



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPG ECI)**

**USO COMBINADO DE SIG E CONCEITOS DE MIVES NA IDENTIFICAÇÃO
DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO DE RESÍDUOS INERTES
DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA

Foz do Iguaçu
2021



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO
(ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPG ECI)**

**USO COMBINADO DE SIG E CONCEITOS DE MIVES NA IDENTIFICAÇÃO
DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO DE RESÍDUOS INERTES
DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Fernando Adami

Coorientador: Prof. Dr. Noe Villegas Flores

Foz do Iguaçu
2021

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA

**USO COMBINADO DE SIG E CONCEITOS DE MIVES NA IDENTIFICAÇÃO
DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO DE RESÍDUOS INERTES
DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Samuel Fernando Adami
UNILA

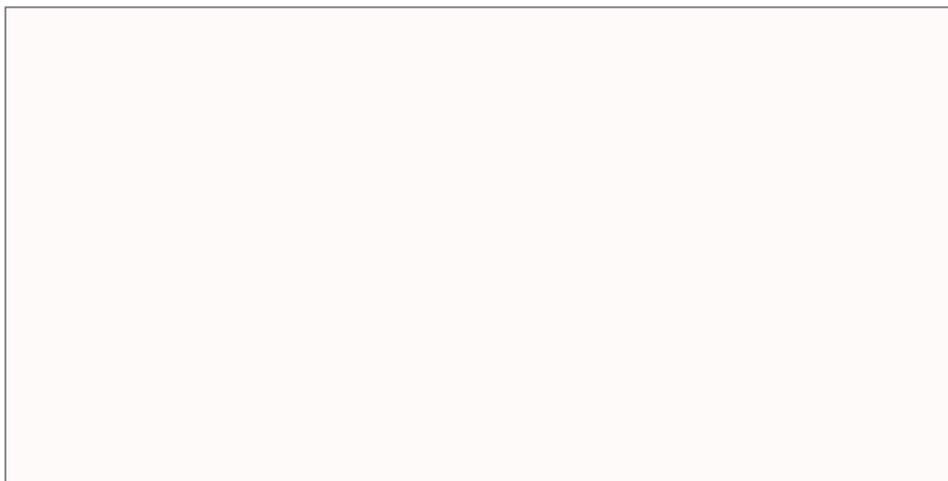
Coorientador: Prof. Dr. Noe Villegas Flores
UNILA

Prof. Dra. Edna Possan
UNILA

Prof. Dra. Cristhiane Michiko Passos Okawa
UEM

Foz do Iguaçu, 18 de maio de 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA EMITIDA PELA
BIBLIOTECA DA UNILA



AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente e sobretudo, à minha família, em especial ao meu companheiro e à minha mãe, que não me deixaram desanimar em nenhum momento, nem mesmo naqueles em que a conclusão deste trabalho parecia improvável e sem sentido. A força que eles me deram neste processo foi de importância imensurável. Agradeço, também, à minha irmã e ao meu pai que, mesmo de forma mais sutil, sempre me incentivaram e acreditaram em mim.

Ao Professor Samuel Fernando Adami, que muito mais que orientador, foi amigo e conselheiro durante toda esta caminhada, compartilhando seus conhecimentos com paciência e muita didática. Agradeço pela disposição em me atender (por vezes, até durante férias e finais de semana) e me ajudar em todos os momentos em que a ele recorri, sempre com simpatia e um sorriso no rosto.

Ao meu coorientador, Professor Noe Villegas Flores, por me apresentar ao MIVES e me guiar no entendimento e na aplicação da metodologia. Agradeço pelas respostas rápidas, pelos materiais de apoio e pela disposição constante.

À Mariana Borges Albuquerque, que teve um papel fundamental me auxiliando no desenvolvimento dos mapas e das figuras utilizadas na pesquisa, além de ter me ouvido reclamar e desabafar. E à minha grande amiga Amanda Borges Albuquerque, agradeço por apresentar-me à sua irmã.

Aos professores da banca pela disponibilidade em participar da defesa e contribuir com o desenvolvimento e enriquecimento desta pesquisa. Às professoras Edna Possan e Cristhiane Michiko Passos Okawa, em especial, agradeço pela amizade e constante dispor.

À UNILA, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, por me aceitarem no curso e possibilitarem o meu crescimento pessoal e profissional, obtidos através das valorosas aulas e do desenvolvimento desta dissertação.

À Prefeitura do Município de Cianorte, em especial ao engenheiro civil Nelson Magron Junior e à engenheira ambiental Anne Caroline Testa, por estarem sempre disponíveis para discutir melhorias na gestão de resíduos e, acima de tudo, por acreditarem neste trabalho.

Aos professores e profissionais que colaboraram respondendo ao formulário proposto, possibilitando o avanço da pesquisa.

Aos meus amigos, que são os melhores que alguém poderia ter, por me

suportarem ao longo destes três anos de reclamações. Agradeço em especial à Viviane Tolomeotti, pela ajuda com o texto.

Aos meus colegas de curso, em especial ao William de Araujo Thomaz, que me concedeu pouso por diversas vezes durante a realização do mestrado e que, junto à Priscila Reis e ao Fernando Davies, me ajudaram a conciliar o curso ao trabalho, me auxiliando nos trabalhos e provas e me incentivando a concluir esta pesquisa.

E a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse finalizado.

A todos vocês, o meu mais sincero muito obrigado!

*“Out there is our home! (...) And it's in trouble.
I can't just sit here and do nothing.
That's all I ever done. That's all anyone in
this blasted ship has ever done. Nothing!”*
Captain (from “WALL-E”)

RESUMO

O crescimento do setor construtivo acarretou no aumento da produção de rejeitos advindos das operações desta esfera, fazendo eclodir a preocupação com a gestão dos resíduos de construção e demolição (RCD). Contudo, em diversas regiões do Brasil, ainda existe grande dificuldade em se realizar a disposição adequada destes. No município de Cianorte, no Noroeste do Paraná, os resíduos sólidos domiciliares recebem direcionamento apropriado, enquanto o RCD é depositado em um local de descarte sem gerenciamento. Esta pesquisa tem como objetivo identificar áreas adequadas para a implantação de aterro de resíduos inertes de construção e demolição na cidade a partir da consideração de fatores ambientais e socioeconômicos. Por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), foram elaborados mapas temáticos dos critérios considerados no estudo, cujas escalas foram normalizadas por meio de parâmetros baseados em lógica *fuzzy* e delimitação de funções de valores por interpolação. Estes mapas foram combinados a partir de Análise e Tomada de Decisões por Multicritério (MCDA), utilizando duas estratégias distintas para a determinação da importância de cada critério: (I) equivalência de pesos e (II) média simples dos pesos atribuídos por especialistas, combinada com base em conceitos do Modelo Integrado de Quantificação de Valor (MIVES). Os resultados mostraram que a utilização do método MIVES proporciona um mapa de aptidão das áreas mais homogêneo, o qual possibilitou a identificação de doze regiões com graus de aptidão entre 9 e 10 à instalação do aterro, em uma escala de 0 a 10 na qual o valor 10 corresponde a aptidão máxima. As regiões identificadas se localizam nos arredores do perímetro urbano da cidade, e possuem áreas que variam entre 0,02 e 1,38 km². Recomenda-se que, para a tomada de decisão final, sejam considerados aspectos como vida útil estimada para o aterro e área mínima equivalente, fatores não contemplados na pesquisa. Em linhas gerais, concluiu-se que a utilização do MIVES melhorou de forma significativa a homogeneidade dos resultados e a compatibilidade com as problemáticas de implantação do aterro de RCD, facilitando a tomada de decisão. Este trabalho demonstra que a integração entre conceitos da metodologia MIVES com SIG é bastante promissora e pode ser aplicada em diversas áreas do conhecimento.

Palavras-chave: RCD. Análise Multicriterial. Gestão de Resíduos.

ABSTRACT

The growth of the construction industry meant an increase in debris coming from those operations, which also increased worries on construction and demolition waste (CDW). In several regions of Brazil, however, there is still great difficulty in properly disposing of those materials. In the municipality of Cianorte, in the northwest region of Paraná, despite the fact that solid domestic waste is properly directed, CDW is sent to a discard location without any management. This research aims to identify adequate areas for the implantation of a landfill for non-reactive construction and demolition waste in the city, considering environmental and socio economic factors. In order to achieve that goal, theme maps matching the criteria considered were developed, using Geographic Information Systems (GIS). The scales were normalized using parameters based on fuzzy logic and outline of values by interpolation functions. These maps were combined using Multi-criteria Decision Analysis (MCDA), in two distinct strategies to determine the importance of each criteria: (I) weight equivalence and (II) simple average of weights given by specialists, combined with basis on concepts from the MIVES multicriterial framework (originally, in Spanish, Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles). Results show that the use of the MIVES method allowed for a more homogeneous area aptitude map, which enabled the identification of twelve regions with aptitude degrees for the landfill installation varying between 9 and 10, in a scale of 0 to 10, 10 being the maximum aptitude. The identified regions are located around the urban perimeter of the city, and have areas varying from 0.02 and 1.38 km². The recommendation is that, in order to make a final decision, to consider aspects like estimated lifespan for the landfill and the equivalent minimum area, though they are not contemplated by this research. Generally, the conclusion was that the use of MIVES significantly increased the homogeneity of the results and their compatibility with the problems associated with the implantation of a CDW landfill, facilitating decision-making. Here, is demonstrated that an integration between concepts of MIVES methodology with GIS is very promising and can be applied in several areas of knowledge.

Keywords: CDW. Multi-criteria Analysis. Waste Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização do Município de Cianorte.....	19
Figura 02 – Crescimento da população no município de Cianorte	20
Figura 03 – Mapa de localização do aterro sanitário de Cianorte.....	21
Figura 04 – Croqui do aterro sanitário de Cianorte.....	22
Figura 05 – Célula em funcionamento – aterro sanitário de Cianorte.....	23
Figura 06 – Lagoas de tratamento do lixiviado – aterro sanitário de Cianorte.....	23
Figura 07 – Modelo de caçamba de coleta de RCD em Cianorte.....	24
Figura 08 – Localização da área de disposição do RCD em Cianorte	25
Figura 09 – Acesso à área de disposição do RCD em Cianorte.....	25
Figura 10 – Visão geral da área de disposição de RCD em Cianorte	26
Figura 11 – Detalhe das pilhas de materiais após triagem	26
Figura 12 – Organograma da pesquisa	29
Figura 13 – Estrutura resumida do SIG	35
Figura 14 – Representação esquemática das diferenças entre raster e vetor	36
Figura 15 – Artigos acadêmicos combinando SIG e RCD, por triênio	38
Figura 16 – Distribuição dos artigos acadêmicos combinando SIG e RCD nas vertentes consideradas	39
Figura 17 – Modelo genérico de árvore de requerimentos para uso do MIVES	46
Figura 18 – Cálculo genérico do índice de sustentabilidade de uma alternativa no MIVES	48
Figura 19 – Estrutura de aplicação do método MIVES	49
Figura 20 – Árvore de requerimentos da pesquisa.....	58
Figura 21 – Ferramentas utilizadas para rasterização e reclassificação dos mapas temáticos.....	59
Figura 22 – Mapa de curvas de nível de Cianorte	62
Figura 23 – Correlação entre declividade e grau de aptidão das declividades.....	63
Figura 24 – Correlação entre distância de corpos hídricos e grau de aptidão de distância de corpos hídricos	65
Figura 25 – Mapa da hidrografia de Cianorte	66
Figura 26 – Mapa da hidrografia de Cianorte	67
Figura 27 – Imagem de satélite de Cianorte.....	68

Figura 28 – Correlação entre distância de estradas e grau de aptidão de distância de estradas.....	70
Figura 29 – Mapa da estradas de Cianorte	71
Figura 30 – Correlação entre distância de áreas urbanas e grau de aptidão da distância de áreas urbanas	72
Figura 31 – Árvore de requerimentos da pesquisa, com os respectivos pesos.....	75
Figura 32 – Fluxograma do processo de análise multicriterial.....	76
Figura 33 – Valores de declividades normalizados para Cianorte	79
Figura 34 – Classes normalizadas de distâncias de corpos hídricos em Cianorte ..	80
Figura 35 – Classes normalizadas de tipos do solo em Cianorte	81
Figura 36 – Classes normalizadas de uso das terras em Cianorte	82
Figura 37 – Classes normalizadas de distância de estradas em Cianorte	83
Figura 38 – Classes normalizadas de distância da área urbana em Cianorte.....	84
Figura 39 – Áreas inadequadas para aterro de RCD em Cianorte	85
Figura 40 – Mapa final de aptidão de áreas para implantação de aterro de RCD pelo método de pesos equivalente	87
Figura 41 – Mapa final de aptidão de áreas para implantação de aterro de RCD por distribuição dos pesos baseada em MIVES	89
Figura 42 – Detalhe das regiões com elevado grau de aptidão para implantação de aterro de RCD	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Trabalhos verificados na revisão integrativa de bibliografia	39-42
Quadro 02 – Critérios utilizados em trabalhos que utilizam SIG para implantação de aterros de RCD	51
Quadro 03 – Classes de fragilidade de diferentes tipos de solos	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Valoração dos critérios de acordo com o grau de aptidão para implantação de aterros de RCD	60
Tabela 02 – Normalização dos valores de declividade conforme grau de aptidão para aterros de RCD	64
Tabela 03 – Normalização dos valores de distância de corpos hídricos conforme grau de aptidão para aterros de RCD	66
Tabela 04 – Normalização dos valores de distância de estradas conforme grau de aptidão para aterros de RCD	71
Tabela 05 – Normalização dos valores de distância de áreas urbanas conforme grau de aptidão para aterros de RCD	74
Tabela 06 – Distribuição percentual dos graus de aptidão no mapa final por pesos equivalentes.....	88
Tabela 07 – Distribuição percentual dos graus de aptidão no mapa final baseado em MIVES.....	90
Tabela 08 – Informações geográficas das regiões com melhor aptidão para implantação de aterro de RCD	91
Tabela 09 – Aptidão das regiões para os indicadores considerados, individualmente ...	92

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AHP	Processo Analítico Hierárquico (do inglês <i>Analytical Hierarchy Process</i>)
ASTENCIA	Associação dos Transportadores de Entulhos e Agregados de Cianorte
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISO	Organização Internacional de Normalização (do inglês <i>International Organization for Standardization</i>)
MCDA	Análise e Tomada de Decisão por Multicritério (do inglês <i>Multicriteria Decision Analysis</i>),
MIVES	O Modelo de Valor Integrado para Avaliações Sustentáveis (do espanhol <i>Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles</i>)
NBR	Norma Técnica Brasileira
PIB	Produto Interno Bruto
PMGRCC	Plano Municipal de Gestão de Resíduos de Construção Civil
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SIG	Sistema de Informações Geográficas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	18
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA SITUAÇÃO PROBLEMA	19
1.2.1 Aterro Sanitário de Cianorte	20
1.2.2 Local de Disposição do RCD.....	24
1.3 JUSTIFICATIVA.....	27
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	28
2 DESENVOLVIMENTO	30
2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)	30
2.2 ATERROS DE RCD.....	33
2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	34
2.4 UTILIZAÇÃO DE SIG NA GESTÃO DO RCD	37
2.5 ANÁLISE MULTICRITERIAL	43
2.5.1 Lógica <i>Fuzzy</i>	44
2.5.2 MIVES	45
2.6 UTILIZAÇÃO COMBINADA DE SIG E MCDA.....	50
2.7 CRITÉRIOS UTILIZADOS NA TOMADA DE DECISÕES.....	51
2.7.1 Declividade.....	52
2.7.2 Distância de Corpos Hídricos	53
2.7.3 Tipo do Solo	53
2.7.4 Usos das Terras.....	54
2.7.5 Distância de Estradas.....	55
2.7.6 Distância de Áreas Urbanas.....	55
3 MATERIAIS E MÉTODOS	57
3.1 ÁREA DE ESTUDO	57
3.2 SELEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS	57
3.3 ELABORAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS	58
3.3.1 Obtenção e Reclassificação dos Dados	58
3.3.2 Normalização dos Valores dos Indicadores.....	60
3.3.2.1 <i>Declividade</i>	61
3.3.2.2 <i>Distância de Corpos Hídricos</i>	64
3.3.2.3 <i>Tipo do Solo</i>	67
3.3.2.4 <i>Usos das Terras</i>	68

3.3.2.5 <i>Distância de Estradas</i>	69
3.3.2.6 <i>Distância de Áreas Urbanas</i>	72
3.3.3 Determinação das Áreas Inadequadas	74
3.4 PESOS DOS CRITÉRIOS.....	74
3.5 ANÁLISE MULTICRITERIAL	76
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
4.1 MAPAS TEMÁTICOS NORMALIZADOS.....	78
4.1.1 Declividade.....	78
4.1.2 Distância de Corpos Hídricos	79
4.1.3 Tipo do Solo	80
4.1.4 Usos das Terras.....	81
4.1.5 Distância de Estradas.....	83
4.1.6 Distância da Área Urbana	84
4.1.7 Áreas Inadequadas	85
4.2 MAPAS DE APTIDÃO DAS ÁREAS	86
4.2.1 Determinação pelo Método de Pesos Equivalentes	86
4.2.2 Determinação baseada em MIVES	88
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
REFERÊNCIAS.....	95
APÊNDICES	107
APÊNDICE A – FORMULÁRIO	108
APÊNDICE B – RELAÇÃO DE ESPECIALISTAS	111
APÊNDICE C – RELAÇÃO DE RESPOSTAS.....	113
APÊNDICE D – MAPA FINAL POR PESOS EQUIVALENTES.....	114
APÊNDICE E – MAPA FINAL BASEADO EM MIVES	115

1 INTRODUÇÃO

Ao passo em que os países em desenvolvimento passam por processos de urbanização, o gerenciamento de resíduos de construção e demolição (RCD) surge como um desafio para a sustentabilidade urbana em termos ambientais, econômicos e de saúde pública (ZHANG; ZHENG; *et al.*, 2019). No Brasil, a Construção Civil, embora seja reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, sendo a responsável por, em média, 5,34% do PIB nacional (NUNES; LONGO; *et al.*, 2020), impacta significativamente no ambiente, como apontam Flach e Kern (2009), seja em decorrência do consumo de recursos naturais, da modificação da paisagem ou da geração de RCD.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020), durante o ano de 2019 foram coletados cerca de 44,5 milhões de toneladas de RCD pelos municípios brasileiros, o que corresponde a 213,5 kg/hab.ano, uma taxa 22,5% maior à observada em 2010. Contudo, em decorrência da grande quantidade de resíduos dispostos em locais inadequados, ainda não é possível se determinar um coeficiente de geração nem a geração total de RCD no país (BOHNENBERGER; PIMENTA; *et al.*, 2018). Algumas estimativas apontam que a geração de RCD pode significar até 70% de todo o resíduo gerado em determinadas cidades (PINTO, 1999; PINTO; GONZÁLES, 2005).

A maior parcela do RCD gerado é aquela formada por materiais inertes, como concreto, tijolos, metal, areia e terra. Contudo, há no conjunto uma quantia representativa de compostos não-inertes (GARRIDO; CALVO; *et al.*, 2005; MIRANDA; ÂNGULO; CARELI, 2009; LIMA; CABRAL, 2013; KOCHER; DUTRA; POSSAN, 2017), que correspondem a materiais orgânicos, produtos químicos, tóxicos e de embalagens diversas que podem acumular água e favorecer a proliferação de insetos e de outros vetores de doenças (KARPINSK; PANDOLFO; *et al.*, 2009).

De acordo com a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), sempre que possível o RCD inerte deverá ser reciclado ou reutilizado na forma de agregado (BRASIL, 2002). Contudo, nem sempre é economicamente viável a implantação de usinas de reciclagem de RCD, sobretudo em municípios de pequeno porte. A Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2019) aponta que apenas 13% das usinas de reciclagem do país estão implantadas em municípios com população inferior a 100 mil

habitantes. Para os locais onde existe inviabilidade de implantação de sistemas de reciclagem, entretanto, o CONAMA prevê que os resíduos inertes devem ser encaminhados para aterros específicos, de modo que os materiais fiquem reservados para usos futuros (BRASIL, 2002).

Embora exista previsão legal para a destinação correta do resíduo de construção e demolição, Biluca (2017) pontua que uma grande parcela do RCD produzido é disposto, de forma inadequada, em terrenos baldios, áreas de preservação ambiental, leitos de rios e margens de estradas. Segundo Silva, Humada, *et al.* (2015), a disposição irregular dos resíduos advindos da construção e demolição pode acarretar numa série de problemas ao meio ambiente, dentre os quais se destacam a contaminação dos solos e das águas, tanto superficiais quanto subterrâneas, a depreciação da paisagem e o consequente impacto negativo na qualidade de vida da população.

