canadian Perspective. **Energies**, v. 15, n. 3, p. 1–17, 2022.

- GEBREMARIAM, A. T. et al. Innovative technologies for recycling End-of-Life concrete waste in the built environment. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 163, n. April, p. 104911, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104911>>.
- GIORGI, S. et al. Drivers and barriers towards circular economy in the building sector: Stakeholder interviews and analysis of five european countries policies and practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 336, n. December 2021, p. 130395, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130395>>.
- HUANG, B. et al. Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, n. October 2017, p. 36–44, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029>>.
- JERONIMO, G. J.; FERREIRA, D. C.; DA LUZ, M. S. Dimensionamento de ecopontos para os resíduos recicláveis secos em Uberaba – MG. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 4, n. 1, p. 61, 2019.
- JOHN, V. M. Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. **Escola Politécnica da USP**, v. 5, p. 113, 2000.
- LIMA JUNIOR, F. R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. Multicriteria decision methods for supplier selection: A literature review on the state of the art. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 781–801, 2013.
- LING, F. Y. Y.; NGUYEN, D. S. A. Strategies for construction waste management in Ho Chi Minh City, Vietnam. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 3, n. 1, p. 141–156, 2013.
- LIU, J. et al. Explore potential barriers of applying circular economy in construction and demolition waste recycling. **Journal of Cleaner Production**, v. 326, n. June, p. 129400, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129400>>.
- LIU, J.; YI, Y.; WANG, X. Exploring factors influencing construction waste reduction: A structural equation modeling approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 276, p. 123185, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123185>>.
- LIYANAGE, K. L. A. K. T.; WAIDYASEKARA, K. G. A. S.; MALLAWAARACHCHI, H. Enablers and barriers to adopt zero waste concept in the construction industry. **Malaysian Construction Research Journal**, v. 8, n. 3 Special issue, p. 41–49, 2019.
- LOW, J. K. et al. Encouraging Circular Waste Economies for the New Zealand Construction Industry: Opportunities and Barriers. **Frontiers in Sustainable Cities**, v. 2, n. July, p. 1–7, 2020.
- MAEKAWA, R.; DE CARVALHO, M. M.; DE OLIVEIRA, O. J. Um estudo sobre a certificação ISO 9001 no Brasil: Mapeamento de motivações, benefícios e dificuldades. **Gestao e Producao**, v. 20, n. 4, p. 763–779, 2013.
- MAHPOUR, A. Prioritizing barriers to adopt circular economy in construction and demolition waste management. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 134, n. November 2017, p. 216–227, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.026>>.
- MAVI, R. K.; STANDING, C. Critical success factors of sustainable project management in construction: A fuzzy DEMATEL-ANP approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 194, p. 751–765, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.120>>.

- MAWED, M.; AL NUAIMI, M. S.; KASHAWNI, G. Construction And Demolition Waste Management In The Uae: Application And Obstacles. **International Journal of GEOMATE**, v. 18, n. 70, p. 235–245, 2020.
- NARCIS, N.; RAY, I.; HOSEIN, G. Construction and demolition waste management actions and potential benefits: A perspective from Trinidad and Tobago. **Buildings**, v. 9, n. 6, p. 1–27, 2019.
- NEGASH, Y. T. et al. Sustainable construction and demolition waste management in Somaliland: Regulatory barriers lead to technical and environmental barriers. **Journal of Cleaner Production**, v. 297, 2021.
- NUNES, S. M.; MARQUES, V.; EDILSON, J. Avaliação dos resíduos de construção em um canteiro de obra . p. 382–391, 2015.
- OLANREWAJU, S. D.; OGUNMAKINDE, O. E. Waste minimisation strategies at the design phase: Architects' response. **Waste Management**, v. 118, p. 323–330, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.045>>.
- OSIRO, L. Uso da lógica fuzzy para avaliação e desenvolvimento de fornecedores baseado em modelos de portfólio. 2013.
- OWOLANA, V. O.; BOOTH, C. A. Stakeholder perceptions of the benefits and barriers of implementing environmental management systems in the Nigerian construction industry. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 24, n. 2, p. 79–89, 2016.
- PELLEGRINI, L. et al. Digital Transition and Waste Management in Architecture, Engineering, Construction, and Operations Industry. **Frontiers in Energy Research**, v. 8, n. November, p. 1–21, 2020.
- PINTO, T. de P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. p. 218, 1999.
- RATNASABAPATHY, S.; ALASHWAL, A.; PERERA, S. Exploring the barriers for implementing waste trading practices in the construction industry in Australia. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 11, n. 4, p. 559–576, 2021.
- RODRIGUES, L. R. Seleção de fornecedores sustentáveis utilizando Fuzzy DEMATEL-ANP. p. 166, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/9381/DissLRR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.
- RÖHM, D. G.; MARQUES NETO, J. da C.; RÖHM, S. A. Gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC) em Canteiros de Obras de Empresas Construtoras da Cidade de São Carlos -SP, Brasil. **Engenharia Civil UM**, v. 45, p. 21–36, 2013. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n45/Pag.21-36.pdf%0A>>.
- ROTH, G.; GARCIAS, C. M. Construção Civil e a Degradação Ambiental. **Desenvolvimento em Questão**, v. 7, n. 13, p. 111–128, 2009.
- SPIŠÁKOVÁ, M.; MÉSÁROŠ, P.; MANDIČÁK, T. Construction waste audit in the framework of sustainable waste management in construction projects—case study. **Buildings**, v. 11, n. 2, p. 1–16, 2021.