Para evitar os problemas decorrentes da disposição inadequada do RCD, é fundamental gerenciar o procedimento, uma vez que a sua efetiva gestão pode tornar o setor construtivo mais eficiente, reduzindo o uso de recursos naturais e, conseqüentemente, os impactos ambientais (ZAINUN; OTHMAN, 2015). Nesse contexto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) vêm sendo amplamente utilizados como ferramenta de auxílio na gestão adequada de RCD. Estes sistemas são definidos por Lozano, Solano, *et al.* (2013) como ferramentas computacionais de consulta, análise, edição de dados, de mapas e informações espaciais em geral. A tecnologia SIG se destaca por sua ampla possibilidade de utilização, inclusive na esfera ambiental, na qual pode ser empregada para analisar, por exemplo: estimativa de recarga de águas subterrâneas, avaliação de poluição de águas, avaliação de suscetibilidade a incêndio em florestas e a deslizamento de terras, dentre outros (NASCIMENTO; SOBRAL; *et al.*, 2017). No que diz respeito aos RCD, a utilização de SIG pode se dar de diferentes formas, basicamente resumida em três vertentes: estimativa de geração de resíduos, eficiência dos recursos e gerenciamento de aterros.

No que se refere à utilização do SIG no gerenciamento de aterros, a ferramenta se faz importante no auxílio à identificação de áreas para depósito do RCD, uma vez que auxilia no processo de tomada de decisões em prol do manejo adequado dos aterros (BILUCA; AGUIAR; TROJAN, 2020). A prática vem se tornando cada vez mais comum, tendo sido utilizada por Biju (2015), Biluca (2017), Ding, Zhu, *et al.* (2018; 2020), Madi e Srour (2019), AlZaghrini, Srour e Srour (2019), Araiza-Aguilar, Gutierrez-Palacios, *et al.* (2019), entre outros. Nestes trabalho, de uma forma geral, informações geográficas

distintas foram combinadas por meio de *Multicriteria Decision Analysis* (MCDA), uma ferramenta de análise e tomada de decisões que emprega critérios múltiplos e diversos, o que, conforme apontam Eskandari, Homaei e Mahmodi (2012), possibilita uma escolha mais adequada de áreas para a implantação de aterros, pois permite que sejam considerados fatores ambientais, econômicos e sociais de forma concomitante e com níveis de importância ajustáveis.

1.1 OBJETIVOS

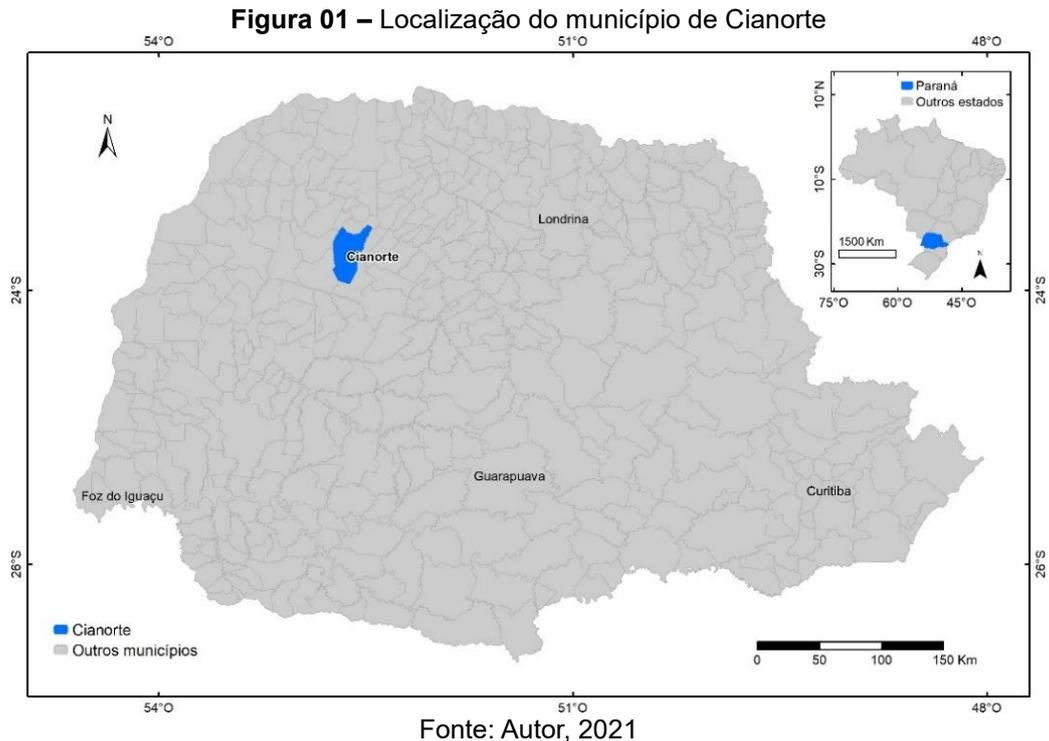
Este trabalho teve como objetivo geral identificar áreas adequadas para a implantação de aterro de resíduos de construção e demolição no município de Cianorte, no noroeste do Paraná.

Para que o objeto geral pudesse ser atingido, alguns objetivos secundários, de caráter mais específicos, foram delineados:

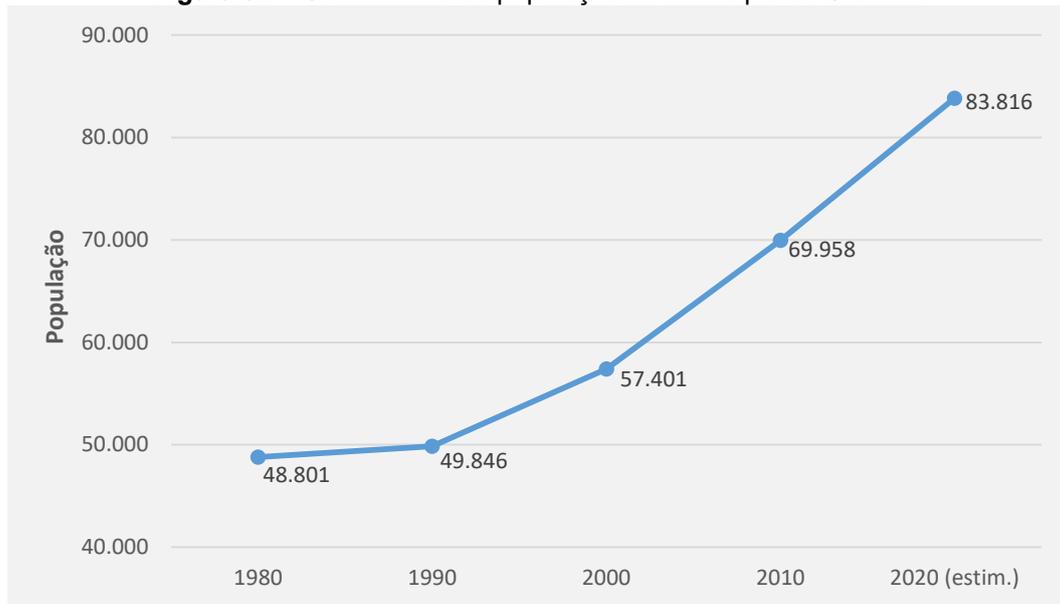
- Identificar as condições atuais de disposição, triagem e acomodação do RCD no município de Cianorte;
- Montar um banco de dados geoespaciais do município;
- Identificar indicadores de influência na avaliação de locais para implantação de aterro de RCD, considerando-se fatores ambientais e socioeconômicos, e criar mapas temáticos para cada um deles;
- Definir, por meio de designação direta a partir de consulta a especialistas, os fatores de maior e menor importância na avaliação das áreas adequadas para aterramento dos resíduos;
- Elaborar mapas de aptidão de áreas para a disposição de resíduos, com base nos fatores identificados, capaz de fornecer informações à gestão pública local e possibilitar a tomada de decisões;
- Comparar mapas de aptidão elaborados por diferentes metodologias, de modo a avaliar a adequabilidade de utilização de MIVES combinado a SIG em análise e tomada de decisão por multicritério.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA SITUAÇÃO PROBLEMA

Fundado no ano de 1953 pela Companhia Melhoramentos do Norte do Paraná – da qual herdou o nome - o município de Cianorte é o principal município da Microrregião de Cianorte. Localizando-se na região Noroeste do Estado (Figura 01), possui área territorial de cerca de 811,67 km² (IBGE, 2020).



Em consonância às principais cidades do Estado do Paraná, o município vem enfrentando, no decorrer das últimas décadas, um crescimento populacional significativo, como observado na Figura 02. Entre os anos de 2010 e 2020, por exemplo, o crescimento populacional, estimado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), foi de quase 20%.

Figura 02 – Crescimento da população no município de Cianorte

Fonte: Adaptado de IBGE, 2020

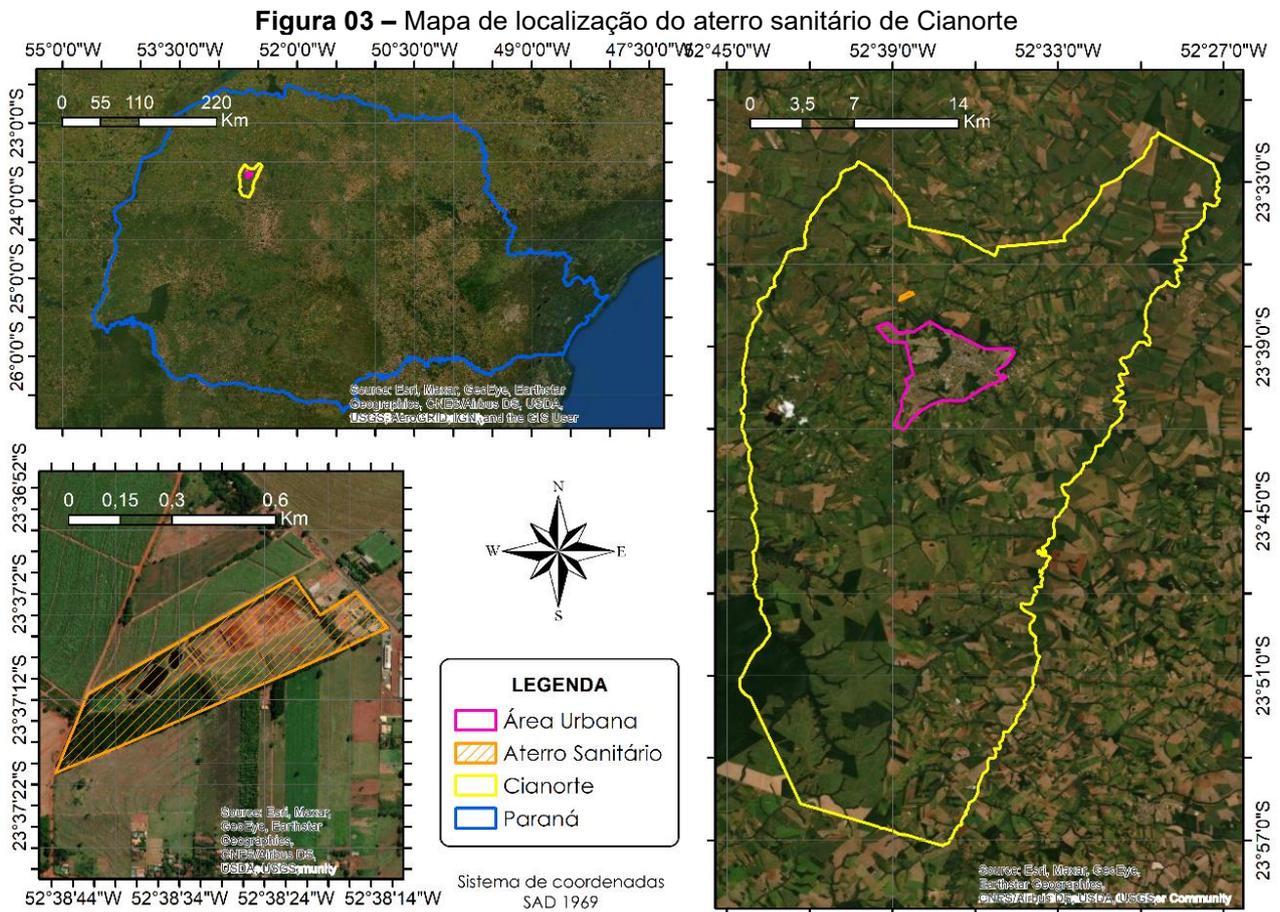
O crescimento demográfico de um município pode acarretar na expansão territorial urbana, com o surgimento de novos bairros. A criação destes, por sua vez, impulsiona o mercado da construção civil e, conseqüentemente, a geração de resíduos de construção e demolição. No ano de 2013, por exemplo, eram coletados mensalmente cerca de 2.400 m³ de RCD no município de Cianorte, dentre os quais grande parte – cerca de 10.500 ton/mês – tinha capacidade de ser reciclado (CIANORTE, 2013). Não foram encontrados dados mais recentes acerca da geração de RCD na cidade.

Desde o ano de 2013 o município possui o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, que contempla diagnóstico e proposta de manejo dos resíduos de diversas classes. Além disso, a cidade conta com um aterro sanitário que, de acordo com Forcato, Dias, *et al.* (2017), é modelo nacional em tratamento de resíduos, possuindo certificação externa ABNT ISO 14001:2015, além de certificação interna ABNT ISSO 31000:2009, sendo um dos mais bem estruturados do estado. Contudo, no que se refere ao gerenciamento dos resíduos advindos da construção civil, a deposição não acontece de forma adequada.

1.2.1 Aterro Sanitário de Cianorte

O aterro sanitário do Município de Cianorte fica localizado às margens da Rodovia Estadual PR-082, a cerca de 4,5 km do núcleo urbano da cidade (Figura 03).

Com área de 15,54 ha, o local teve suas atividades iniciadas no ano de 2002, sendo que atualmente atende, além de Cianorte, três municípios vizinhos: Terra Boa, São Tomé e Indianópolis.



O espaço – público municipal – foi concedido à Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), que é a responsável pela coleta e tratamento dos resíduos sólidos domiciliares. A Figura 04 mostra com detalhe, na forma de croqui, a distribuição das partes internas da área, identificando os pontos principais para gerenciamento e controle do funcionamento do local.

Figura 04 – Croqui do aterro sanitário de Cianorte



Fonte: Adaptado de CIANORTE, 2013

A estrutura do aterro é composta por quatro células para disposição de resíduos já finalizadas, uma quinta célula parcialmente utilizada, e uma sexta célula em operação (Figura 05). Além destas, o projeto prevê a implantação de mais duas unidades. O local conta, ainda, com lagoas de tratamento do chorume lixiviado (Figura 06), lagoas específicas para a captação de água pluvial, área de manutenção de frota de veículos, estacionamentos, almoxarifado, depósito de produtos químicos, área administrativa, guarita, balança rodoviária digital eletrônica, área administrativa, refeitórios e banheiros. Por fim, existe no local uma área reflorestada sobre o antigo “lixão”¹ do município, destinada a Reserva Legal (CIANORTE, 2013).

¹ Lixão: forma de disposição final de resíduos sólidos municipais caracterizada pela simples descarga do material sobre o solo, a céu aberto, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Comumente utilizado em municípios pequenos e/ou com baixa renda *per capita*. (IPT, 2018).

Figura 05 – Célula em funcionamento – aterro sanitário de Cianorte



Fonte: Autor, 2021

Figura 06 – Lagoas de tratamento do lixiviado – aterro sanitário de Cianorte



Fonte: Autor, 2021

Contudo, embora o aterro sanitário municipal seja devidamente estruturado, é importante salientar que, conforme prevê a legislação, os resíduos provenientes da construção civil, inclusive os inertes, não podem ser dispostos em aterros deste tipo. Conforme prevê a Resolução CONAMA nº 307/2002, o RCD inerte deve ser descartado de modo a ficar reservado para usos futuros. Destinar este tipo de resíduo a aterros sanitários como o apresentado, além de descumprimento da legislação, implica em má aplicação de recursos e redução da vida útil do empreendimento, uma vez que o RCD inerte não gera chorume, ocupa um grande volume nas áreas de disposição e pode ser reciclado após um longo período de tempo desde o descarte. Desta forma, o RCD inerte deveria ser destinado a local específico.

1.2.2 Local de Disposição do RCD

No município de Cianorte, a coleta de resíduos de construção e demolição é realizada por meio de caçambas, como a da Figura 07, diretamente na fonte geradora. A disponibilização e o recebimento destas caçambas em local de disposição final é realizado pela Associação dos Transportadores de Entulhos e Agregados de Cianorte (ASTENCIA), associação formalizada como de utilidade pública por meio da Lei Municipal nº 3.926, de 23 de outubro de 2012.

Figura 07 – Modelo de caçamba de coleta de RCD em Cianorte



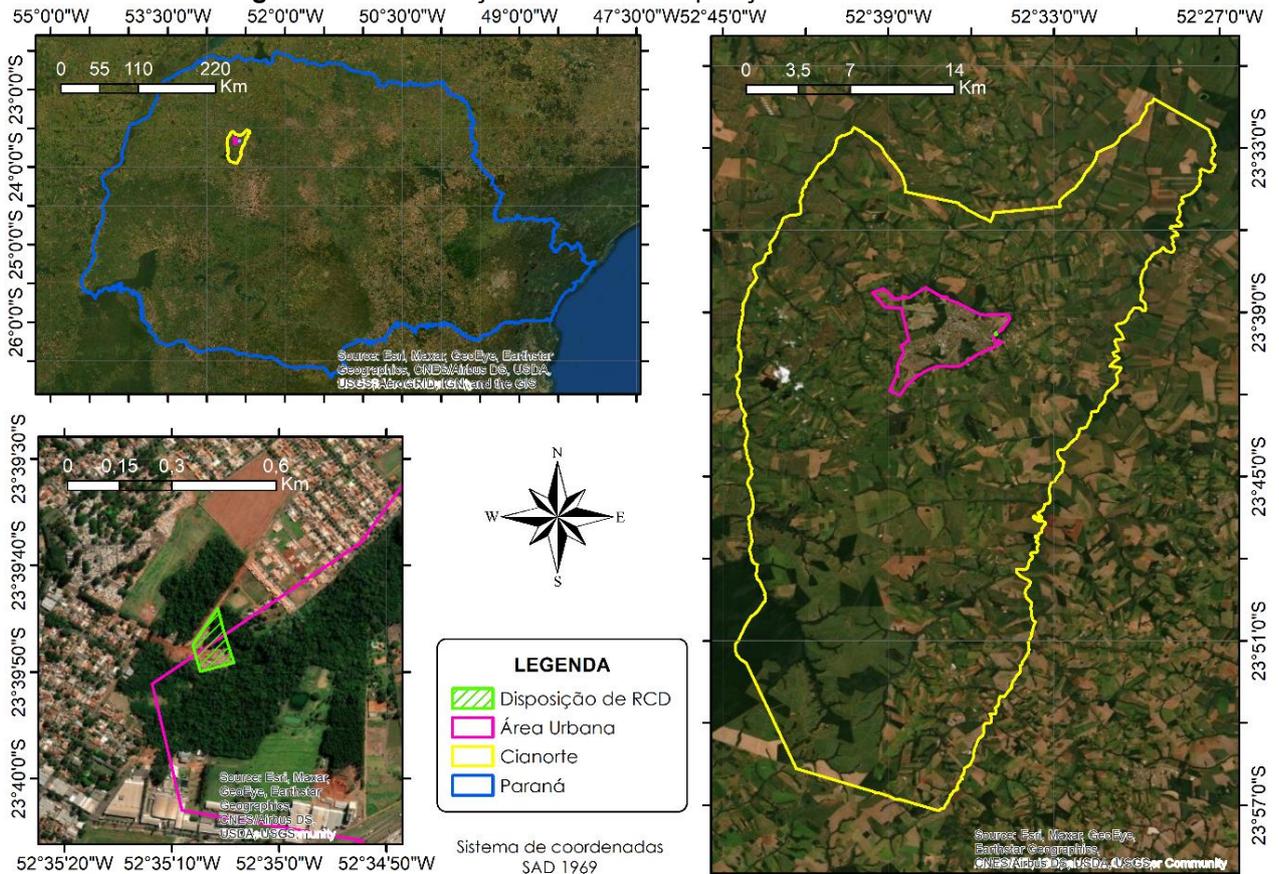
Fonte: Autor, 2021

Atualmente, o RCD coletado pela associação é direcionado para uma área de disposição localizada dentro do núcleo urbano do município (Figura 08), na qual o resíduo² é utilizado para preencher a erosão³ ali existente. A área encontra-se inserida dentro do Parque Cinturão Verde, uma reserva ambiental que contorna quase todo o perímetro urbano do município.

² O resíduo descartado na área de disposição apresentada é predominantemente inerte.

³ Existe, no local, uma erosão natural decorrente do inclinação acentuada do terreno. O resíduo inerte é descartado no local e posteriormente aterrado.