TSAI, W. H.; CHOU, W. C. Selecting management systems for sustainable development in SMEs: A novel hybrid model based on DEMATEL, ANP, and ZOGP. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 2 PART 1, p. 1444–1458, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2007.11.058>>.

UDAWATTA, N. et al. Major factors impeding the implementation of waste management in Australian construction projects. **Journal of Green Building**, v. 13, n. 3, p. 101–121, 2018.

VIDYASEKAR; SELVAN. Identification of the factors, barriers, and motivations that influence the construction and demolishing waste generation and management. **International Journal of Recent Technology and Engineering**, v. 8, n. 2 Special Issue 11, p. 2619–2623, 2019.

VIEIRA, C. R. et al. Analysis of the factors of influence and diagnosis of the management of the residues of the civil construction (RCC) in the construction sites of the city of Recife-PE. **Urbe**, v. 11, p. 1–13, 2019.

YU, A. T. W.; WONG, I.; MOK, K. S. H. Effectiveness and barriers of Pre-refurbishment Auditing for refurbishment and renovation waste management. **Environmental Challenges**, v. 5, p. 100231, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100231>>.

ZHANG, A. et al. Barriers to smart waste management for a circular economy in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 240, p. 118198, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118198>>.

APÊNDICE A – Questionário aplicado aos especialistas gestores de obras

BARREIRAS	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1 (Falta de projeto executivo bem elaborado e compatibilizado)														
B2 (Alterações de projeto requeridas pelo cliente)														
B3 (Manejo inadequado no recebimento de material)														
B4 (Armazenamento inadequado no recebimento de material)														
B5 (Baixa qualidade dos materiais)														
B6 (Falta de planejamento e gestão da obra)														
B7 (Falta de capacitação operacional e educação ambiental)														
B8 (Alterações climáticas)														
B9 (Falta de recursos financeiros)														
B10 (Falta de retorno econômico com a reciclagem dos RCC)														
B11 (Custos de implantação de novas tecnologias)														
B12 (Falta de detalhamento ambiental no contrato)														
B13 (Falta de legislação vigente e de incentivo governamental)														
B14 (Falta de fiscalização de obras)														

APÊNDICE B – Relações entre as barreiras em termos linguísticos

Especialista Gestor de obra 01

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1		VH	L	H	H	VH	L	No	H	H	VH	VL	VL	H
B2	L		VL	VL	L	H	VL	No	H	H	VH	H	No	No
B3	No	VL		VH	No	No	No	No	No	VH	H	VL	No	No
B4	No	L	H		No	No	No	L	L	VH	H	VL	No	No
B5	No	H	No	No		No	No	No	No	H	No	VL	No	No
B6	VH	VH	VH	VH	H		H	No	H	H	L	VH	H	VH
B7	VL	L	VH	VH	H	H		No	H	L	VH	H	VH	VH
B8	L	H	L	H	VL	No	No		H	L	VL	L	No	No
B9	H	VH	L	L	VH	VL	H	No		L	VH	H	VL	H
B10	VL	H	No	No	H	No	VL	No	L		H	VL	L	VL
B11	H	VH	VL	VL	H	VL	H	No	VH	H		VH	L	VL
B12	VH	No	H	VH	VL	VH	H	No	L	H	L		No	VL
B13	H	VL	H	H	VL	H	H	No	No	H	L	VH		VH
B14	L	No	VH	VH	VL	L	VL	No	L	L	L	VL	H	

Especialista Gestor de obra 02

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1		VH	No	No	VH	VH	No	No	No	No	H	No	No	No
B2	VH		L	No	No	VH	No	No	No	No	No	H	No	L
B3	No	No		VH	L	H	H	L	No	L	L	L	H	H
B4	No	No	L		No	H	H	No	L	H	H	H	H	H
B5	H	No	H	H		L	L	No	H	H	VH	H	H	H
B6	H	VH	VH	VH	VH		VL	No	VL	VL	No	H	VL	VH
B7	No	No	VH	VH	VH	VH		H	VL	VL	No	VH	VH	L
B8	No	No	VH	VH	No	VH	H		No	No	No	No	No	VH
B9	VH	H	VH	VH	VH	VH	VH	No		L	VH	VH	No	VH
B10	VH	No	VH	VH	VH	H	H	No	VL		L	VH	L	L
B11	H	No	VH	VH	H	L	H	No	H	VH		VH	L	L
B12	No	No	VH	VH	VH	VH	L	No	L	L	L		L	No
B13	No	No	VH	VH	VH	VL	VH	No	No	L	L	VH		VH
B14	No	L	VH	VH	H	VH	VH	No	VH	VL	L	L	L	

Especialista Gestor de obra 03

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1		VH	VL	H	No	H	No	No	No	No	H	H	H	VL
B2	VH		No	L	No	VH	No	No	H	No	No	H	H	No
B3	No	No		H	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
B4	No	No	H		L	H	No	No	No	L	No	No	No	No
B5	No	No	L	L		No	No	No	No	H	No	No	No	No
B6	VH	VH	H	VH	H		VL	H	H	H	H	H	L	No
B7	VL	No	H	H	No	H		No	No	VH	H	No	No	No
B8	No	No	L	H	H	H	No		No	No	No	No	No	No
B9	H	H	VL	VL	H	L	H	No		H	VH	No	No	No
B10	H	No	H	H	H	No	H	No	H		No	No	VH	No
B11	L	H	No	L	VH	H	No	No	VH	VH		No	No	No
B12	H	H	L	H	H	VH	L	No	VL	H	VL		No	No
B13	H	No	No	L	H	H	H	No	L	VH	H	VH		VH
B14	No	No	H	H	H	VL	L	No	No	No	No	H	L	

Especialista Gestor de obra 04

B1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B2	H		VH	VH	H	H	VH	H	VH	H	H	VH	L	VH
B3	H	VH		L	H	VL	VH	VH	L	VH	VH	VH	VH	VH
B4	H	H	H		L	H	H	H	H	H	L	H	VH	VH
B5	H	H	H	H		H	H	VH	VH	H	H	VH	H	H
B6	H	H	H	H	H		H	H	H	H	VH	H	H	VH
B7	VH	H	H	H	H	H		H	H	H	H	H	H	H
B8	VH	H	VH	H	VH	H	H		H	H	H	H	H	H
B9	H	H	H	H	H	H	H	H		H	H	H	H	H
B10	H	H	H	H	VH	H	H	H	H		H	H	H	H
B11	H	H	H	H	H	H	H	H	H	VH		H	H	H
B12	VH	H	H	H	H	H	H	H	H	H	VH		H	H
B13	VH	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H		H
B14	VH	H	H	H	H	H	H	L	VH	H	H	H	H	

Especialista Gestor de obra 05

B1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B2	VH		L	L	H	VH	H	No	VH	H	H	H	L	VH
B3	No	L		H	VL	L	VH	No	No	No	VL	No	No	L
B4	L	L	H		L	L	VH	No	VL	No	VL	No	No	L
B5	H	VH	VL	L		L	No	No	VH	H	H	H	L	VL
B6	VH	VH	L	L	L		H	L	VH	L	VH	VH	VH	VH
B7	H	H	VH	VH	No	H		No	VH	L	H	H	H	No
B8	No	No	No	No	No	L	No		No	No	No	No	No	No
B9	H	VH	No	VL	VH	VH	VH	No		L	VH	H	H	H
B10	H	H	No	No	H	L	L	No	L		H	VL	L	No
B11	H	H	VL	VL	H	VH	H	No	VH	H		VL	H	No
B12	VH	H	No	No	H	VH	H	No	H	VL	VL		H	VH
B13	H	L	No	No	L	VH	H	No	H	L	H	H		No
B14	VH	VH	L	L	VL	VH	No	No	H	No	No	VH	VL	