Figura 08 – Localização da área de disposição do RCD em Cianorte



Fonte: Autor, 2021

O acesso à área é realizado diretamente, pela Rua Grajaú. O portão, existente no local, fica permanentemente aberto. A única restrição de acesso existente consiste em uma placa, fixada na cerca ao lado da entrada, mostrada na Figura 09.

Figura 09 – Acesso à área de disposição do RCD em Cianorte



Fonte: Autor, 2021

A Figura 10 apresenta uma visão geral do local de deposição do RCD. No lugar, atua um funcionário contratado pela associação, o qual é responsável por realizar a triagem dos materiais que são descartados na área⁴. Na Figura 11, é possível observar pilhas de diferentes tipos de materiais, após a separação. Percebe-se a presença de madeiras, papéis e plásticos, mostrando que não são somente os resíduos de classe A⁵ que são dispostos ali.

Figura 10 – Visão geral da área de disposição de RCD em Cianorte



Fonte: Autor, 2021

Figura 11 – Detalhe das pilhas de materiais após triagem



Fonte: Autor, 2021

⁴ A triagem realizada consiste, basicamente, em separar o resíduo inerte daquele não inerte (madeira, gesso e outros) que, porventura, seja descartado no local.

⁵ Classificação de acordo com a Resolução CONAMA n° 307/2020. O assunto é abordado no item 2.1 deste trabalho.

O Município vem tentando identificar áreas adequadas para a implantação de um aterro para disposição do RCD inerte, ainda sem sucesso. A área em questão deverá ser utilizada para a disposição do resíduo proveniente de pequenos geradores, conforme previsto pela Resolução CONAMA nº 307/2002. Em tempo, a municipalidade está, ainda, desenvolvendo o Plano Municipal de Gestão de Resíduos de Construção Civil (PMGRCC), que se encontra em fase de revisão para posterior aprovação (informação verbal)⁶.

A exigência de um PMGRCC que esteja em consonância com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos é um dos pontos abordados pela Resolução CONAMA nº 307/2002, atualizada pela Resolução CONAMA nº 448/2012. De acordo com Rezende e Ribeiro (2015, p. 11), é através do PMGRCC que o Município irá distinguir o pequeno e o grande gerador no âmbito local, e a partir desta definição é que as competências para o gerenciamento, coleta, transporte e disposição final serão estabelecidas. Segundo os autores, “para os pequenos geradores, o Município além de ser responsável pela gestão (atividades de planejamento, supervisão e fiscalização), será também pelas atividades de gerenciamento”.

1.3 JUSTIFICATIVA

Diferentemente dos resíduos sólidos domiciliares, os resíduos de construção e demolição se caracterizam por terem sua produção variando de acordo com a demanda de mercado do setor da Construção Civil, o que dificulta prever a quantidade a ser gerada. Contudo, os dados mais recentes da ABRELPE (2020) indicam que, a cada ano, são coletados pelos municípios o equivalente a 213,5 kg de RCD por habitante. Assim, considerando este índice e a população atual de Cianorte, pode-se estimar que, somente no ano de 2020, quase 18 mil toneladas de resíduos de construção e demolição foram recolhidos pelo município.

É fundamental que a legislação federal que regula o direcionamento do RCD seja atendida e, diante da inexistência de usinas de reciclagem do material no município, se faz necessário que o resíduo inerte seja direcionado a um aterro adequado, nos termos da Resolução CONAMA nº 307/2002, da Lei Federal nº 12.305/2008 e em atenção ao que estabelece a ABNT NBR 15113:2004.

⁶ Informações concedidas em entrevista à Secretária Municipal de Meio Ambiente do Município de Cianorte, Anne Caroline Testa.

Porém, além da necessidade de atender a legislação, a busca pelo desenvolvimento sustentável do setor é de suma importância (BIJU, 2015). Considerando-se o atual cenário de disposição do resíduo de construção e demolição no município de Cianorte, e levando em conta o significativo crescimento populacional na cidade, a identificação de áreas aptas a receberem o descarte de resíduos provenientes da Construção Civil, por meio da contemplação de fatores ambientais, econômicos e sociais, é fundamental para minorar os impactos negativos da disposição irregular.

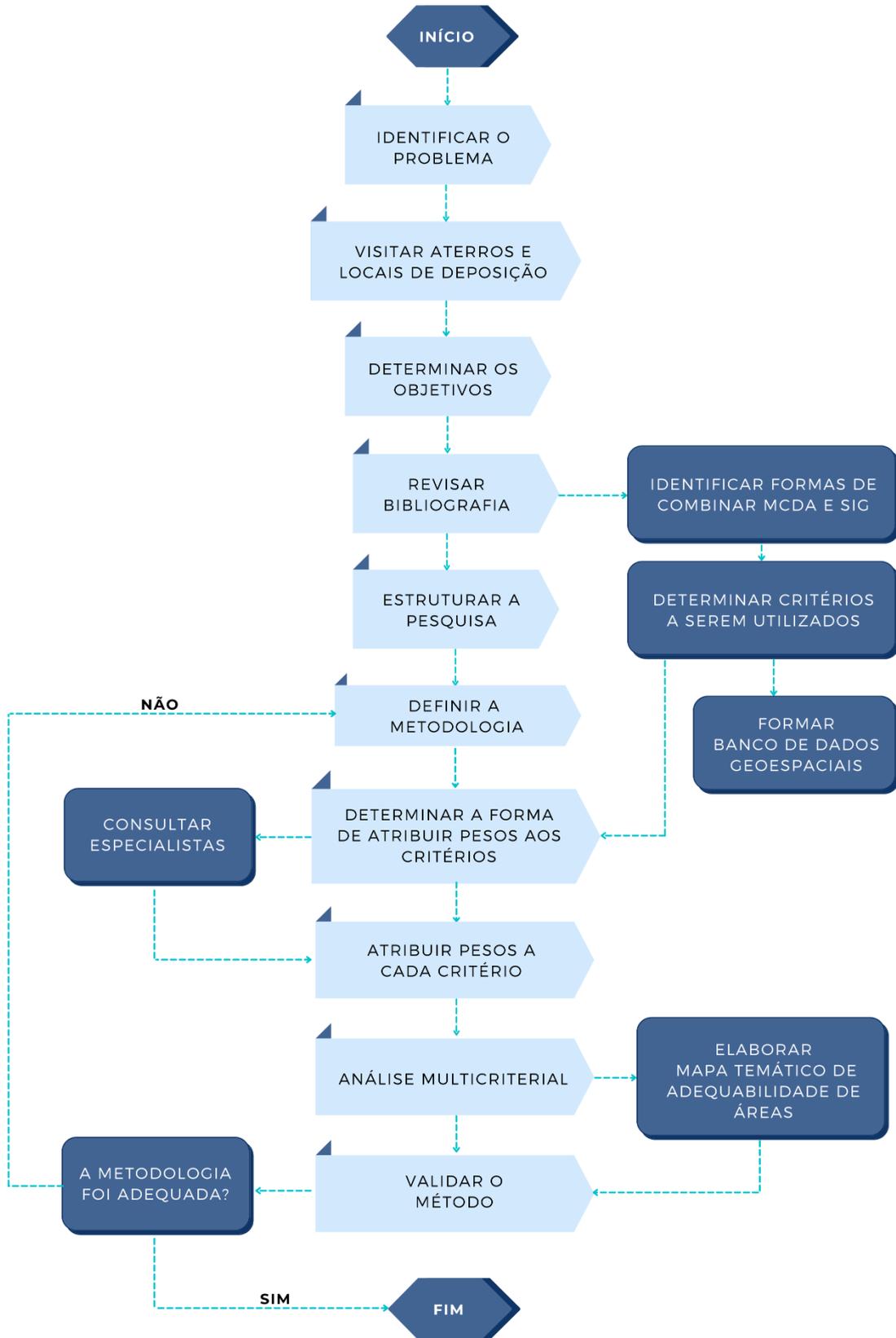
Neste sentido, esta pesquisa apresenta uma metodologia técnica para abordar a problemática, por meio da combinação de mapas temáticos multicriteriais, os quais, quando combinados, possibilitam uma análise detalhada das regiões com maior aptidão para implementação de aterros. O estudo ganha importância e aplicação prática quando se considera o atual cenário do município de estudo. Ademais, o uso do método é passível de ser replicado em outras áreas em circunstâncias similares.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além desta introdução, onde foram apresentados os objetivos e a justificativa para a realização da pesquisa, o trabalho conta com outros quatro capítulos, estruturados de modo a se seguir uma ordem lógica até a obtenção do objetivo final. No capítulo dois, é realizado o desenvolvimento dos conceitos utilizados, apresentando-se uma revisão da bibliografia sobre resíduos de construção e demolição, aterros de RCD, Sistema de Informação Geográfica, uso de SIG na gestão de RCD, análise multicriterial e MIVES. No capítulo três, são apresentados os materiais (*softwares*, bancos de dados, mapas temáticos) e os métodos utilizados no trabalho para a obtenção dos resultados. Estes, por sua vez, são expostos e discutidos no quarto capítulo, onde são expostos os mapas finais de aptidão de áreas à implantação de aterros de RCD inerte, desenvolvidos por meio de duas metodologias distintas. Por fim, no capítulo cinco, é apresentada a conclusão do estudo e são explanadas as recomendações finais.

Todo o ordenamento das etapas da pesquisa, desde a sua concepção e estruturação, até o cumprimento dos objetivos e conclusão, foi resumido no organograma apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Organograma da pesquisa



Fonte: Autor, 2021

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, dispõe sobre a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos, os quais são definidos como os materiais resultantes da atividade humana, encontrados em estado sólido, semissólido, gasoso (dispostos em recipientes) ou líquido, cujo descarte na rede de esgoto é impraticável técnica ou economicamente, e aos quais deve ser dada a devida procedência à destinação final (BRASIL, 2010).

De acordo com a PNRS, os resíduos sólidos podem ser classificados de duas formas: quanto a origem e quanto à periculosidade. No que se refere à periculosidade, a ABNT NBR 10004:2014 estabelece requisitos para a classificação dos resíduos no que tange os riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública. De acordo com a normativa, os resíduos perigosos são classificados como de Classe I, caracterizando-se por possuírem uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Caso nenhuma destas características seja observada, integrará a Classe II, de resíduos não perigosos, podendo serem do tipo não inerte (Classe II A) ou inerte (Classe II B). O resíduo será não inerte quando apresentar propriedades como combustibilidade, solubilidade em água ou biodegradabilidade.

No que se refere à origem dos resíduos sólidos, a PNRS apresenta, em seu Art. 13, inciso I, as seguintes classes possíveis: resíduos sólidos urbanos (subdividida em domiciliares e de limpeza urbana), resíduos comerciais e de prestadoras de serviços, resíduos dos serviços públicos de saneamento básico, resíduos industriais, resíduos de serviços de saúde, resíduos de construção civil, resíduos agrossilvopastoris, resíduos de serviços de transporte e resíduos de mineração.

No que diz respeito, especificamente, aos resíduos de construção civil, estes são definidos pela Resolução CONAMA nº307/2002, como aqueles advindos de construções, reformas, reparos e demolições de obras, bem como os que resultam da preparação e escavação de terrenos. De acordo com Cardoso, Galatto e Guadagnin (2014), estes resíduos podem ser gerados nos processos de construção, reforma e demolição de casas e edifícios, bem como em decorrência de desastres naturais, como terremotos, furacões e tornados. Madi e Srour (2019) destacam ainda a geração emergencial de RCD decorrente de ambientes em guerra.

Os resíduos provenientes pela construção civil são classificados, conforme estabelece o Art. 3º da Resolução CONAMA nº 307/2002 (e alterações), conforme segue:

- I) Classe A** - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
 - c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- II) Classe B** - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (*Redação alterada pela Resolução nº 469/2015*)
- III) Classe C** - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (*Redação dada pela Resolução nº 431/2011*)
- IV) Classe D** - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (*Redação dada pela Resolução nº 348/04*) (CONAMA, 2002, p. 04).

Dentre o RCD produzido, percebe-se uma predominância considerável nos resíduos de classe A. Miranda, Angulo e Careli (2009), por exemplo, analisaram a geração de resíduos de construção civil durante a construção de dois edifícios, um em São Paulo e outro em Recife, em Pernambuco, e constataram que os materiais de classe A descartados representaram 79,6% e 80,5% de todo o RCD produzido pelos empreendimentos, respectivamente. Lima e Cabral (2013) e Kochem, Dutra e Possan (2017) caracterizaram os resíduos de construção e demolição a partir de amostras obtidas nos locais de descarte, nas cidades de Fortaleza, no Ceará, e de Cascavel, no Paraná e verificaram que o montante referente aos resíduos de classe A representaram, nestes estudos, 93,4% e 86,27%, respectivamente. Amorim Junior (2017) realizou a classificação dos resíduos advindos de três obras distintas, com diferentes portes e fases, executadas na cidade de Recife, em Pernambuco, e observou que o percentual de resíduos de classe A gerados variou entre 89,75% e 96,92% do total de RCD.

Para ampliar a capacidade de reciclagem do RCD, sobretudo dos resíduos de classe A, produzidos em maior quantidade, é fundamental que seja realizada a triagem do material de acordo com a sua classe. Quando realizada ainda em canteiro, esta separação proporciona vantagens econômicas e ambientais, reduzindo o volume das classes de resíduos transportados e viabilizando soluções mais simples de reciclagem do

resíduo classe A, tanto em usinas quanto no próprio canteiro (MIRANDA; ANGULO; CARELI, 2009).

Numa situação ideal, todo o resíduo de construção e demolição de classe A deveria ser reciclado. Estudos mostram que o RCD inerte, como aquele formado por concreto, argamassa, cerâmicas e vidro, atrai a atenção pela potencialidade de se tornar agregado (miúdo ou graúdo) reciclado (WU; ZUO; *et al.*, 2019). Tais compostos podem ser utilizados em diversas áreas da Engenharia Civil, como base e sub-base de pavimentos (ARULRAJAH; ALI; *et al.*, 2014; HOU; JI; *et al.*, 2015; ALMEIDA; ROSA; *et al.*, 2018; SOUSA; BALDUINO, 2019), fabricação de asfalto usinado a quente (PASANDÍN; PÉREZ, 2013; RAFI; QADIR; *et al.*, 2014; SANTOS; SEQUINEL, 2018), fabricação de concreto (GARCIA-GONZALES; RODRIGUEZ-ROBLES; *et al.*, 2014; PENACHO; BRITO; VEIGA, 2014; FELIX; OLIVEIRA; *et al.*, 2016; SILVA; ANDRADE, 2017; FROTTÉ; NUBILA; *et al.*, 2017; BARSOSA; SALOMÃO; *et al.*, 2018; SANTOS; AZEVEDO; VENEU, 2020), fabricação de argamassas (ULSEN; KAHN; *et al.*, 2013; MIRANDA; CONSTANTINO; *et al.*, 2013; MARTINS FILHO; CANOVA; *et al.*, 2017) e até mesmo fabricação de tijolos e blocos cerâmicos (MESQUITA; AZEVEDO; *et al.*, 2015; GASPARETO; TEIXEIRA, 2017). De acordo com John e Agopyan (2000), a determinação da aplicação mais adequada do agregado reciclado se dará de acordo com a composição deste, uma vez que a existência de fases porosas proveniente de materiais como argamassas e cerâmicas vermelhas implicará na redução da resistência do produto final.

Dentre as vantagens advindas da reciclagem do RCD, destacam-se a preservação de áreas ecologicamente importantes, o aumento da vida útil dos aterros sanitários, a eficiência financeira no uso de produtos reciclados, a conservação do meio ambiente em termos de energia e poluição, a minoração no consumo de recursos naturais, através da utilização de resíduos que seriam “perdidos” em aterros, e a geração de empregos (ULUBEYLI; KAZAZ; ARSLAN, 2017).

Contudo, embora a reciclagem de RCD seja viável do ponto de vista técnico e ambiental, diversos fatores dificultam a sua efetiva prática. Embora existam, no Brasil, normas técnicas que regulamentem a produção e a utilização de agregados reciclados (ABNT NBR 15115:2004 e NBR 15116:2004), estas não garantem a homogeneidade destes materiais, uma vez que o controle de qualidade não é realizado de forma sistemática.

Outro problema relacionado à reciclagem de RCD diz respeito ao baixo índice de comercialização dos agregados reciclados. Ainda que os materiais apresentem boas propriedades físicas, seu uso não é difundido o suficiente, por fatores culturais

relacionados à falta de confiança do setor nestes agregados (BRASILEIRO; MATOS, 2015; KONZEN; HARA; BESSA, 2019). Neste sentido, ainda é necessário encontrar utilização apropriada em grande escala para alguns materiais reciclados, como por exemplo a areia, uma vez que a produção de material desta granulometria é consequência do processo de moagem do RCD (JOHN; AGOPYAN, 2000; MIRANDA; ANGULO; CARELI, 2009).

Cabe ressaltar, também, a dificuldade de tornar os produtos reciclados competitivos do ponto de vista econômico no Brasil. Nunes e Mahler (2020) explicam que, devido à grande abundância de areia virgem e brita, os preços dos produtos *in natura* são muito baixos, sobretudo quando comparado aos preços em países desenvolvidos, como a Alemanha. Segundo os autores, este fato, aliado à baixa homogeneidade do produto reciclado, falta de legislação que obrigue o uso de agregados reciclados, alta carga tributária incidente sobre estes produtos e ineficiência no controle da destinação do RCD dificultam a viabilidade econômica da reciclagem dos resíduos de construção no Brasil.

De acordo com Ding, Zhu, *et al.* (2018), embora o processo de reciclagem dos resíduos de construção e demolição possua vários aspectos positivos do ponto de vista ambiental, os índices de reciclagem destes materiais são muito pequenos, sobretudo nos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. No Brasil, a estimativa para o ano de 2020 era de que apenas cerca de 7% do RCD produzido fosse reciclado, ao passo que para 2040, a meta do Governo Federal é de que este índice atinja os 25% (BRASIL, 2020).

2.2 ATERROS DE RCD

Diante da inviabilidade econômica em se implantar usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição de classe A em determinadas cidades, se faz necessária a adoção de outras medidas para a disposição deste material. Neste sentido, a Resolução CONAMA nº 307/2002 regulamenta, em seu Art. 10º, que o RCD de classe A, quando não reciclado, deve ser encaminhado a aterros específicos, para que sejam reservados para usos futuros.

No Brasil, a normativa que estabelece as diretrizes para a elaboração de projetos, bem como regulamenta a implantação e a operacionalização de aterros para resíduos sólidos provenientes da construção civil (inclusive das operações de demolição) e demais resíduos inertes, é a ABNT NBR 15113:2004. Dentre as temáticas abrangidas pela norma, destaca-se, o item 5.1, que diz respeito aos locais de implantação dos aterros:

O local utilizado para a implantação de aterros de resíduos da construção civil classe A e resíduos inertes deve ser tal que:

- a) o impacto ambiental a ser causado pela instalação do aterro seja minimizado;
- b) a aceitação da instalação pela população seja maximizada;
- c) esteja de acordo com a legislação de uso do solo e com a legislação ambiental.

5.1.1 Para a avaliação da adequabilidade de um local a estes critérios, os seguintes aspectos devem ser observados:

- a) geologias e tipos de solos existentes;
- b) hidrologia;
- c) passivo ambiental;
- d) vegetação;
- e) vias de acesso;
- f) área e volume disponíveis e vida útil;
- g) distância de núcleos populacionais. (ABNT, 2004b, p. 03)

Contudo, embora no Brasil existam legislações e normativas referentes à correta destinação do RCD, o descarte irregular destes resíduos ainda é uma prática comum, seja em aterros sanitários destinados a resíduos domiciliares, seja em áreas ilegais. Ambas as práticas trazem implicações negativas: no caso da disposição do RCD em aterros não projetados para este fim, o volume substancial enterrado acelera o encurtamento da vida útil da área (ESIN e COSGUN, 2007); quanto ao descarte em áreas ilegais, este pode acarretar em inundações, poluição de águas e solos e aumento de vetores de doenças, além de degradar visualmente o ambiente e incentivar a deposição de outros tipos de resíduos nestas áreas (PAZ, LAFAYETTE e SOBRAL, 2018).

Diante do exposto, é de fundamental importância que seja realizada a destinação correta do resíduo advindo da construção civil. Para tanto, Lucendo-Monedero, Jordá-Borrell e Ruiz-Rodríguez (2015) apontam que a existência de uma política efetivamente funcional de fiscalização e controle de resíduos é fundamental para impedir o despejo descontrolado em áreas não apropriadas. Por fim, a utilização de ferramentas computacionais, como Sistemas de Informações Geográficas, vem sendo utilizadas no intuito de facilitar a gestão destes resíduos pelo poder público, de modo que normas e legislações possam ser cumpridas com maior frequência e facilidade.