Especialista Gestor de obra 06

B1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B2	H		VH	VH	H	H	VH	H	VH	H	H	VH	L	VH
B3	H	VH		L	H	VL	VH	VH	L	VH	VH	VH	VH	VH
B4	H	H	H		L	H	H	H	H	H	L	H	VH	VH
B5	H	H	H	H		H	H	VH	VH	H	H	VH	H	H
B6	H	H	H	H	H		H	H	H	H	VH	H	H	VH
B7	VH	H	H	H	H	H		H	H	VH	H	H	H	H
B8	VH	H	VH	H	VH	H	H		H	H	H	H	H	H
B9	H	H	H	H	H	H	H	H		H	H	H	H	H
B10	H	H	H	H	VH	H	H	H	H		H	H	H	H
B11	H	H	H	H	H	H	H	H	H	VH		H	H	H
B12	VH	H	H	H	H	H	H	H	H	H	VH		H	H
B13	VH	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H		H
B14	VH	H	H	H	H	H	H	L	VH	H	H	H	H	

Especialista Gestor de obra 10

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1		H	L	L	VL	H	H	No	H	L	VH	L	L	H
B2	H		VL	VL	No	No	VL	L	L	L	H	L	L	VL
B3	VH	No		VH	VL	H	VH	VL	L	L	H	H	H	H
B4	VH	No	H		VL	H	VH	No	L	No	VL	VL	L	H
B5	H	VL	No	No		No	No	No	VH	VL	No	VH	No	No
B6	VH	H	H	H	H		VH	No	L	No	L	L	VL	H
B7	VL	No	H	H	VL	L		No	H	VL	L	VL	No	VL
B8	No	VL	No	No	No	No	No		No	No	No	No	No	No
B9	VH	H	H	H	VH	H	H	No		VL	H	VL	VL	No
B10	VL	No		No	No	No	No							
B11	H	L	VL		No	No	No							
B12	VL	H	VL	No	L	VL	VL	VL	VL	VL	VL		No	VL
B13	No	No	H	H	No	L	L	No	No	No	No	No		L
B14	L	VL	VL	H	VL	No	VL	No	VL	No	L	L	No	

Especialista Gestor de obra 11

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1		VH	H	VH	VL	VH	H	No	H	L	H	VH	L	VH
B2	VH		H	VH	VL	VH	H	VL	H	VL	VH	VH	L	VH
B3	H	H		VH	H	VH	VH	H	H	L	L	H	L	H
B4	VH	VH	VH		VH	VH	VH	H	VH	L	H	H	L	H
B5	VL	VL	H	VH		H	H	H	VH	L	H	H	VL	H
B6	VH	VH	VH	VH	H		H	L	H	L	H	H	L	VH
B7	H	H	VH	VH	H	H		No	H	VH	VH	L	VL	H
B8	No	VL	H	H	H	L	No		No	VL	VL	No	No	L
B9	H	H	H	VH	VH	H	H	No		H	VH	L	L	L
B10	L	VL	L	L	L	L	VH	VL	H		H	H	H	L
B11	H	VH	L	H	H	H	VH	VL	VH	H		H	H	H
B12	VH	VH	H	H	H	H	L	No	L	H	H		VH	H
B13	L	L	L	L	VL	L	VL	No	L	H	H	VH		VH
B14	VH	VH	H	H	H	VH	H	VL	VL	L	H	H	VH	