2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Sistema de Informação Geográfica (SIG) é definido como um conjunto de ferramentas computacionais de entrada, armazenamento, consulta, recuperação, edição, manipulação, análise e saída de dados espaciais em geral (MARBLE; CALKINS; PEUQUET, 1984; MALCZEWSKI, 1999; LOZANO; SOLANO; *et al.*, 2013). O sistema possui grande

funcionalidade na resolução de problemas, uma vez que permite trabalhar, de forma concomitante, com uma base de dados espaciais associada a numerosos atributos associados a estes (MALCZEWSKI, 1999).

Malczewski (1999, p. 16) subdivide o SIG em quatro componentes: “entrada de dados, armazenamento e gerenciamento de dados, manipulação e análise de dados e saída dos dados”. Contudo, para que seja possível se trabalhar com as informações geográficas inseridas no SIG, se faz necessária uma interface gráfica, possibilitada por meio de um *software*. É a partir dela que o usuário consegue interagir com os dados espaciais de entrada, possibilitando que estes sejam organizados, analisados e/ou modelados, de acordo com o objetivo proposto (LONGLEY; GOODCHILD; *et al.*, 2012; BILUCA, 2015). É através do programa computacional, inclusive, que as informações armazenadas, depois de processadas, podem ser visualizadas. De forma bastante sucinta, a estrutura do SIG é resumida na Figura 13.

Figura 13 – Estrutura resumida do SIG

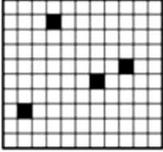
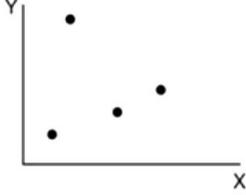
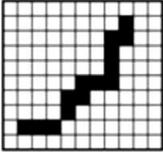
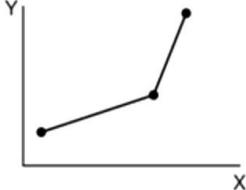
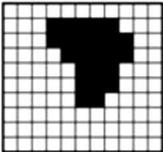
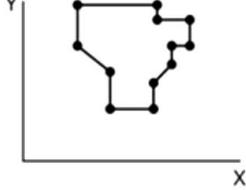
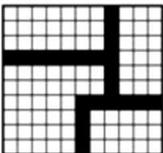
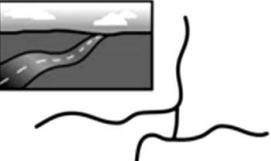
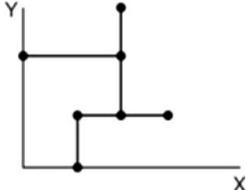
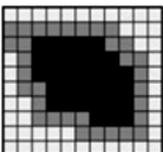


Fonte: Adaptado de MALCZEWSKI, 1999

Atualmente, existe uma vasta variedade de *softwares* para SIG. Dentre estes, se destacam o SPRING, desenvolvido no Brasil pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Trata-se de um programa gratuito que opera em conjunto com sistemas de gerenciamento de dados, com ambiente para trabalhar mapas temáticos e cadastrais, modelos numéricos de terreno e imagens de satélite (BILUCA, 2017). Outro *software* de destaque é o ArcGIS®, desenvolvido pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), modelo comercial que se destaca pela interface harmônica e por possibilitar a execução de mapeamentos, análises geográficas, edição, gerenciamento e visualização de dados, e geoprocessamento (BIJU, 2015).

As representações das informações no SIG são de dois tipos, por dados *raster* (matriciais) ou por dados vetoriais. A diferença entre os dois modelos, ilustrados na Figura 14, consiste no formato da representação: enquanto os dados *raster* são representados por uma malha de células, todas do mesmo tamanho, denominadas *pixels*, os quais possuem informações geográficas individuais, os vetores consistem em representações formadas por pontos, linhas e polígonos, e que mantêm as características geométricas e de modo a delinear limites de uma área. Ambas as representações têm a função de replicar fenômenos geográficos em formas que possam ser armazenadas em um banco de dados (BIJU, 2015; LONGLEY; GOODCHILD; *et al.*, 2012; LOZANO; SOLANO; *et al.*, 2013).

Figura 14 – Representação esquemática das diferenças entre raster e vetor

A visão Raster de Mundo	Entidades Espaciais	A visão Vetor de Mundo
	 Pontos: Hotéis	
	 Linhas: Linhas de transmissão	
	 Áreas: Florestas	
	 Conexões: Estradas	
	 Superfície: Elevação	

Fonte: BIJU, 2015

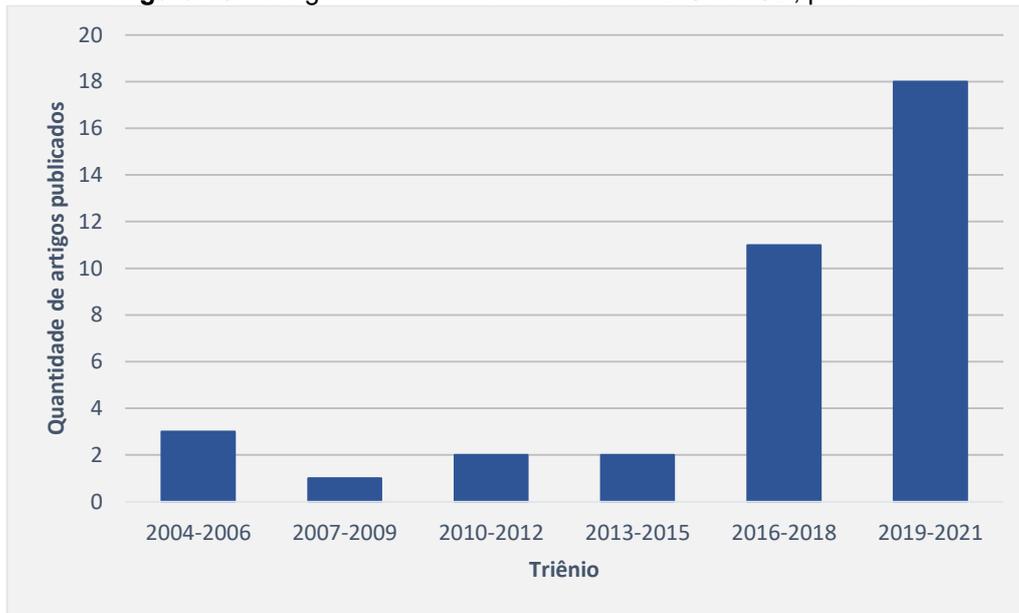
Segundo Ding, Zhu, *et al.* (2018) uma das características da utilização de SIG é a capacidade de manter os dados constantemente atualizados, o que possibilita uma rápida resposta a situações do mundo real. Os autores apontam, ainda, que há uma grande quantidade de ferramentas de análise espacial, o que permite que estes sistemas sejam utilizados para avaliar e resolver problemas complexos de diversas áreas.

De acordo com Nascimento, Sobral, *et al.* (2017), a tecnologia SIG se destaca por sua ampla possibilidade de utilização na esfera ambiental, na qual pode ser empregada para analisar, por exemplo: estimativa de recarga de águas subterrâneas, avaliação de poluição de águas, avaliação de suscetibilidade a incêndio em florestas e a deslizamento de terras, dentre outros. Contudo, um dos usos de maior aplicação da ferramenta é no auxílio à gestão municipal de resíduos sólidos, inclusive os de construção e demolição.

2.4 UTILIZAÇÃO DE SIG NA GESTÃO DO RCD

Como apresentado, a análise de SIG possui diversas possibilidades de aplicações, nas mais variadas áreas de estudo. No que diz respeito à gestão de resíduos, esta ferramenta foi utilizada para identificar locais adequados para implantação de aterros municipais, para mapear a contaminação da água e do solo e ainda para avaliar os riscos à saúde associados à proximidade de áreas residenciais a aterros sanitários e locais de disposição de resíduos (SEROR; PORTNOV, 2018). Outras utilizações se deram na previsão de padrões na geração e composição do resíduo sólido, na seleção de locais de transferência e no aperfeiçoamento da coleta e transporte destes materiais (NASCIMENTO; SOBRAL; *et al.*, 2017).

Para o contexto específico dos resíduos de construção e demolição, a utilização de Sistema de Informações Geográficas ganhou força nos últimos anos: através de uma revisão integrativa a duas das mais importantes bases bibliográficas disponíveis, a *Web of Science* e a *Scopus*, buscando-se por artigos escritos em língua inglesa e que contemplassem, concomitantemente, SIG e RCD, verificou-se um crescimento significativo na quantidade de pesquisas acadêmicas que combinam estas ferramentas, como pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 – Artigos acadêmicos combinando SIG e RCD, por triênio

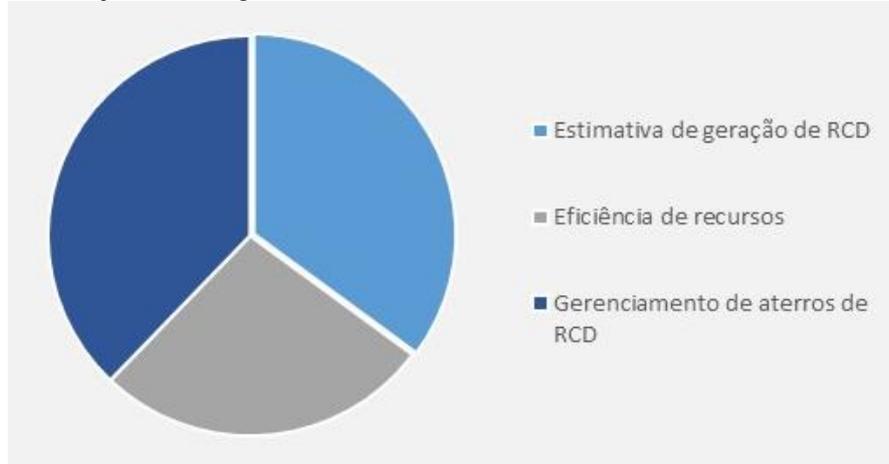
Fonte: Autor, 2021

A partir da revisão realizada, observa-se que, embora os artigos encontrados se caracterizem por combinar a utilização de SIG em estudos relacionados a RCD, os objetos de pesquisa de cada trabalho são bastante diferenciados, seguindo basicamente três vertentes:

- i) Estimativa de geração de RCD: nesta vertente, se encontram os trabalhos cujo objetivo consiste em realizar análises estimativa de geração de RCD, de forma quantitativa e/ou qualitativa, bem como na verificação de quantidade de materiais estocados em áreas edificadas, que podem ser compreendidos como resíduos em potencial;
- ii) Eficiência de recursos: agrupa os artigos relacionados à eficiência e/ou às potencialidades do RCD como agregado reciclado, seja do ponto de vista econômico, ambiental ou estrutural, e a busca pela minoração da utilização dos recursos naturais e da geração de resíduos;
- iii) Gerenciamento de aterros de RCD: é onde se enquadram as pesquisas voltadas à gestão adequada do RCD, através do controle de aterros ilegais, do estudo de áreas adequadas para novos locais de disposição, ou do estudo de medidas que incidam na eficácia do sistema de gerenciamento existente.

Na Figura 16, é apresentado um gráfico de distribuição dos artigos encontrados dentro das vertentes de pesquisa identificadas.

Figura 16 – Distribuição dos artigos acadêmicos combinando SIG e RCD nas vertentes consideradas



Fonte: Autor, 2021

Observa-se que existe um balanceamento na distribuição das vertentes de pesquisa, diretamente relacionado com o perfil do pesquisador e a realidade do meio ao qual este está inserido na utilização e gestão do RCD.

O Quadro 01 apresenta uma relação dos artigos identificados na busca sistemática, identificando os autores, o ano de publicação, o país onde o estudo foi realizado, a vertente da pesquisa de acordo com as supracitadas, e uma breve descrição do objeto da pesquisa.

Quadro 01 – Trabalhos verificados na revisão integrativa de bibliografia (continua)

Autores e Ano da publicação	País	Vertente da pesquisa	Objeto de pesquisa
Touran, A.; Wang, J.Y.; <i>et al.</i> (2004)	Estados Unidos	Estimativa de geração de RCD	Propõe um sistema de estimativa e localização de geração de RCD de tipos específicos (madeira, <i>dry-wall</i> , etc). O SIG é utilizado na interface dos dados geográficos.
Li, H.; Chen, Z.; <i>et al.</i> (2005)	Nova Zelândia	Eficiência de recursos	Propõe um sistema integrado de GPS e SIG para o gerenciamento de obras que, dentre outros benefícios, reduz o desperdício de material, reduzindo a geração de RCD.
Garrido, E.; Calvo, F.; <i>et al.</i> (2005)	Espanha	Gerenciamento de aterros de RCD	Estabelece método para determinação do impacto ambiental que um aterro de RCD produz em seu entorno. Os dados ambientais utilizados são obtidos por SIG.
Tanikawa, H.; Hashimoto, S. (2009)	Reino Unido e Japão	Estimativa de geração de RCD	Analisa, a partir dados obtidos por SIG, a evolução da estocagem de materiais no tempo, criando uma estimativa do RCD a ser gerado em anos futuros, com base na vida útil.

Quadro 01 – Trabalhos verificados na revisão integrativa de bibliografia (continuação)

Autores e Ano da publicação	País	Vertente da pesquisa	Objeto de pesquisa
Blengini, G.A.; Garbarino, E. (2010)	Itália	Eficiência de recursos	Propõe um Mix de Suplementos Sustentável, analisando os impactos evitados pela produção de agregado reciclado, e até que ponto eles superam os impactos provenientes do processo. O SIG é utilizado para mapear os pontos de aterro e reciclagem e realizar estudos de impacto.
Ooshaksaraie, L.; Mardookhpour, A. (2011)	Irã	Gerenciamento de aterros de RCD	Disserta sobre o CDWM, um sistema que visa fornecer informações para os construtores acerca da destinação correta do RCD, através de uma interface baseada em SIG.
Lucendo-Monedero, A. L.; Jordá-Borrell, R.; Ruiz-Rodríguez, F. (2015)	Espanha	Gerenciamento de aterros de RCD	Combina fatores geográficos e comportamentais para criar uma regressão logística de modo a determinar locais passíveis de instalação de aterros ilegais. Utiliza de SIG para verificar os locais de disposição ilegal, bem como as características destas áreas.
Wu, H.; Wang, J.; <i>et al.</i> (2015)	China	Eficiência de recursos	Quantifica a geração futura de RCD e utiliza de SIG para criar um modelo de destinação do resíduo. Com estes dados, cria cenários para disposição em aterros e para a reciclagem, e compara a viabilidade econômica destes.
Garcia-Torres, S.; Kahhat, R.; Santa-Cruz, S. (2017)	Peru	Estimativa de geração de RCD	Utiliza do sistema CAPRA-GIS para verificar a suscetibilidade de incidência de terremotos e, com base nestes dados, estimar a quantidade de RCD gerado
Zheng L.; Wu, H.; <i>et al.</i> (2017)	China	Estimativa de geração de RCD	Quantifica e qualifica o RCD gerado na China, e compara com dados de outros países. Correlaciona a geração de RCD com a densidade de urbanização. Mapeia a geração por regiões.
Kleemann, F.; Lederer, J.; <i>et al.</i> (2017)	Áustria	Eficiência de recursos	Verifica, através de SIG, a quantidade de material estocada nas edificações. A ideia do trabalho é que este material seja visto como fonte de recursos para construção de novas obras no futuro.
Kleemann, F.; Lehner, H.; <i>et al.</i> (2017)	Áustria	Estimativa de geração de RCD	Usa ortofotos (SIG) como uma ferramenta para estimar a quantidade de edificações demolidas entre os anos de 2013 e 2014. Com os resultados, consegue-se estimar quanto de resíduo de demolição foi gerado no intervalo.
Mastrucci, A.; Marvuglia, A.; <i>et al.</i> (2017)	Luxemburgo	Estimativa de geração de RCD	Usa SIG como uma ferramenta para estimar a quantidade de material estocada em áreas edificadas, e que se tornarão resíduos quando do fim da vida útil destas edificações.
Seror, N.; Portnov, B.A. (2018)	Israel	Gerenciamento de aterros de RCD	Identifica, por meio de uma regressão de multivariáveis, os locais mais suscetíveis a disposição ilegal de RCD. Utiliza de SIG para representar as variáveis e os resultados.
Paz, D. H. F.; Lafayette, K. P. V.; Sobral, M. C. (2018)	Brasil	Gerenciamento de aterros de RCD	Utiliza SIG no objetivo de criar uma rede de gestão de resíduos, levando em consideração os pontos de disposição ilegal e a contribuição de pequenos e grandes geradores de RCD.

Quadro 01 – Trabalhos verificados na revisão integrativa de bibliografia (continuação)

Autores e Ano da publicação	País	Vertente da pesquisa	Objeto de pesquisa
Göswein, V.; Gonçalves, A.; <i>et al.</i> (2018)	Portugal	Eficiência de recursos	Utiliza de dois estudos de caso em cidades portuguesas para avaliar o impacto ambiental decorrente da fabricação de concreto com misturas (de cinza volante e de agregados reciclados).
Ding, Z.; Zhu, M.; <i>et al.</i> (2018)	China	Gerenciamento de aterros de RCD	Define uma metodologia para determinação adequada de locais para implementação de aterros de construção e demolição, utilizando de AHP e entropia.
Han, J.; Chen, W.; <i>et al.</i> (2018)	China	Estimativa de geração de RCD	Identifica, através de SIG, o crescimento no tempo das quantidades, bem como os locais, de estocagem de materiais e de depósito de resíduos.
Paz, D. H. F.; Lafayette, K. P. V.; <i>et al.</i> (2018)	Brasil	Gerenciamento de aterros de RCD	Avalia o risco ambiental envolvido na disposição incorreta de RCD em áreas de sete municípios brasileiros, bem como identifica áreas críticas.
Madi, N.; Srouf, I. (2019)	Síria	Gerenciamento de aterros de RCD	Utiliza de SIG para determinar os locais mais adequados para a instalação de aterros de RCD na síria, tendo em vista a grande quantidade de RCD emergencial gerado em virtude da guerra.
Miatto, A., Schandl, H.; <i>et al.</i> (2019)	Itália	Estimativa de geração de RCD	Utiliza de SIG para analisar o estoque de material e o fluxo de resíduos de demolição na cidade de Pádua, estudando, ainda o comportamento das edificações no que se refere a vida útil ao longo do século XX.
Mesta, C.; Kahhat, R., Santa-Cruz, S. (2019)	Peru	Estimativa de geração de RCD	Estima, por meio de SIG, a quantidade de materiais de construção distribuídos no espaço urbano de um município, de modo a fornecer informações de disponibilidade de recursos passíveis de serem reciclados
Heeren, N.; Hellweg, S. (2019)	Suíça	Eficiência de recursos	Elabora um de rastreamento de fluxos e estoques de materiais de construção e aplica a um modelo probabilístico para estimar entradas e saídas dos materiais, de modo a minorar impactos ambientais futuros.
Guo, J.; Miatto, A.; <i>et al.</i> (2019)	China	Estimativa de geração de RCD	Identifica o estoque de materiais em quatorze cidades do leste chinês e correlaciona os dados encontrados a fatores geográficos e socioeconômicos. Oferece parâmetros para estimativa de geração de RCD futuro.
AlZaghrini, N.; Srouf, F. J.; Srouf, I. (2019)	Líbano	Gerenciamento de aterros de RCD	Utiliza de SIG para identificar pedreiras abandonadas no Monte Líbano e, por meio de análise multicriterial, determinar o local mais adequado para implantação de um aterro de RCD.
Araiza-Aguilar, J.; Gutierrez-Palacios, C.; <i>et al.</i> (2019)	México	Gerenciamento de aterros de RCD	Busca determinar, por meio de análise espacial, a posição mais adequada para implantação de aterro de resíduos de construção e demolição na Cidade do México por meio de avaliação multicriterial e análise de rede.