Especialista Gestor de obra 12

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1		VH	No	No	No	H	No	No	H	No	No	No	No	VH
B2	VH		No	No	VL	H	No	No	H	No	No	No	No	H
B3	No	No		H	H	VH	VH	H	L	No	VL	L	VL	VH
B4	No	No	H		VH	VH	VH	H	L	H	H	VL	No	VH
B5	No	VL	H	VH		H	L	VH	VH	VL	No	VL	No	VH
B6	H	H	VH	VH	H		VH	No	VH	L	H	VL	No	VH
B7	No	No	VH	VH	VL	VH		No	VH	VL	VH	VL	L	No
B8	No	No	H	H	VH	No	No		No	No	No	No	No	No
B9	H	H	L	L	VH	H	VH	No		VH	VH	VL	No	H
B10	No	No	No	H	L	L	L	No	VH		VH	VH	H	VL
B11	No	No	VH	H	No	H	VH	No	VH	VH		L	VL	No
B12	No	No	L	VL	VL	L	VL	No	VL	VH	L		VH	No
B13	No	No	VL	No	No	VL	L	No	No	H	VL	VH		No
B14	VH	H	VH	VH	VH	VH	No	No	H	VL	No	No	No	

Especialista Gestor de obra 13

B1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B2	VH	VH	H	L	H	VH	VH	No	VH	H	L	VH	VH	VH
B3	H	No	No	No	H	VH	No	No	VH	VH	VH	H	No	VH
B4	H	H	VH	VH	VH	VH	VH	H	VH	VH	VH	VH	L	VH
B5	VH	VH	VL	VL	VH	VH	VH	No	VH	VH	H	H	VH	VH
B6	VH	L	VH	VL	VH									
B7	VH	H	VH	VH	VH									
B8	No	No	No	H	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
B9	VH	H	VH	VH	H	VH								
B10	VH	VH	L	H	VH	No	VH	VH	VH	VH	L	H	No	No
B11	VH	VH	H	No	No									
B12	VH	H	VH	VH	VH	VH	VH	VH	H	VH	VH	VH	VH	VH
B13	VH	H	VH	VH	VH	VH	VH	VH	No	VH	H	VH	VH	VH
B14	VH	No	No	VH	VH	H	No	No						

Especialista Gestor de obra 14

B1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B2	VH	VH	L	L	L	VH	VH	L	VH	L	H	H	VH	VH
B3	L	VH	VH	VH	VH	VH	VH	H	VH	L	VH	L	VH	VH
B4	L	VH	VH	VH	VH	VH	VH	H	VH	L	L	VH	VH	VH
B5	L	VH	VH	VH	VH	L	VH	H	VH	VH	VH	VH	L	VH
B6	VH	L	VH	L	VH									
B7	VH	L	VH	VH	L	H	VH	L	L	VH	VH	VH	VH	VH
B8	L	L	L	L	L	VH	L	L	L	L	L	L	L	H
B9	VH	H	VH	VH	VH	L	VH	VH						
B10	H	L	L	L	VH	VH	VH	H	L	VH	VH	VH	VH	L
B11	H	VL	VH	H	VH	VH	VH	L	VH	VH	VH	VH	VH	L
B12	VH	VH	H	L	L	VH	VH	L	L	VH	VH	VH	VH	VH
B13	VH	L	H	H	H	VH	VH	L	L	VH	VH	VH	VH	VH
B14	VH	L	VH	L	L	VH	VH	VH						

Especialista Gestor de obra 15

B1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B2	VH	H	VL	L	VL	VH	VH	VL	H	VL	H	H	VH	VH
B3	H	L	L	H	L	H	H	L	L	L	L	L	H	H
B4	H	H	VH	VH	L	VH	VH	L	VH	L	L	VH	VH	VH
B5	VH	VH	H	VH	VH	VH	H	L	VH	H	H	H	VH	H
B6	VH	VH	H	VH	VH	VH	H	L	VH	H	H	H	VH	VH
B7	VH	VH	H	VH	H	VH	VH	L	VH	H	H	VH	H	VH
B8	L	H	H	H	L	L	H	VH	VL	VL	H	H	No	No
B9	VH	VH	L	VH	VH	VH	VH	H	VH	H	VH	H	VL	VH
B10	VH	VH	L	H	L	H	H	H	VH	H	H	L	L	L
B11	H	H	L	H	VH	H	VH	VL	VH	H	VL	L	VH	VH
B12	L	H	VL	VH	No	H	VH	VL	H	H	H	H	VH	VH
B13	H	H	H	VH	VH	H	H	VH	H	VH	VH	VH	VH	VH
B14	VH	VH	H	VH	H	VH	H	L	L	H	L	H	H	H

Especialista Gestor de obra 16

B1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B2	VH	VH	VL	L	L	VH	VH	No	VH	L	H	VH	L	VH
B3	H	H	VH	H	L	H	VH	L	VH	VL	VH	VH	L	VH
B4	H	H	H	H	H	VH	H	H	VH	L	L	L	No	H
B5	L	L	H	H	H	VH	VH	H	VH	L	H	L	L	VH
B6	H	H	VH	H	VH	H	VH	H	VH	L	H	H	No	VH
B7	L	VH	VH	H	VH	H	H	H	VH	L	H	H	L	VH
B8	No	L	No	No	L	No	No	No	No	No	No	No	No	No
B9	VH	H	H	H	H	VH	VH	No	H	H	VH	H	H	H
B10	H	H	L	H	H	H	VH	L	H	H	H	H	H	VH
B11	H	H	L	L	H	H	H	No	H	H	H	H	H	H
B12	L	H	L	No	H	H	H	VL	H	H	H	L	H	H
B13	H	H	No	VL	L	H	H	No	H	H	H	L	L	H
B14	VH	VH	No	No	H	VH	VH	VL	H	H	H	L	L	

Especialista Gestor de obra 17

B1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B2	H	H	No	No	H	VH	No	No	VH	No	No	No	No	No
B3	No	No	No	VH	VH	VH	H	H	H	L	H	No	No	L
B4	No	No	H	H	H	H	H	H	VH	L	H	No	No	L
B5	No	No	H	H	H	H	L	H	VH	L	H	No	H	No
B6	VH	H	VH	VH	H	H	L	No	VH	L	VH	No	H	No
B7	VH	L	VH	VH	H	VH	No	No	VH	H	VH	No	H	H
B8	VL	No	VL	H	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
B9	VH	VL	H	H	VH	VH	H	VL	H	VH	VH	VH	VH	L
B10	VL	VL	No	No	H	No	No	No	L	H	H	H	H	VL
B11	L	H	L	H	VH	H	H	No	VH	H	H	H	H	L
B12	H	L	H	H	VH	H	H	No	No	H	H	L	L	H
B13	L	H	L	L	H	H	VH	No	VL	H	H	VH	H	H
B14	H	L	VH	VH	VH	H	H	No	L	L	VL	H	H	

Especialista Gestor de obra 18

B1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B2	VH	VH	No	L	L	VH	No	No	VH	VH	VH	No	No	No
B3	No	No	VH	VH	VH	VH	VH							
B4	No	No	No	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
B5	No	No	No	No	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH
B6	L	L	L	L	L	L	No	No	No	No	No	No	No	No
B7	L	L	L	L	L	L	No	No	No	No	No	No	No	No
B8	VH	L	L	L	L	L	L	L						
B9	No	L	L	VH	VH	VH	VH							
B10	No	L	L	L	L	L								
B11	No	No	No	No	No	VH	VH	VH	No	No	L	L	L	L
B12	No	No	No	No	No	VH	VH	VH	No	No	No	L	L	VH
B13	No	No	No	No	No	VH	VH	VH	No	No	No	No	No	VH
B14	No	No	No	No	No	VH	VH	VH	No	No	No	No	No	VH

Especialista Gestor de obra 19

B1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B2	VH	VH	H	L	VL	VH	H	No	VH	L	VH	H	VL	VH
B3	VH	VL	VH	L	VH	H	VL	H						
B4	VH	L	VH	VH	H	VH	H	VL	VH	L	VL	L	No	H
B5	H	H	VH	VH	H	VH	H	VL	VH	H	VH	VH	VL	VH
B6	VH	VH	VH	VH	L	VH	VH	VL	VH	VH	VH	H	VL	VH
B7	L	L	VH	VH	VH	VH	VH	No	VH	VH	VH	VH	VL	VH
B8	No	VH	H	VH	VL	H	No	No	No	VL	VL	VL	No	VL
B9	VH	VH	H	H	VH	VH	VH	No	H	H	VH	H	H	VH
B10	H	H	L	H	H	VH	H	No	H	H	H	H	VH	H
B11	H	H	VL	VH	VH	VH	VH	VL	VH	H	H	H	H	L
B12	L	H	VL	VH	H	VH	VH	VL	H	H	H	H	VH	VH
B13	VH	VH	VH	VH	H	VH	VH	No	H	VH	H	VH	VH	VH
B14	VH	VH	VH	VH	H	VH	H	No	H	H	H	VL	L	