Quadro 01 – Trabalhos verificados na revisão integrativa de bibliografia (conclusão)

Autores e Ano da publicação	País	Vertente da pesquisa	Objeto de pesquisa
Zhang, N.; Zheng, L.; <i>et al.</i> (2019)	China	Estimativa de geração de RCD	Examina e compara a aplicação de três métodos distintos para estimativa de RCD, com base em informação geográfica, por meio de um estudo de caso na China.
Wang, H.; Chen, D.; <i>et al.</i> (2019)	China	Eficiência de recursos	Cria um modelo '4D-GIS', combinando informações geográficas com fluxo de materiais e análise de estoque, criando um banco de dados dinâmico do metabolismo dos materiais de construção, divulgando-o na internet, no intuito de reduzir o consumo de recursos e estimular a reciclagem.
Merschroth, S.; Miatto, A.; <i>et al.</i> (2020)	Fiji	Estimativa de geração de RCD	Por meio de SIG, realiza estimativas de estoque de materiais e combina com previsões de inundação de áreas decorrente do aumento do nível do mar, estimando assim a geração de RCD.
You, Z.; Wu, C.; <i>et al.</i> (2020)	China	Gerenciamento de aterros de RCD	Cria e avalia um sistema integrado de monitoramento em tempo real para identificar pontos de disposição ilegal de resíduos de construção e demolição.
Gautam, S.; Brema, J.; Dhasarathan, R. (2020)	Índia	Gerenciamento de aterros de RCD	Utilizando de ferramentas de sensoriamento remoto, propõe um algoritmo para identificação e expansão de aterros de RCD no Sul da Índia.
Wu, H.; Zuo, J.; <i>et al.</i> (2020)	Austrália	Eficiência de recursos	Obtém informações relevantes acerca dos impactos da mobilidade do RCD da Austrália. O SIG é utilizado no mapeamento dos fluxos de transporte.
Qiao, L.; Liu, D.; <i>et al.</i> (2020)	China	Estimativa de geração de RCD	Realiza uma estimativa da produção de RCD em um província chinesa, usando o conceito de estocagem de material, e analisa o crescimento anual da geração de resíduo e a capacidade de reciclagem.
Ding, Z.; Zhu, M.; <i>et al.</i> (2020)	China	Gerenciamento de aterros de RCD	Estabelece uma metodologia para determinação adequada de locais para implementação de aterros de construção e demolição, utilizando de F-AHP e SIG.
Li, J.; Liang, J.; <i>et al.</i> (2020)	China	Eficiência de recursos	Avalia o impacto ambiental e o benefício financeiro associado à reciclagem móvel de resíduos de construção e demolição. Utilizada de SIG para aprimorar o uso de fatores geográficos no estudo.
Biluca, J.; Aguiar, C. R.; Trojan, F. (2020)	Brasil	Gerenciamento de aterros de RCD	Elabora uma metodologia para mapeamento de áreas para a implantação de aterros de resíduos de construção e demolição em cidades de pequeno e médio porte, utilizando SIG e método ELECTRE TRI
Gao, S.; Liu, Y.; <i>et al.</i> (2020)	China	Eficiência de recursos	Utiliza de SIG para mapear os locais de disposição e reciclagem de RCD, identificar as regiões com maior geração de resíduos e servir como referência para o tratamento adequado do material

Fonte: Autor, 2021

De uma forma geral, pode-se observar que a utilização de SIG como ferramenta para o gerenciamento adequado de aterros de RCD ocorre, com grande predominância (cerca de 85% dos casos), em pesquisas desenvolvidas em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. Isto decorre, como aponta Mahayuddin, Pereira, *et al.* (2008), do grande volume de atividades construtivas nestes países, e da conseqüente geração de resíduos provenientes destas obras. Segundo Mah, Fujiwara e Ho (2016) o aumento significativo na quantidade de pesquisas sobre RCD, principalmente em países em desenvolvimento, provém da rápida urbanização e da atenção deficiente ao tratamento deste tipo de resíduo.

Acompanhando a tendência de crescimento, o uso de SIG como ferramenta para identificação de áreas adequadas para disposição de resíduos de construção e demolição tem se tornado mais comum, tendo sido empregado nos trabalhos de Ding, Zhu, *et al.* (2018; 2020) na China, Madi e Srour (2019) na Síria, AlZaghrini, Srour e Srour (2019) no Líbano, Araiza-Aguilar, Gutierrez-Palacios, *et al.* (2019) no México e Biluca, Aguiar e Trojan (2020) no Brasil. Nestes trabalhos, a avaliação das áreas se dá por meio de diferentes metodologias de análise multicriterial, onde são considerados fatores ambientais, econômicos e sociais.

2.5 ANÁLISE MULTICRITERIAL

A análise e tomada de decisão por multicritério (MCDA, sigla em inglês para *MultiCriteria Decision Analysis*), é uma ferramenta que permite análises de diferentes cenários simultaneamente, possibilitando que os envolvidos no processo de tomada de decisão tenham o máximo de informações e consigam deliberar com mais propriedade. O mecanismo é utilizado principalmente quando vários critérios necessitam ser analisados para que se possa tomar uma decisão, existindo necessidade de convergência entre estes (BIJU, 2015).

A MCDA permite que diversos fatores, de caráter técnico, econômico, social ou ambiental, sejam combinados e avaliados para um propósito específico: a tomada de decisão. No uso da ferramenta, para que os dados possam ser combinados, processados e transformados em uma decisão, é importante que estes sejam submetidos a um processo de normalização, de modo que as informações multidimensionais sejam reduzidas a valores unidimensionais para cada alternativa (SHARIFI; HADIDI; *et al.*, 2009; BIJU, 2015).

Além da normalização das dimensões das variáveis, outro processo importante na análise multicriterial é a hierarquização dos critérios, ou seja, a definição da relevância de cada uma das variáveis consideradas no processo. Como explica Malczewski (1999), a importância de um critério é, normalmente, expressa em termos do peso de importância atribuído a ele. Segundo o autor, este peso tem como objetivo expressar a importância do critério em relação aos demais.

A utilização de MCDA pode ser realizada por meio de diferentes técnicas, seja para a normalização das variáveis, a definição dos pesos dos critérios, ou a metodologia utilizada para combinar as informações. A escolha das metodologias utilizadas no processo de tomada de decisão através de análise multicriterial dependerá, essencialmente, de dois fatores principais: a natureza da variável e a complexidade do artifício matemático (FLORES; SALVADOR; *et al.*, 2020).

A seguir, serão explicados os conceitos básicos de Lógica *Fuzzy* e da metodologia MIVES, ferramentas das quais alguns considerações foram utilizados nesta pesquisa.

2.5.1 Lógica *Fuzzy*

Devido à variedade de escalas em que os critérios de uma MCDA são medidos, faz-se necessário submetê-los a um processo de transformação de unidades, de modo a tornar as variáveis comparáveis. Isto significa que, quando se deseja combinar informações de diferentes tipos, suas escalas devem ser comparáveis (MALCZEWSKI, 1999).

Um dos meios mais simples de padronização de escalas é o método denominado lógica *fuzzy*, ou ainda lógica difusa. Trata-se de um modelo matemático utilizado em situações que apresentam um grande grau de incerteza, de modo que esta especificidade seja contemplada e que não sejam desconsiderados aspectos que possam ser ignorados na aplicação de lógicas tradicionais (AGUADO; CATANHEDE, 2010).

A lógica *fuzzy*, diferente da lógica tradicional, trata de valores que variam entre 0 e 1 para identificar graus de compatibilidade de condições. Neste sentido, o valor 1 é atribuído para um grau de compatibilidade completo, enquanto 0 é assumido quando não existe nenhuma compatibilidade. Valores intermediários são tomados, então, para condições intermediárias. Neste sentido, a pertinência de 0,5, por exemplo, representará “meia verdade”, ou 50% de compatibilidade (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001;

RIGNEL; CHENCI; LUCAS, 2011; BILUCA, 2017).

Para o caso de gestão de resíduos, o uso de lógica *fuzzy* permite classificar áreas com diferentes graus de aptidão. Biluca (2017) exemplifica o caso de análise de declividade, e explica que, enquanto áreas com declive acentuado são totalmente inadequadas, à medida que a declividade diminui a aptidão aumenta. Desta forma, a lógica *fuzzy* permite identificar áreas com aptidão intermediária.

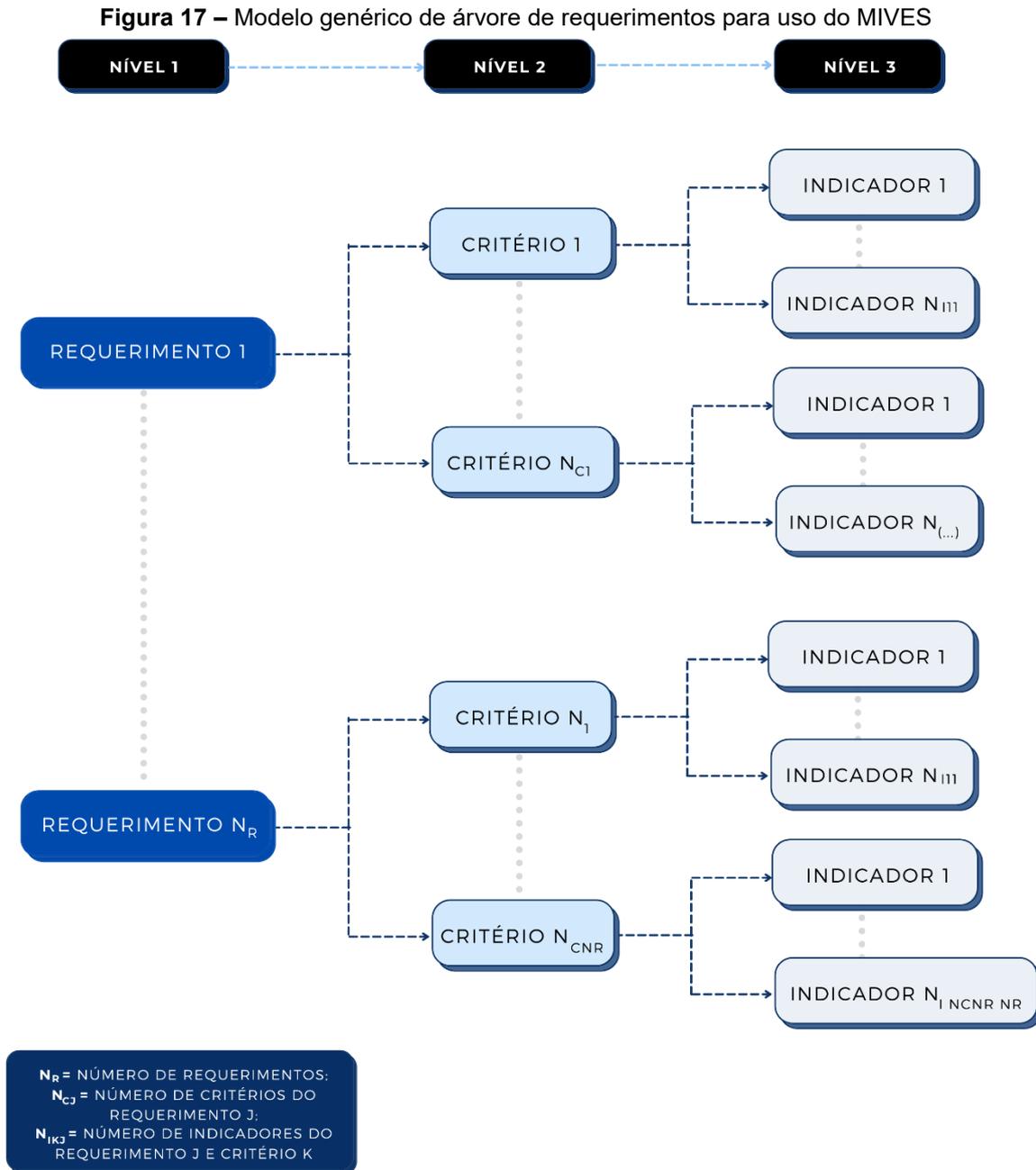
2.5.2 Método MIVES

O Modelo de Valor Integrado para Avaliações Sustentáveis (ou MIVES, sigla para o espanhol *Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles*) consiste em um método de análise multicriterial e ferramenta de auxílio à tomada de decisão desenvolvido numa parceria entre a *Universidad del País Vasco*, a *Labein-Tecnalia* e a *Universidad Politécnica de Cataluña* (JOSA; CORTÉS; MARQUÉS, 2011).

Originalmente desenvolvido para avaliar alternativas estruturais ao longo da vida útil de uma edificação, a ferramenta é delineada pela atribuição de valores aos indicadores e respectiva análise multicriterial, obtendo-se, a partir daí, um índice de sustentabilidade (FLORES; AVEROS; *et al.*, 2019).

De acordo com Viñolas, Cortés, *et al.* (2009), a primeira etapa de aplicação da metodologia MIVES consiste na delimitação da decisão, isto é, a determinação dos requerimentos, critérios e indicadores a serem considerados, bem como a caracterização das condições e dos contornos da decisão.

A etapa seguinte consiste na elaboração da “árvore de requerimentos”. Segundo Flores, Averos, *et al.* (2019), esta segunda fase consiste em uma das mais importantes do estudo com MIVES, pois é através dela que são identificadas, agrupadas e organizadas as variáveis selecionadas na primeira etapa da análise. Na metodologia, são utilizados diferentes níveis para organização das variáveis consideradas na pesquisa. Como explicam Viñolas, Cortés, *et al.* (2009), enquanto nos primeiros níveis, denominados requerimentos, são colocados os aspectos mais gerais, relacionados aos três pilares básicos da sustentabilidade (economia, sociedade e meio ambiente), nas classes intermediárias são inseridos os critérios e subcritérios. Por sua vez, os aspectos específicos que serão avaliados diretamente, chamados de indicadores, são dispostos nas últimas classes. Esta distribuição é exemplificada, de maneira generalizada, na Figura 17.



Fonte: Adaptado de VIÑOLAS; CORTÉS; *et al.* (2009)

O passo seguinte na utilização do MIVES é a determinação de funções de valores para cada um dos indicadores utilizados no estudo. O objetivo da função de valor é realizar a normalização dos diferentes tipos de dados, transformando-os em informações adimensionais que variam dentro do intervalo de 0 a 1, sendo que valores mais próximos de 1 serão atribuídos a condições em que as condições melhor se adequam às desejadas (VIÑOLAS; CORTÉS; *et al.*, 2009; FLORES; AVEROS; *et al.*, 2019).

De forma concomitante à determinação das funções de valores, Flores, Aversos, *et al.* (2019) explicam que pode ser realizado o procedimento de atribuição de

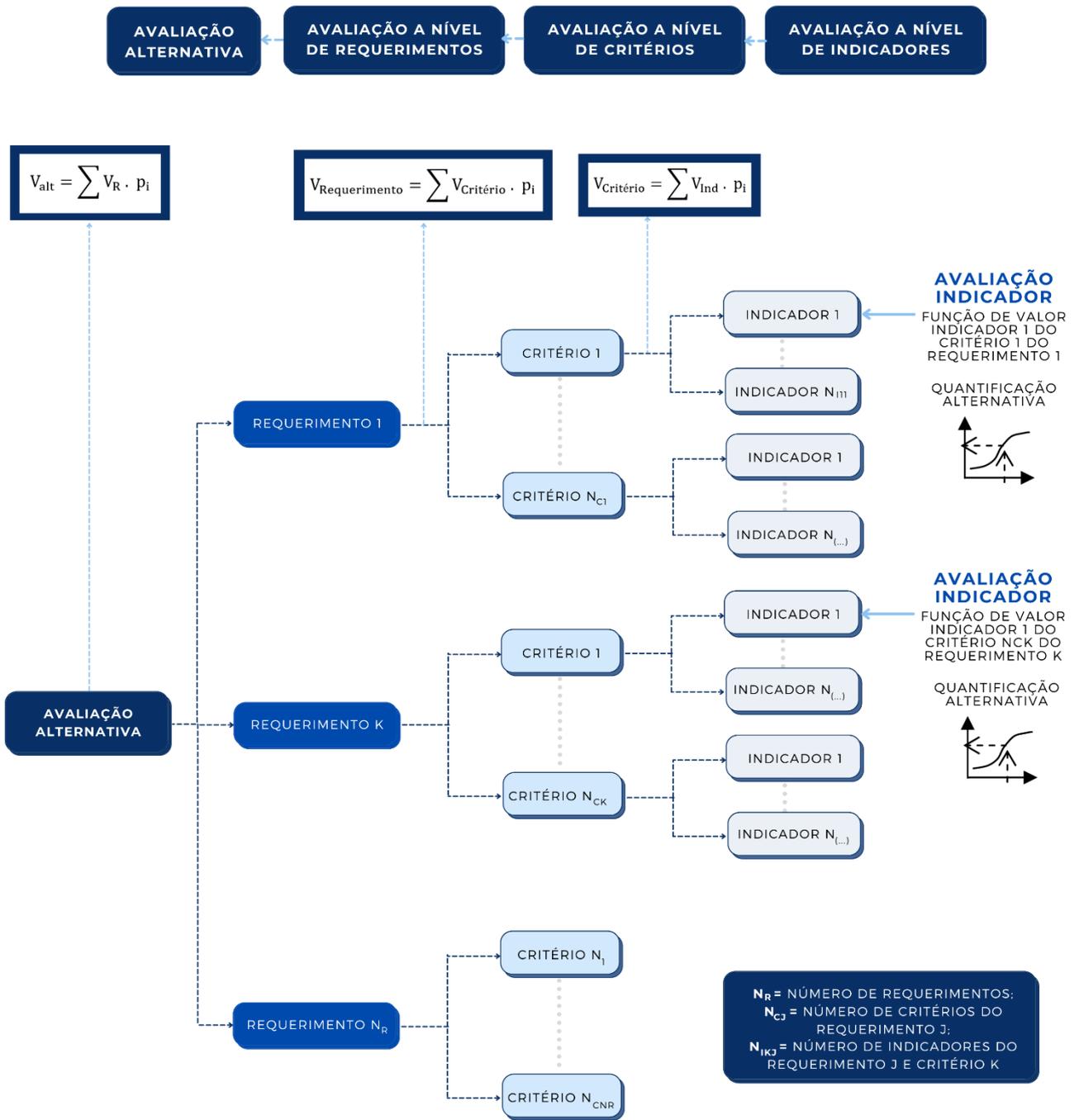
pesos aos critérios. Dentro da metodologia, Viñolas, Cortés, *et al.* (2009) esclarecem que a atribuição dos pesos se dá sempre dentro das ramificações. Isto significa que, no que se refere aos pesos dos indicadores, estes são calculados em relação àqueles pertencentes a um mesmo critério. Da mesma forma, os pesos dos critérios são definidos nos parâmetros de um mesmo requerimento. De uma forma geral, a determinação dos pesos dos parâmetros no MIVES é realizada pelo Processo Analítico Hierárquico (AHP, sigla em inglês para *Analytical Hierarchy Process*), técnica que permite uma estruturação hierárquica entre as múltiplas variáveis consideradas em uma tomada de decisão (BIJU, 2015; BILUCA, 2017). As autoras explicam que, com a ferramenta, os fatores de decisão são analisados par a par, sendo elaborada uma matriz de comparação a partir da escala fundamental delineada por Saaty (1980), o que possibilita a atribuição de um grau de importância maior ou menor a uma variável.

Após a realização dos passos sobreditos, passa-se, enfim, à etapa final de utilização do método, que consiste no cálculo do índice de valor de cada alternativa delineada (VIÑOLAS, CORTÉS, *et al.*, 2009). A Equação 01 expressa a regra geral de cálculo utilizada no MIVES, considerando-se a existência de diferentes níveis organizacionais da metodologia

$$Valor_x = \sum_{i=1}^n (Valor_{x+1})_i * (Peso_{x+1})_i \quad (Eq. 01)$$

Na Equação 01, x equivale a um nível hierárquico qualquer, ao passo que $x+1$ representa o nível imediatamente posterior. Ou seja, em uma representação com quatro níveis hierárquicos de parâmetros (a alternativa, os requerimentos, os critérios e os indicadores), o cálculo do índice de valor da alternativa considerará o somatório dos índices dos requerimentos, enquanto estes últimos serão compostos pelas somas das valores provenientes de seus critérios, e assim sucessivamente. Este procedimento de cálculo segue representado na Figura 18.

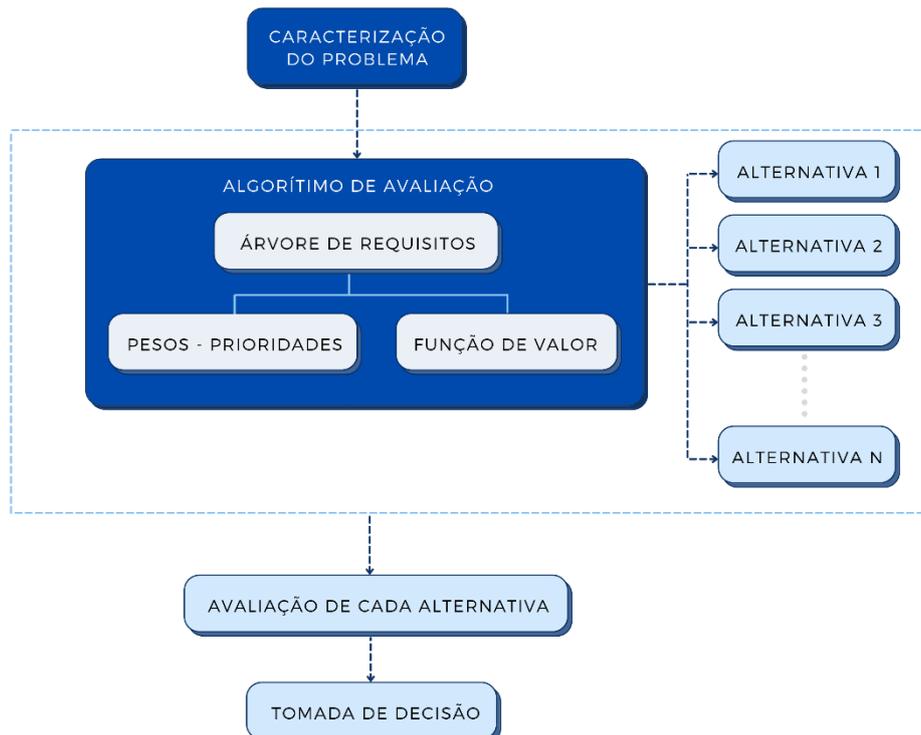
Figura 18 – Cálculo genérico do índice de sustentabilidade de uma alternativa no MIVES



Fonte: Adaptado de VIÑOLAS; CORTÉS; *et al.* (2009)

A partir do cálculo de cada alternativa, individualmente, é possível ser realizada a comparação entre estas, tendo-se parâmetros suficientes para a tomada de decisão. O processo de aplicação do MIVES é suficientemente estruturado pelo fluxograma apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Estrutura de aplicação do método MIVES



Fonte: Adaptado de FLORES; MADERO; *et al.* (2009)

O processo MIVES vem sendo amplamente utilizado desde a sua concepção, no ano de 2006, tendo sofrido avanços significativos em suas distintas aplicações, dadas, em sua maioria, em situações práticas onde se havia a necessidade de tomada de decisão (FLORES; AVEROS; *et al.*, 2019). Dentro da engenharia, a metodologia foi aplicada, por exemplo, na avaliação e no melhoramento de estruturas de concreto (LOMBERA; JOSA, 2008; DEL CAÑO; GOMÉZ; DE LA CRUZ, 2012; PONS; DE LA FUENTE, 2013), no desenvolvimento de novas tecnologias para estradas, pavimentos e calçamentos urbanos (VILLEGAS, 2008, JATO-ESPINO; RODRIGUEZ-HERNANDEZ; *et al.*, 2014; PUJADAS; CAVALARO; AGUADO, 2016; FLORES; AVEROS; *et al.*, 2019), na criação, estudo, e comparação de sistemas construtivos (PONS; AGUADO, 2012; CASANOVAS RUBIO, 2014; GILANI; BLANCO; DE LA FUENTE, 2017), avaliação de tubos para esgoto domiciliar (DE LA FUENTE; PONS; *et al.*, 2015) e até mesmo na análise de soluções em energias renováveis (DE LA FUENTE; ARMENGOU; *et al.*, 2016).

Embora não tenham sido encontrados trabalhos que utilizem MIVES para a alocação de aterros de resíduos de uma forma geral, a ferramenta, por estar diretamente vinculada a análise multicriterial, tem condições de ser utilizada, parcial ou integralmente, de forma combinada a SIG, possibilitando a aplicação do método na avaliação de locais para a implantação de aterros com base em parâmetros ambientais, econômicos e sociais.

2.6 UTILIZAÇÃO COMBINADA DE SIG E MCDA

Malczewski (1999) define a análise e tomada de decisão por multicritério baseada em SIG como um conjunto de técnicas para analisar eventos geográficos, no qual a decisão depende do ordenamento espacial destes. Para Gbanie, Tengbe, *et al.* (2013), a utilização combinada de SIG e MCDA consiste em um sistema inteligente que permite que uma grande quantidade de dados espaciais e não espaciais sejam convertidos em informações a serem utilizadas num processo de tomada de decisões.

O MCDA baseado em SIG requer que vários dados georreferenciados de critérios de avaliação predefinidos sejam combinados a partir da atribuição de valores a estes atributos, determinando-se assim uma metodologia para tomada de decisões (MALCZEWSKI, 2006a).

Para Biju (2015, p. 44), “a combinação bem sucedida de SIG e técnicas de suporte na tomada de decisão funcionam, pois ambas as ferramentas se completam perfeitamente”. A principal vantagem em incorporar técnicas de MCDA ao SIG é a possibilidade de o tomador de decisão inserir suas preferências em relação ao critério de avaliação (MALCZEWSKI, 2006b), por exemplo: na determinação da área para descarte de RCD, podem ser considerados critérios de caráter ambiental, social e econômico. Caso a preocupação principal do tomador de decisão seja o impacto no meio ambiente decorrente desta disposição, no processo de MCDA serão atribuídos juízos de valor maiores aos aspectos ambientais em relação aos demais. Assim, Malczewski (2006b) complementa que a MCDA fornece mecanismos para revelar preferências dos tomadores de decisões, identificando e explorando alternativas de melhor ajuste. A MDCA possibilita a incorporação de diversos pontos de vista, por vezes até contraditórios, dos diversos *stakeholders* no processo de tomada de decisão.

Desde que os Sistemas de Informação Geográfica foram combinados com ferramenta de análise e tomada de decisões por multicritério (MCDA) para determinação de áreas para implantação de aterro para resíduos municipais pela primeira vez, em estudo de Şener, Şener, *et al.* (2010), “SIG se tornou uma ferramenta quase indispensável para se tomar decisões acerca de locais para implantação de aterros” (DING; ZHU; *et al.*, 2018, p. 02, traduzido pelo autor). De acordo com Koc-San, San, *et al.* (2013), a combinação SIG-MCDA vem sendo amplamente utilizada na última década devido a maior disponibilidade de dados de sensoriamento remoto e a acessibilidade decorrente do desenvolvimento da tecnologia SIG.

2.7 CRITÉRIOS UTILIZADOS NA TOMADA DE DECISÕES

O Quadro 02 apresenta uma relação dos critérios utilizados para a determinação de áreas passíveis de implantação de aterros de RCD, utilizados nos trabalhos de Biju (2015), Ding, Zhu, *et al.* (2018, 2020), Madi e Srour (2019), AlZaghrini, Srour e Srour (2019), Araiza-Aguilar, Gutierrez-Palacios, *et al.* (2019), Biluca (2017) e Biluca, Aguiar e Trojan (2020). Foram detectados, nestes estudos, 23 diferentes tipos de informações, sendo considerados aspectos ambientais, econômicos e sociais.

Quadro 02 – Critérios utilizados em trabalhos que utilizam SIG para implantação de aterros de RCD

CLASSE	CRITÉRIO	TRABALHOS					FREQ.	
		Biju (2015)	Ding, Zhu, <i>et al.</i> (2018, 2020)	Madi, Srour (2019)	AlZaghrini, Srour, Srour (2019)	Araiza-Aguilar, Gutierrez-Palacios, <i>et al.</i> (2019)		Biluca (2017); Biluca, Aguiar, Trojan (2020)
<i>Econômica</i>	Distância de estradas (públicas)	X	X	X	-	-	X	4
	Distância de estradas (privadas e/ou restritas)	-	-	X	-	-	-	1
	Distância de áreas com construções a serem demolidas potencialmente em até 20 anos	-	X	-	-	-	-	1
	Dimensão da área requerida	-	-	-	-	-	X	1
	Preço da terra	-	X	-	-	-	-	1
<i>Ambiental</i>	Declividade do terreno	-	X	X	X	X	X	5
	Elevação do terreno	-	X	-	X	-	-	2
	Suscetibilidade a deslizamento de terra	-	-	-	-	X	-	1
	Tipo de vegetação	-	X	X	-	-	-	2
	Tipo de solo	X	-	-	-	-	X	2
	Uso do solo	-	X	-	-	X	X	3
	Incidência de chuvas	-	-	-	X	-	-	1
	Cobertura do solo por neve	-	-	X	-	-	-	1
	Distância de corpos hídricos	X	X	X	X	-	X	5
	Distância de proteção de nascentes	-	X	-	X	-	-	2
	Suscetibilidade a inundações	-	-	-	-	X	-	1
	Distância de reservas naturais	X	X	X	X	-	-	4
Distância de falhas tectônicas	-	-	-	X	-	-	1	
<i>Social</i>	Distância de áreas urbanas	X	X	X	X	-	X	5
	Distância de aeroportos	-	X	-	-	-	-	1
	Distância de atrações turísticas	-	X	-	-	-	-	1
	Distância de instituições de saúde e educação	-	-	-	-	-	X	1
	Distância de locais com valor histórico	-	X	-	-	-	-	1

Fonte: Autor, 2021.

Da análise da tabela, percebe-se que uma grande quantidade de variáveis utilizadas na literatura não se aplicam à realidade de Cianorte, seja por fatores relacionados ao posicionamento geográfico do município ou a aspectos socioeconômicos. É o caso, por exemplo, de “distância de atrações turísticas”, “distância de falhas tectônicas” ou “risco de cobertura por neve”.

Já a utilização de alguns outros parâmetros pode ser resumida em um único: “distância de áreas urbanas”. Neste grupo, enquadra-se, por exemplo, “distância de polos com construções a serem demolidas nos próximos 20 anos”, uma vez que o município foi fundado a relativamente pouco tempo e não conta com regiões que se destacam significativamente por possuírem edificações ao final de suas vidas úteis. Além disso, os fatores de “distância de instituições (educação ou saúde)” e “distância de aeroportos”, por estarem inseridos especificamente dentro da área urbana, se considerados poderiam mascarar o resultado da pesquisa por considerar informações muito próximas em duplicidade.

Outros critérios, como “elevação do terreno”, “tipo de vegetação”, “incidência de chuvas” e “preço da terra”, também não são eficazes para a análise no município de Cianorte, uma vez que existe pouca variação para estas informações no perímetro de estudo.

Neste sentido, é possível elencar seis fatores de maior relevância na identificação de áreas para implantação de aterros de RCD no município de Cianorte, sendo eles “declividade do terreno”, “distância de corpos hídricos”, “tipo do solo”, “uso do solo”, “distância de estradas” e “distância de áreas urbanas”.

2.7.1 Declividade

A declividade de um ponto pode ser entendida como a taxa de mudança da altitude de um ponto, em relação ao plano horizontal – ou a primeira derivada da altitude.

Na escolha de espaços para implantação de aterros, a preocupação com a declividade existe pois este fator pode impactar diretamente na capacidade de operação na área, sendo que, quando este índice é elevado, o acesso de caminhões ao local é dificultado. Além disso, terrenos com declividades acentuadas podem ter estabilidade comprometida.

De acordo com a ABNT NBR 13.896:1997, que discorre sobre critérios para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos, o valor máximo recomendado para esta grandeza é de 30%. Contudo, em períodos de chuva intensa, o

risco de erosão aumenta significativamente para declividades superiores a 5% (MADI; SROUR, 2019). De acordo com Araiza-Aguilar, Gutierrez-Palacios, *et al.* (2019), o terreno plano é a configuração ideal para a implantação de um aterro de RCD. Contudo, em uma análise multicriterial, declividades de até 10% podem ser consideradas, sendo descartados os pontos com inclinações superiores.

2.7.2 Distância de Corpos Hídricos

A distância de corpos hídricos é um indicador de fundamental importância no aspecto ambiental. A problemática em implantar aterros de RCD próximo a rios, represas, lagos ou similares se dá no aumento da possibilidade de se poluir estas águas, mesmo com o material aterrado sendo inerte, devido, principalmente, ao carreamento de partículas de pequenas dimensões pelas águas pluviais. A ABNT NBR 13.896:1997 aponta que, para a implantação de aterros de resíduos não perigosos, deve ser assegurado um distanciamento mínimo de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso de água, para que se evitem eventuais impactos na qualidade das águas.

Na literatura, não existe um pleno consenso acerca do distanciamento ideal entre corpos hídricos e aterros de resíduos de construção e demolição. Biluca (2015), por exemplo, parte de uma condição mínima de 400 m de afastamento de margens dos rios para considerar uma área apta à disposição de RCD, avaliando, a partir deste limítrofe, como maior a aptidão do local quanto maior for esta distância. Já Ding, Zhu, *et al.* (2020) adotam o afastamento de 2.000 metros como ideal para a implantação de áreas de deposição dos resíduos, admitindo que qualquer distância superior a esta possui aptidão equivalente para o recebimento dos materiais descartados.

2.7.3 Tipo do Solo

O tipo do solo é um fator de importância na avaliação de áreas para a implantação de aterros de RCD. Cada tipo de solo apresenta diferentes condições de fragilidade e erodibilidade, baseadas na textura, na permeabilidade, na porosidade, na capacidade de escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais e na suscetibilidade à erosão hídrica. Neste sentido, esta variável é fundamental para o planejamento de uso de terras (SILVA, SILVA, *et al.*, 2009; BILUCA, 2015).

Por meio de análises empíricas, Ross (1994) estabeleceu uma correlação direta entre os diferentes tipos de solo e suas condições de fragilidade, conforme se observa no Quadro 03. Nesta classificação, os solos são dispostos em categorias que variam de “muito baixa” a “muito forte”, sendo esta última a pior condição para implantação de aterros.

Quadro 03 – Classes de fragilidade de diferentes tipos de solos

Classe de Fragilidade	Tipos de Solos
Muito baixa	Latossolo vermelho distroférico, Latossolo vermelho e vermelho-amarelo de textura argilosa
Baixa	Latossolo amarelo e vermelho-amarelo de textura média/argilosa
Média	Latossolo vermelho-amarelo, Nitossolo, Argissolo vermelho-amarelo de textura média/argilosa
Forte	Argissolo vermelho-amarelo de textura média/arenosa, Cambissolo
Muito forte	Argissolo com cascalho, Neossolo litólico, Neossolo quartzarênico, Gleissolo

Fonte: Adaptado de ROSS (1994). Atualizado segundo BIJU (2015).

Para a determinação das classes de fragilidade dos solos apontadas no Quadro 03, o autor considerou, além das condições de erodibilidade do solo, características de textura, estrutura, plasticidade e grau de coesão das partículas, com o foco na suscetibilidade à erosão (ROSS, 1994; 2012).

2.7.4 Usos das Terras

A consideração da forma de uso e ocupação das terras na avaliação multicriterial de áreas aptas para a implantação de aterros de resíduos de construção e demolição é de grande importância pois permite que, através da análise de imagens provenientes de sensoriamento remoto, sejam identificadas áreas urbanas, inundadas, de preservação ambiental, e outras inapropriadas para instalação do empreendimento.

De acordo com Li, Jiang e Feng (2014), sistemas de sensoriamento remoto são constantemente utilizados quando se deseja analisar a superfície terrestre, por possibilitarem grande qualidade nas informações, em escalas de até 1:25.000. Os dados provenientes deste tipo de recurso, por possuírem informações em várias bandas, permitem a realização de classificação supervisionada das imagens dentro de *softwares* de operação de informações geográficas, de modo a classificar o uso das terras correspondente de cada *pixel* de acordo com o seu comportamento espectral.

Para a implantação de aterros de RCD, Biluca (2017) aponta como condição ideal o reaproveitamento de áreas de solo exposto, uma vez que estas já foram impactadas ambientalmente. Na impossibilidade de identificação ou utilização destes locais, a autora recomenda a uso de áreas com vegetações rasteiras, comumente utilizadas para atividades agrícolas ou pecuárias. De uma forma geral, a implantação de aterros em locais com vegetação arbórea, como matas e florestas, não é recomendado, uma vez que a escolha destas áreas agravará ainda mais os problemas com desmatamento (GBANIE; TENGBE; *et al.*, 2012).

2.7.5 Distância de Estradas

A implantação de aterros de RCD em áreas muito distantes de estradas pode inviabilizar, do ponto de vista econômico, a operacionalização do sistema de descarte, uma vez que onera significativamente os custos com infraestrutura preliminar, seja pela construção de novas vias de acesso, ou até mesmo pela necessidade de desapropriação e/ou desmatamento de áreas verdes.

A preocupação com o distanciamento de estradas existentes é de evidente importância em um projeto de aterro, haja vista que as vias de acesso serão utilizadas ao longo de toda a operação no local (ABNT, 1997). Neste sentido, Ding, Zhu, *et al.* (2020) consideram a condição de inserção de aterros de RCD a distâncias inferiores de 500 metros como o melhor cenário, ao passo que atribui a pior classificação para as áreas situadas em afastamentos superiores a 2.000 metros. Para Picolo (2011), contudo, a pior condição de distância de estradas se dá para valores maiores que 3.000 metros.

2.7.6 Distância de Áreas Urbanas

A adoção de um distanciamento de áreas urbanas é imprescindível para a implantação de aterros de resíduos de materiais não perigosos, nos termos da ABNT NBR 13896:1997. De acordo com a norma, é recomendado que as áreas úteis de aterros distem ao menos 500 metros de núcleos populacionais. Ding, Zhu, *et al.* (2020) consideram este distanciamento de áreas residenciais como o mínimo aceitável, uma vez que valores menores que este podem trazer impactos significativos na qualidade de vida dos moradores das adjacências, como ruídos, poeira, potenciais focos de vetores de zoonoses, tráfego de veículos pesados, entre outros. Para os autores, tais impactos são reduzidos de forma

significativa quando se estabelece um raio de distanciamento de 2.000 m para a inserção da área de deposição.

Contudo, é importante destacar que as áreas urbanas são as maiores geradoras de RCD e que, conforme se aumenta a distância entre os polos geradores e receptores do resíduo, maior será o custo monetário envolvido no processo de disposição final do material. Isto significa que, para a variável “distância de áreas urbanas”, além do fator social envolvido na análise, deve ser considerado também o aspecto econômico, de forma interligada. Neste sentido, Biluca (2017) pondera que distâncias muito elevadas em relação ao local de geração de resíduos dificulta a logística, o que impacta negativamente na aptidão de uma área. Em seu estudo, a autora considera que intervalos de 2.000 metros podem reduzir significativamente a adequabilidade dos locais para a implantação de aterros.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Para identificar áreas adequadas para a implantação de aterro de resíduos de construção e demolição, foi considerada, neste estudo, toda a extensão territorial do município de Cianorte, no Paraná, o que corresponde a 811,67 km² (IBGE, 2021). As coordenadas geográficas de DATUM Sirgas 2000 nas extremidades, para o perímetro do município, são 24°29'19" S 52°29'25" W a norte, 24°03'10" S 53°23'09" W a sul, 24°27'07" S 52°27'09" W a leste e 24°09'19" S 53°15'27" W a oeste.

Embora o município em questão possua três polos populacionais urbanos (além da cidade, os distritos de São Lourenço e Vidigal), a população residente nestes distritos é inferior a 5% do montante atual estimado pelo IBGE (2021), gerando, por conta disso, uma quantidade significativamente menor de RCD. Neste sentido, o enfoque desta pesquisa foi identificar locais que sejam adequados para receber o resíduo gerado na área urbana principal da cidade, uma vez que esta é o maior polo gerador no perímetro considerado.

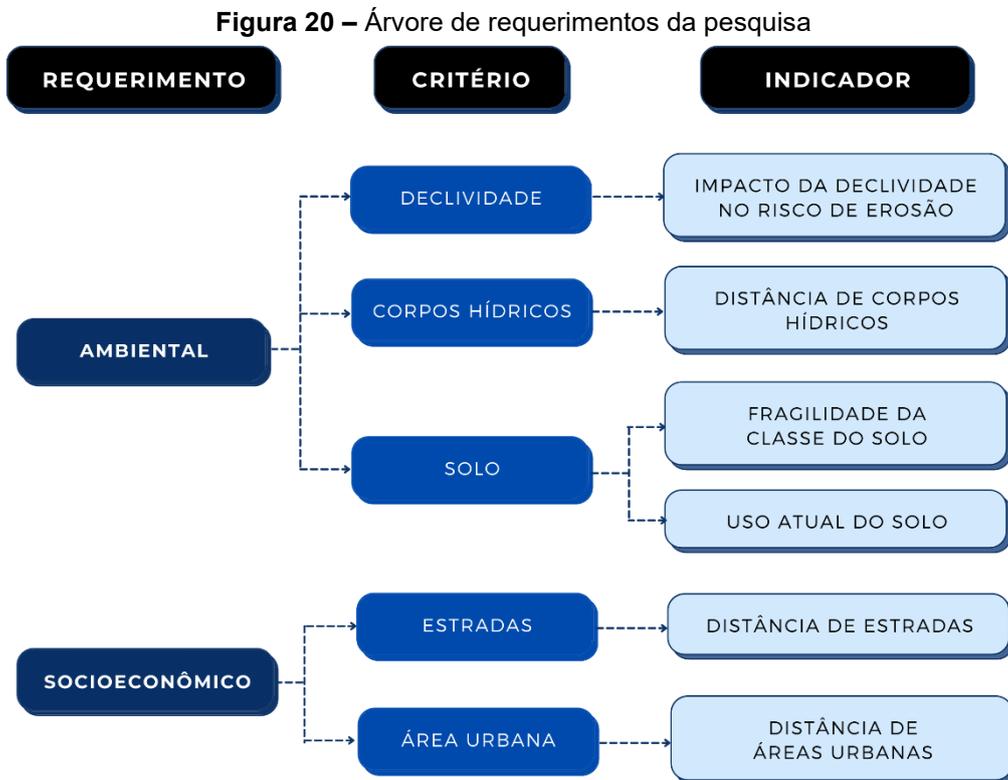
3.2 SELEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Para a identificação de áreas adequadas para a implantação de aterros de RCD, foram considerados multicritérios de caráter ambiental e socioeconômico. Juntamente com as informações obtidas de trabalhos disponíveis na literatura (Quadro 02), a NBR 15113:2014 também foi levada em conta na determinação dos critérios a serem utilizados na pesquisa, uma vez que prevê que, para a alocação de aterros de materiais não perigosos, devem ser considerados os seguintes aspectos: tipos de solos, hidrologia, passivo ambiental, vegetação, vias de acesso, área disponível e vida útil desejada (ou esperada) e distância de polos populacionais.

Diante disto, e com base na discussão do item 2.7 deste trabalho, seis variáveis passíveis de serem espacializadas (na forma de mapas) foram selecionadas para a análise multicriterial: declividade, distância de corpos hídricos, distância de estradas, tipo do solo, uso das terras e distância de áreas urbanas.

O estabelecimento das variáveis permitiu definir a árvore de requerimentos, nos moldes da metodologia MIVES, conforme mostrado na Figura 20, partindo-se da

classificação das variáveis em duas classes de requerimentos: ambiental e socioeconômica.



Fonte: Autor, 2021

A partir da definição da árvore de requerimentos, pôde-se delinear os indicadores de influência na identificação das áreas para implantação de aterro de RCD.

3.3 ELABORAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS

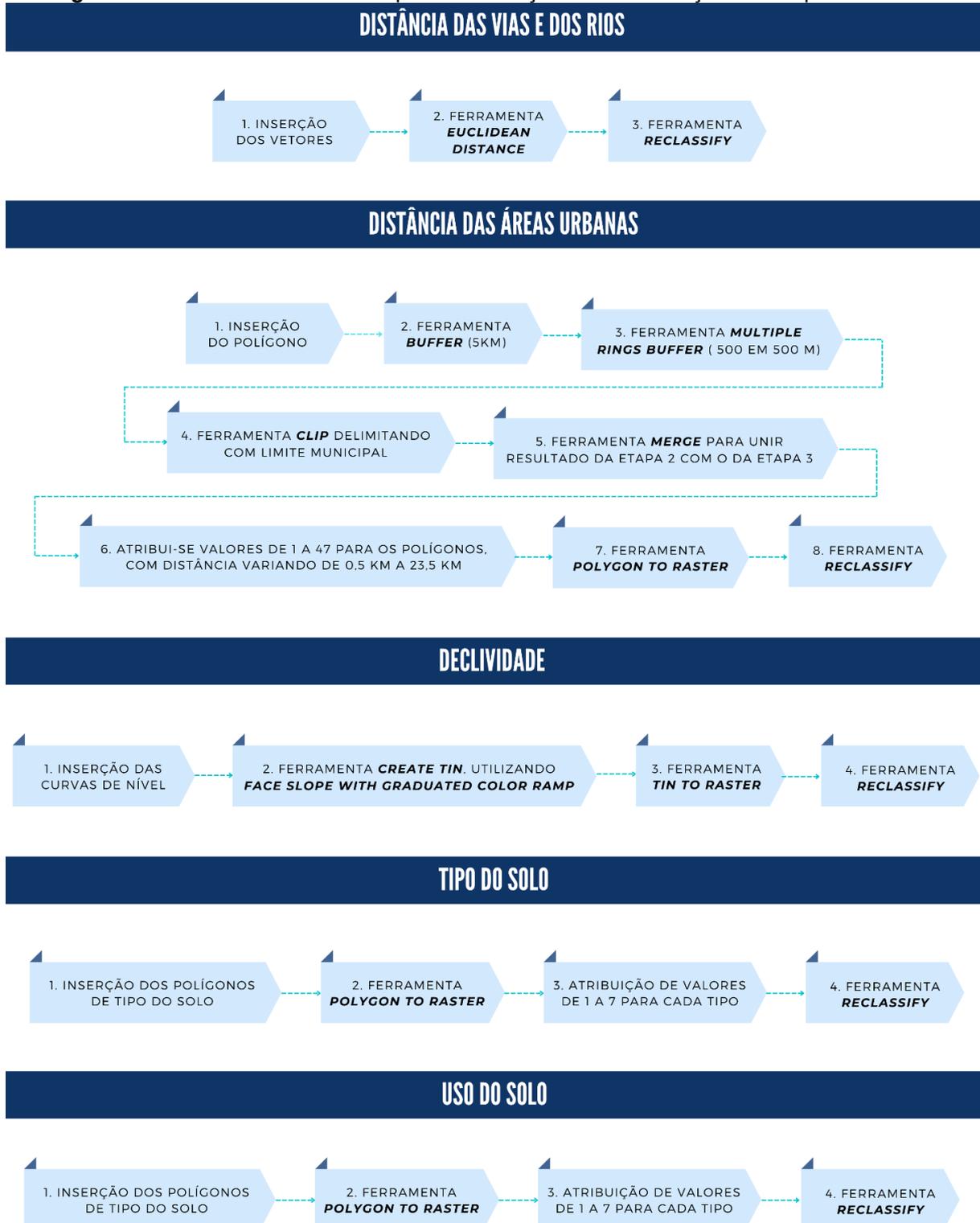
3.3.1 Obtenção e Reclassificação dos Dados

Para a elaboração de mapas temáticos dos critérios, foram utilizados os seguintes bancos de dados: folhas topográficas, em escala 1:50.000, disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mapa de solos do Estado do Paraná, em escala 1:250.000, disponibilizado pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), e catálogo de imagens de satélite do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Todos os mapas temáticos foram submetidos a um processo de rasterização (transformação em *raster*) das informações no SIG. O procedimento, realizado dentro do *software* ArcGIS® 10.8, consiste em um processo de gestão de dados, realizado de modo a

possibilitar uma sobreposição mais eficiente das informações geográficas. Para a transformação de mapas vetoriais em outros com características matriciais (*raster*), bem como para a reclassificação dos dados, foram utilizadas diversas ferramentas computacionais dentro do *software* sobredito, as quais foram resumidas na Figura 21.

Figura 21 – Ferramentas utilizadas para rasterização e reclassificação dos mapas temáticos



Fonte: Autor, 2021

É importante destacar que as ferramentas indicadas na Figura 21 levam em consideração, além da simples transformação dos mapas de vetores em informações *raster*, a adequação dos dados ali apresentados para utilização na pesquisa. Por exemplo, para o caso da declividade, foram indicados todos os procedimentos adotados para transformar as informações de altitude do terreno (curvas de níveis) em dados que indicassem a declividade de cada região (*pixel*).

3.3.2 Normalização dos Valores dos Indicadores

Outra etapa importante foi a de atribuição de valores a serem utilizados nos *pixels* dos mapas temáticos de indicadores qualitativos. Dentro de uma MCDA, a valoração de dados qualitativos permite que estas informações sejam consideradas em conjunto a outros critérios, por meio de uma combinação matemática das informações existentes nos *pixels* de cada mapa temático. Como exemplifica Biluca (2017), enquanto alguns mapas são apresentados em unidades numéricas, como os de distância de corpos hídricos e de distância de áreas urbanas, outros são apresentados em classes, como os de tipo de solo e de uso das terras. Estas unidades diferentes impossibilitam a associação dos mapas temáticos e, por conta disso, se fez necessário atribuir valores aos *pixels* de acordo com suas determinada qualidade.

Além disso, todos os mapas temáticos, inclusive aqueles de indicadores que apresentam informações numéricas, foram submetidos a um processo de padronização de valores dos dados originais, os quais foram convertidos em unidades dentro do intervalo de 0 a 10, de acordo com o grau de aptidão da condição para a implantação de aterros de RCD, nos termos apresentados na Tabela 01. Conforme explica Biluca (2017), procedimentos deste tipo se baseiam na lógica *fuzzy* com funções definidas pelo usuário, e em outros estudos realizados que utilizaram da padronização de dados.

Tabela 01 – Valoração dos critérios de acordo com o grau de aptidão para implantação de aterros de RCD

Classificação	Valor atribuído
Ideal	10
Muito adequado	8
Adequado	5
Tolerável	2
Inadequado	0

Fonte: Autor, 2021.

Neste sentido, com base no que descrevem trabalhos existentes na literatura, foram delineadas as condições ideais de cada indicador utilizado na análise, às quais foi atribuído o grau de aptidão máximo (10). Já para as condições entendidas como inadequadas, foram adotados os valores mínimos para a célula (0), sendo descartados, num mapa específico, os pontos com condições iguais ou piores às desta classificação. Foram definidos, ainda, pontos de inflexão intermediários, que tiveram valorações adotadas conforme as classificações correspondentes da Tabela 01.

Para os critérios com informações quantificáveis, a partir da definição dos pontos prefixados, traçou-se um gráfico de dispersão, o qual permitiu, por meio de interpolação e estudo das linhas de tendência, estipular uma função de valor capaz de descrever com maior precisão a distribuição de valores de cada critério. Embora o MIVES possua um procedimento específico para a determinação das funções de valores, o processo não foi utilizado nesta pesquisa por não conseguir descrever o comportamento do indicador “distância de áreas urbanas” de forma adequada, como discutido adiante.

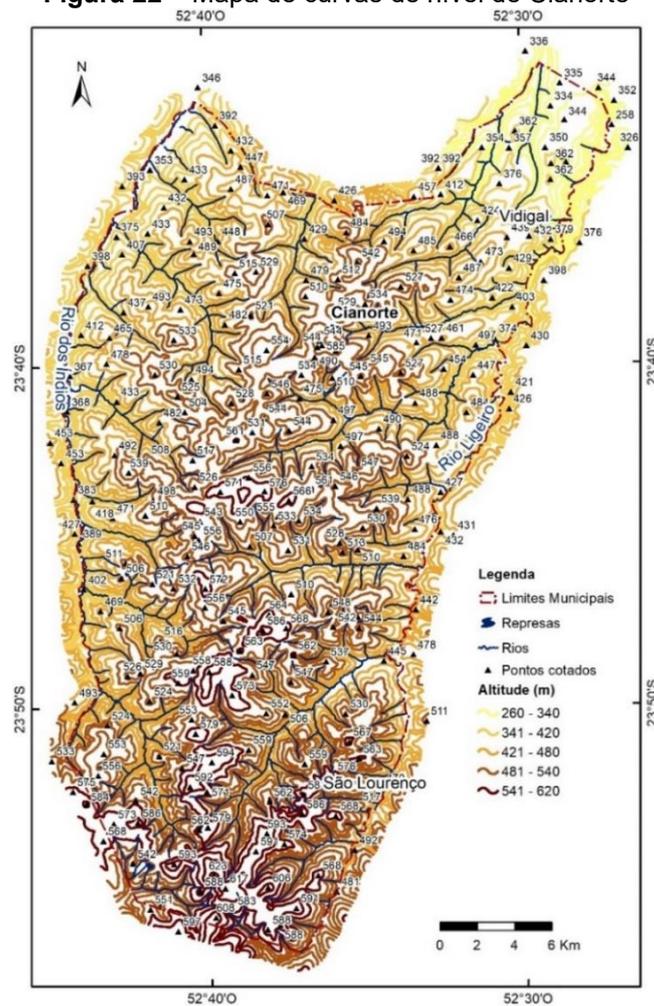
Com base nos dados obtidos a partir das funções de valores, foi possível delimitar intervalos intermediários aos da Tabela 01, o que permitiu estipular atributos mais adequados para os *pixels* de cada indicador, de acordo com suas reais condições. Optou-se por utilizar os dados normalizados em intervalos, representados por valores inteiros de 0 a 10, para simplificar a redefinição dos valores dentro do *software* ArcGIS® 10.8, reduzindo, desta forma, a possibilidade de erros. A possibilidade de trabalhos com números inteiros entre 0 e 10 foi, também, o motivo de não se ter utilizado, na pesquisa, graus de aptidões variando entre 0 e 1, como atribuído para os graus de compatibilidade provenientes lógica *fuzzy*.

Assim, tendo sido definidos os valores para os *pixels* de cada indicador, foram traçados os mapas temáticos padronizados. Na sequência, são apresentadas as condições delineadas para cada indicador da análise multicriterial, individualmente.

3.3.2.1 Declividade

Inicialmente, para estudo da declividade no território de Cianorte, foram utilizadas as informações de altitudes do terreno em toda extensão do município, apresentadas na forma de curvas de nível. As informações, representadas na Figura 22, foram extraídas das folhas topográficas do IBGE.

Figura 22 – Mapa de curvas de nível de Cianorte



Fonte: IBGE, 2021

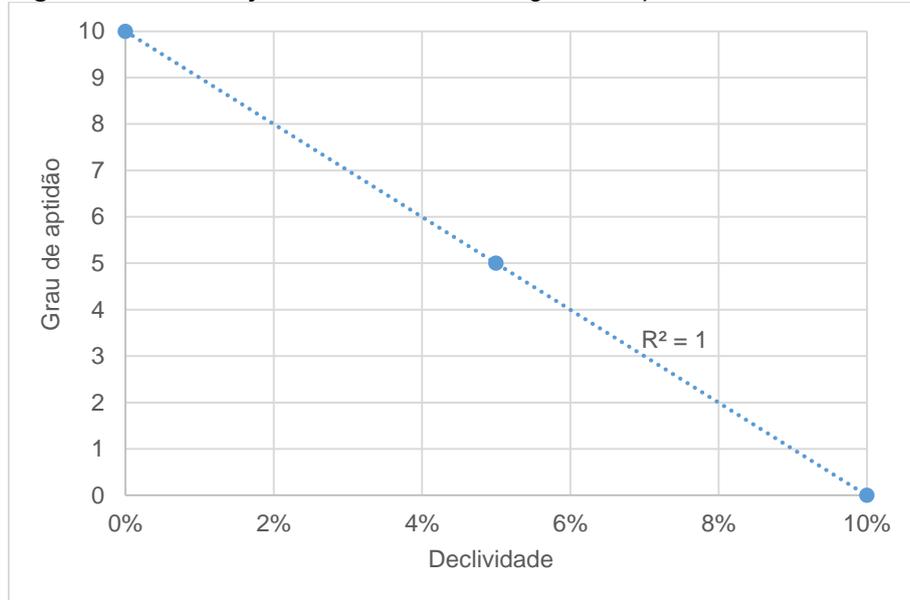
As informações de altitude do terreno puderam ser convertidas em dados de declividade dentro do *software* ArcGIS® 10.8. Para o processo de normalização dos valores, as informações de declividade foram reclassificadas de acordo com a adequabilidade de implantação de aterros de RCD, com base em trabalhos anteriores de Araiza-Aguilar, Gutierrez-Palacios, *et al.* (2019) e de Madi e Srour (2019).

Embora a ABNT NBR 13896:1997 recomende que terrenos com declividades de até 30% possam ser utilizados para a implantação de aterros de resíduos não perigosos, o município de Cianorte se caracteriza por estar inserido dentro do terceiro planalto paranaense, o que implica numa predominância de relevos pouco acidentados, normalmente com declives menores que 10%.

Neste sentido, adotou-se a declividade de 10% como limite para implantação do aterro, classificando-se todos os valores iguais ou maiores a este como inadequados, sendo atribuído a eles o grau de aptidão 0, nos termos da Tabela 01. O terreno plano (isto é, com declividade igual a 0%) foi parametrizado como condição ideal,

recebendo valoração igual a 10. A inclinação do terreno de 5% foi caracterizada como situação adequada, à qual foi atribuído o valor de aptidão 5. O gráfico de dispersão dos pontos com adequabilidade preestabelecida é apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Correlação entre declividade e grau de aptidão das declividades



Fonte: Autor, 2021

A identificação das declividades ideal e máxima, bem como a determinação de um ponto intermediário, no gráfico da Figura 23, foram fundamentais para estabelecer, por meio de interpolação, a função de valor do tipo linear para o critério correspondente (Equação 02). Como se observa, a equação obtida possui coeficiente de determinação (R^2) igual a um, o que significa que a função de valor tem ajuste perfeito em relação aos dados interpolados.

$$f(x)_{dec} = -100x + 10 \quad (Eq. 02)$$

Na Equação 02, os dados de entrada se dão em porcentagem, sendo o domínio o intervalo [0%, 10%]. Os valores de saída são os dados normalizados adimensionais.

A partir da função de valor, foram calculados os limítrofes inferiores dos intervalos, de 0 a 10. Desta forma, todas as declividades tiveram seus valores normalizados, conforme a adequabilidade de implantação de aterro de RCD, nos termos da Tabela 02.

Tabela 02 – Normalização dos valores de declividade conforme grau de aptidão para aterros de RCD

Declividade	Valor
0% a 0,99%	10
1% a 1,99%	9
2% a 2,99%	8
3% a 3,99%	7
4% a 4,99%	6
5% a 5,99%	5
6% a 6,99%	4
7% a 7,99%	3
8% a 8,99%	2
9% a 9,99%	1
≥10%	0

Fonte: Autor, 2021.

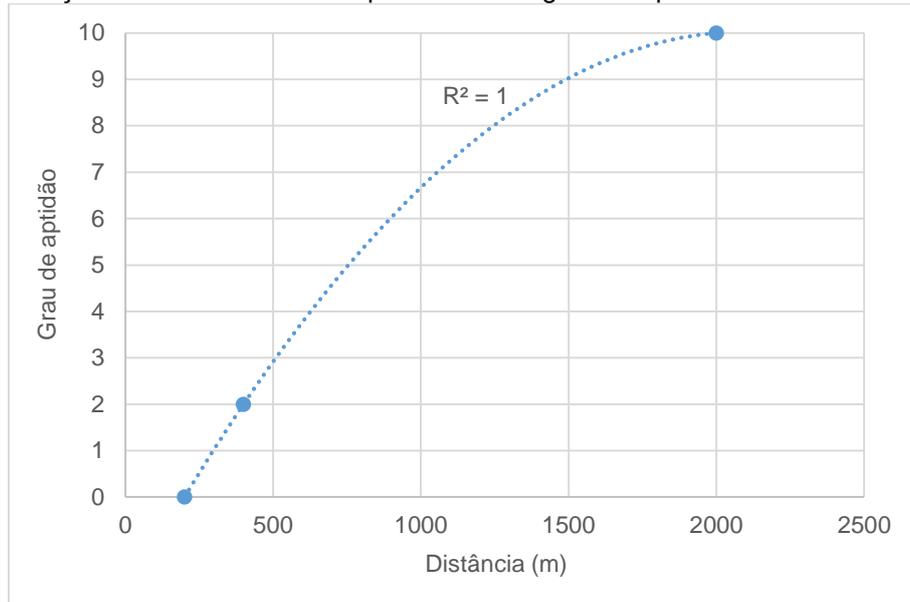
A normalização dos dados foi um procedimento fundamental para a delimitação do mapa temático do critério “declividade”.

3.3.2.2 Distância de Corpos Hídricos

Para a determinação de classes de distâncias de rios para a elaboração do mapa temático deste indicador, se fez necessário realizar o processo de normalização de valores de adequabilidade, tomando como referência a ABNT NBR 13896:1997, bem como os trabalhos de Biluca (2015) e Ding, Zhu, *et al.* (2020).

Neste sentido, foram realizadas as seguintes considerações para a classificação das áreas: foi estipulada a distância de 200 m como afastamento mínimo de corpos hídricos a um determinado local, de modo que a qualquer região que diste menos que isto de um rio, lago, represa ou similar foi atribuído o grau de aptidão 0 ao *pixel* correspondente, equivalente à classificação como inadequada para a implantação de um aterro de RCD. À distância de 400 m, por sua vez, foi atribuída a classificação de tolerável, delineando-se o valor normalizado de 2 para regiões com esta característica. Como condição ideal, à qual foi atribuída a pontuação 10, foram considerados os locais que distam, pelo menos, 2000 m de um corpo hídrico. A partir destas definições, foi possível traçar o gráfico de dispersão dos pontos com adequabilidade preestabelecida, apresentado na Figura 24.

Figura 24 – Correlação entre distância de corpos hídricos e grau de aptidão de distância de corpos hídricos



Fonte: Autor, 2021

A determinação dos pontos notáveis do gráfico foi realizada de modo a estabelecer, através de interpolação, a função de valor correspondente (Equação 03). Como se observa, a equação de segundo grau obtida apresenta coeficiente de determinação (R^2) igual a um, o que significa que a função de valor tem ajuste perfeito em relação aos dados interpolados, uma vez que foi estabelecida a partir de três pontos.

$$f(x)_{hidro} = \frac{-25 * 10^{-6}}{9} x^2 + \frac{35 * 10^{-3}}{3} x - \frac{20}{9} \quad (Eq. 03)$$

Na Equação 03, o dado de entrada (x) é a distância, em metros, de um determinado ponto do território em estudo, em relação à superfície do corpo hídrico mais próximo a este. Para o gráfico da Figura 24, o domínio é o intervalo [200 m, 2000 m]. Os valores de saída são os dados normalizados (adimensionais).

Para reportar esta normalização dos valores aos mapas temáticos, os dados foram reclassificados em classes de 0 a 10. A função de valor foi utilizada para calcular o limítrofe superior de cada intervalo. Assim, todos os pontos do mapa tiveram seus valores de distância de corpos hídricos normalizados, conforme a adequabilidade de implantação de aterro de RCD, nos termos da Tabela 03.

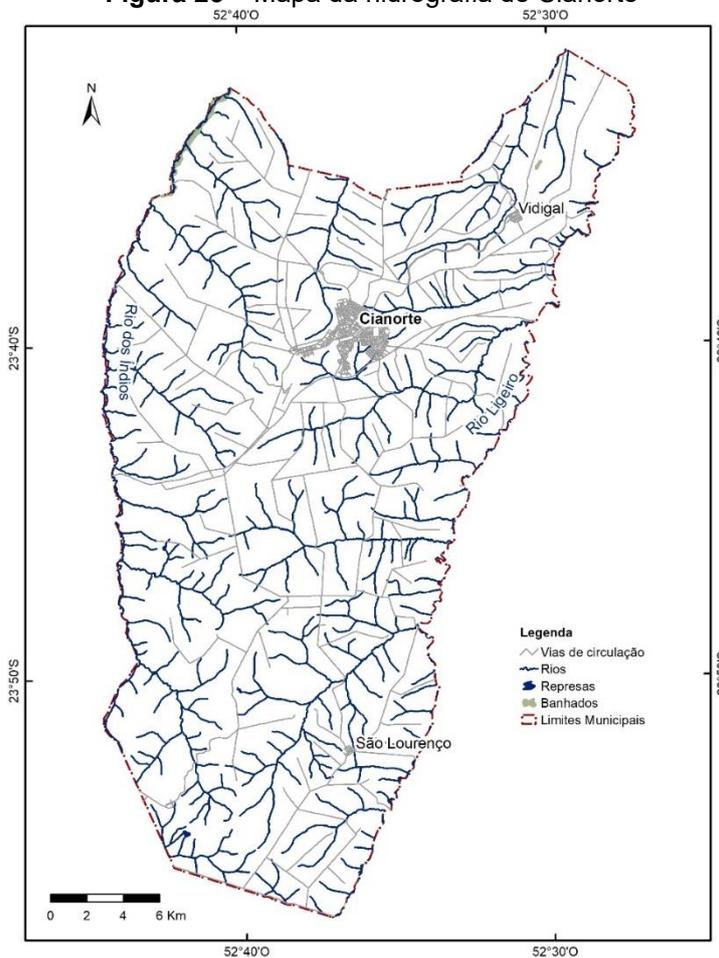
Tabela 03 – Normalização dos valores de distância de corpos hídricos conforme grau de aptidão para aterros de RCD

Distância	Valor
> 1500 m	10
1250 a 1500 m	9
1060 a 1250 m	8
900 a 1060 m	7
760 a 900 m	6
630 a 760 m	5
510 a 630 m	4
400 a 510 m	3
300 a 400 m	2
200 a 300 m	1
< 200 m	0

Fonte: Autor, 2021.

A partir da determinação dos intervalos normalizados, a classificação dos *pixels* pôde ser aplicada ao mapa de hidrografia obtido a partir das cartas disponibilizadas pelo IBGE, mostrado na Figura 25

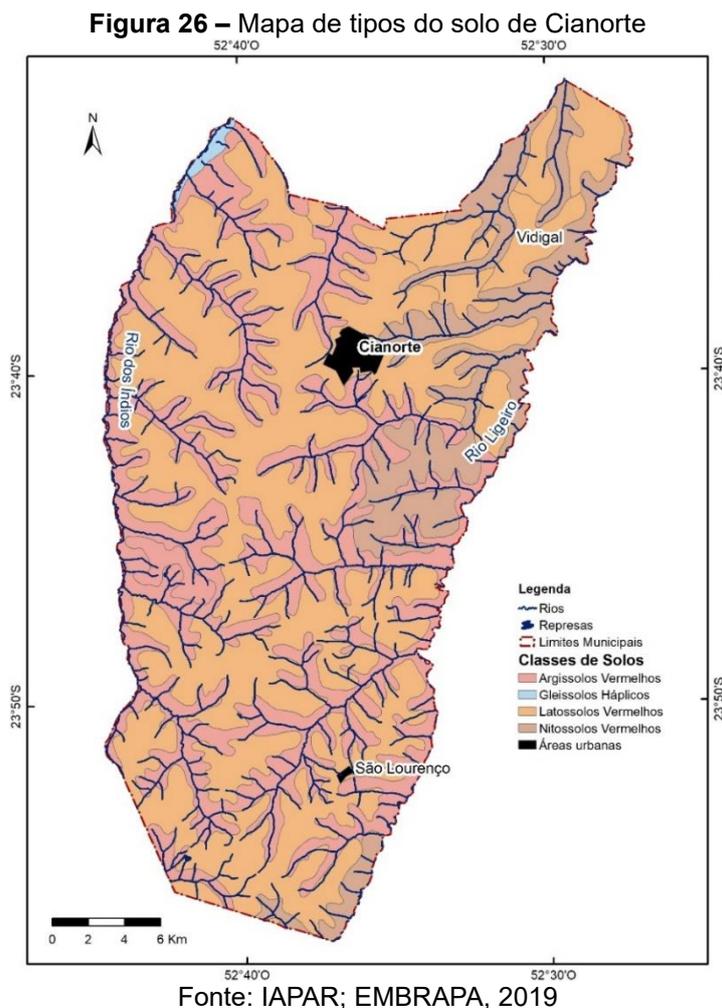
Figura 25 – Mapa da hidrografia de Cianorte



Fonte: IBGE, 2021

3.3.2.3 Tipo do Solo

O mapa de tipos do solo da área territorial de Cianorte apresentado na Figura 26 foi elaborado a partir do mapa do Paraná para o parâmetro, disponibilizado pelo IAPAR, em parceria com a Embrapa.



Diferente dos demais indicadores até aqui discutidos, o tipo do solo se caracteriza por possuir informações qualitativas. Da análise da Figura 26, observou-se que o território cianortense é composto por quatro tipos de solos distintos: Argissolos Vermelhos, Gleissolos Háplicos, Latossolos Vermelhos e Nitossolos Vermelhos.

A normalização de valores para o parâmetro foi realizada a partir da aptidão de cada classe de solo a receber RCD, considerando-se suas condições de fragilidade, conforme parametrizado por Ross (1994) e Biju (2015).

Neste sentido, as regiões compostas por latossolo vermelho foram caracterizadas como ideais para comportarem um aterro de RCD e, por conta disso, a elas

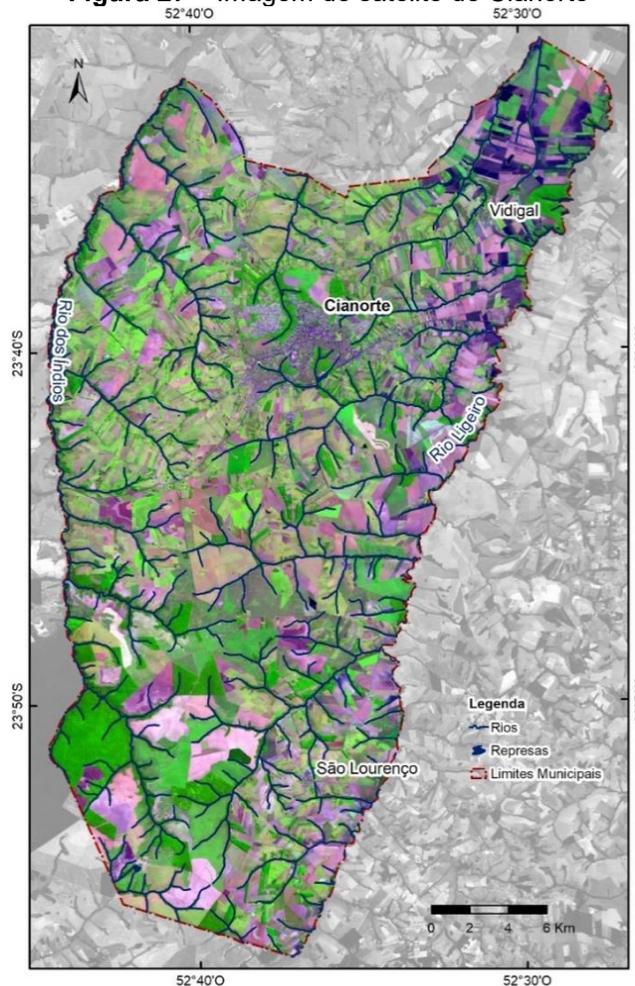
foi atribuído o grau de aptidão máximo de 10. Já para os locais onde há predominância de nitossolos ou argissolos, atribuiu-se a valoração 5, correspondente à aptidão adequada. As áreas com gleissolo, por sua vez, por conta da alta fragilidade deste tipo de solo, foram classificadas como inadequadas, recebendo o valor 0.

A partir das condições de normalização descritas, foi possível, então, delinear o mapa temático para o indicador.

3.3.2.4 Usos das Terras

A partir da imagem de satélite (Figura 27) do município de Cianorte, disponível no sítio eletrônico do INPE, foi possível determinar a utilização das terras para cada *pixel*, por meio de um processo de classificação supervisionada através do *software* ArcGIS® 10.8.

Figura 27 – Imagem de satélite de Cianorte



Fonte: INPE, 2019

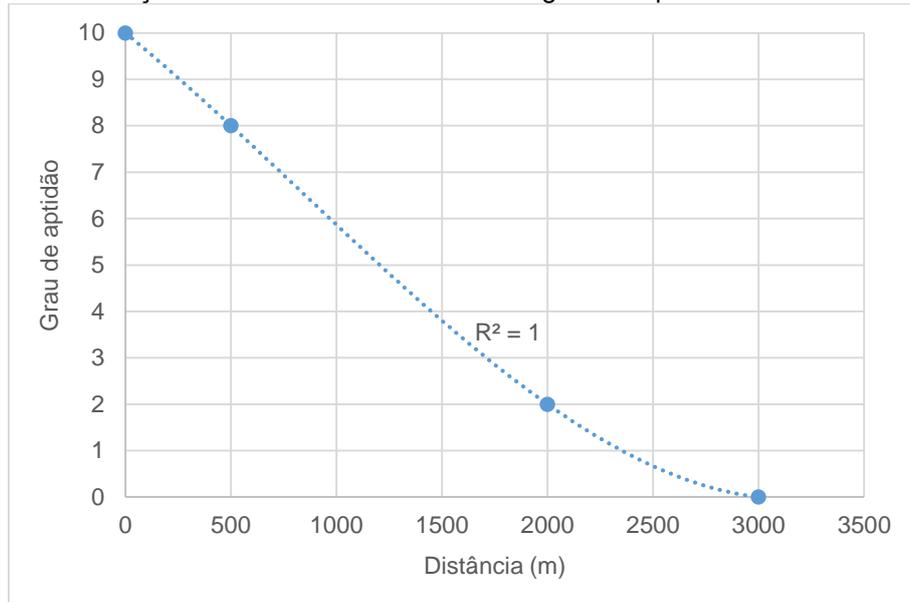
O processo de classificação do uso das terras levou em consideração cinco categorias de utilização possíveis, as quais puderam ser diferenciadas de acordo com as colorações das diferentes bandas da imagem de satélite, sendo elas: solos expostos, condição considerada como ideal, valorada como 10 no processo de normalização, uma vez que nesta condição o solo já se encontra desmatado; áreas de utilização agropastoril, classificadas com aptidão 8, por se tratarem de regiões muito adequadas, fáceis de serem desapropriadas e sem impacto significativo para o meio ambiente; áreas de matas e florestas, situação qualificada como tolerável, sendo atribuídos 2 pontos de aptidão, uma vez que a utilização deste locais, embora possível, seja dificultado por motivos como a necessidade de desmatamento e de liberações de órgãos ambientais; áreas urbanas, entendidas como inadequadas devido à poluição (visual, sonora, ambiental) gerada nos arredores do aterro; e áreas hidrográficas, também classificadas como inadequadas.

Com base nesta classificação, embasada no trabalho de Biluca (2017), foi possível, então, se traçar o mapa temático normalizado de uso das terras.

3.3.2.5 *Distância de Estradas*

Na elaboração do mapa temático normalizado de distância de estradas, se fez necessária a determinação de uma função de valor que, como para os demais indicadores em que a ferramenta foi utilizada, foi delineada com base em parâmetros de outros autores. Neste caso, foram consideradas informações usadas nas pesquisas de Picolo (2011) e Ding, Zhu, *et al.* (2020).

Desta forma, considerou-se que a situação ideal para implantação do aterro de RCD se dá em áreas que margeiam estradas existentes, por demandarem de menores investimentos com infraestruturas de acesso. Por outro lado, regiões que distam mais que 3000 metros de vias receberam a classificação de inadequadas. Os pontos de inflexão delineados foram as distâncias de 500 e 2000 metros, respectivamente, dispostos nas classes “muito adequado” e “tolerável” e valorados com graus de aptidão 8 e 2, nesta ordem. A partir desta classificação, foi possível se traçar o gráfico apresentado na Figura 28, o qual conta com a linha de tendência traçada a partir das considerações expostas.

Figura 28 – Correlação entre distância de estradas e grau de aptidão de distância de estradas

Fonte: Autor, 2021

A curva traçada pela interpolação dos pontos predefinidos consistiu no gráfico de uma equação de terceiro grau com ajuste perfeito quanto ao coeficiente de determinação (igual a um), uma vez que foi delineada a partir de quatro pontos iniciais. A função de valor obtida é a apresentada na Equação 04:

$$f(x)_{est} = \frac{8 * 10^{-10}}{3} x^3 - \frac{20 * 10^{-7}}{3} x^2 - \frac{112 * 10^{-4}}{3} x + 10 \quad (Eq. 04)$$

Na Equação 04, o valor de entrada (x) é a distância, em metros, de cada ponto do território em estudo, em relação à estrada existente mais próxima. O domínio da função de valor delineada no gráfico da Figura 28 é o intervalo [0, 3000 m], equivalentes às condições de aptidão ideal e inadequada, respectivamente. Os valores de saída são os dados normalizados (adimensionais).

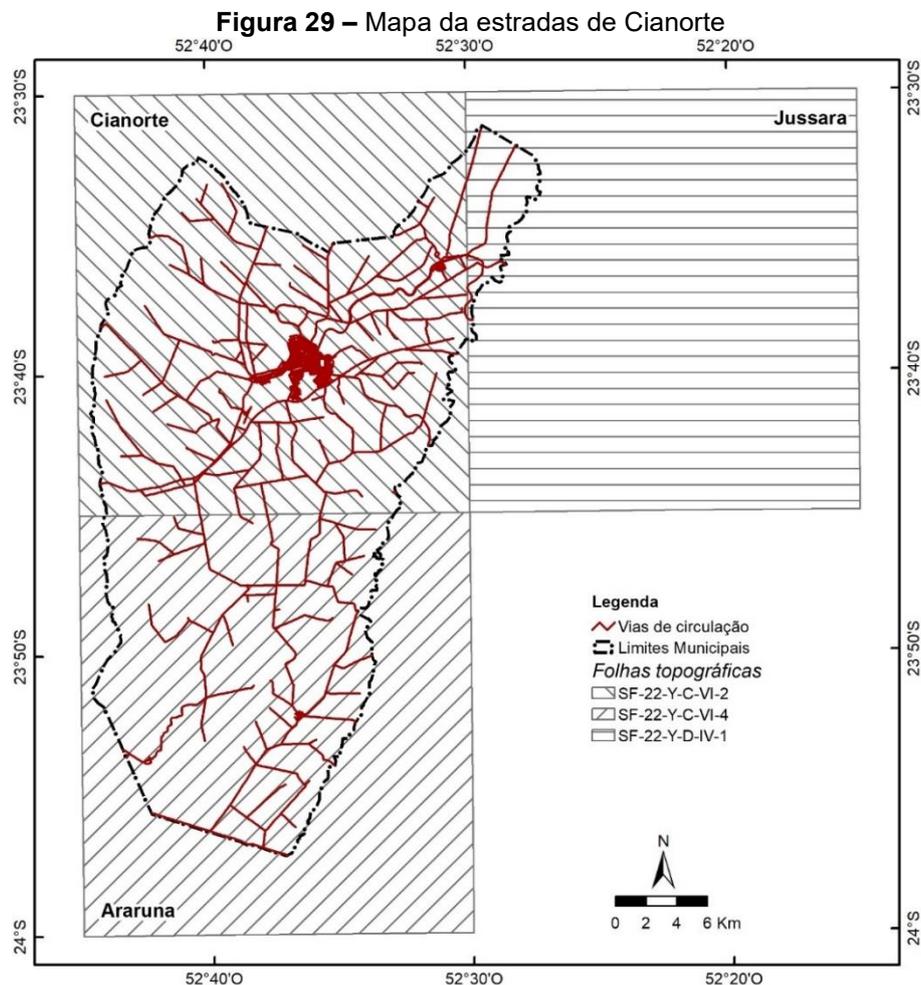
A transposição dos valores intermediários normalizados para os mapas temáticos foi realizado a partir de uma reclassificação das distâncias de acordo com suas aptidões, variando de 0 a 10, calculadas a partir da função de valor. Pela equação, foram determinados os limítrofes inferiores de cada intervalo. Desta forma, todos os *pixels* do mapa tiveram seus valores de distância de estradas normalizados, conforme a adequabilidade de implantação de aterro de RCD, de acordo com a Tabela 04.

Tabela 04 – Normalização dos valores de distância de estradas conforme grau de aptidão para aterros de RCD

Distância	Valor
0 a 250 m	10
250 a 500 m	9
500 a 740 m	8
740 a 970 m	7
970 a 1200 m	6
1200 a 1450 m	5
1450 a 1700 m	4
1700 a 2000 m	3
2000 a 2350 m	2
2350 a 3000 m	1
> 3000 m	0

Fonte: Autor, 2021.

A partir da determinação dos intervalos normalizados, o mapa de estradas obtido a partir de três folhas topográficas distintas disponibilizadas pelo IBGE, apresentado na Figura 29, pôde ser reclassificado conforme a normalização.



Fonte: IBGE, 2021

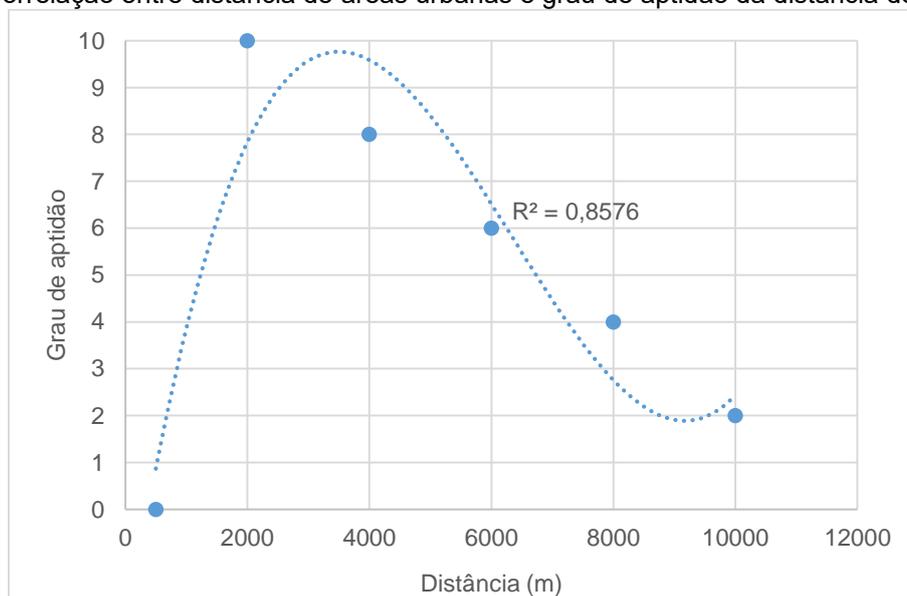
3.3.2.6 Distância de Áreas Urbanas

O aspecto social contemplado na pesquisa foi o de distância de áreas urbanas. Nesta vertente, a implantação de aterros de RCD deveria acontecer tão distante quanto possível de locais urbanizados, de modo a reduzir o risco de disseminação de agentes patológicos, bem como a poluição ambiental, visual e sonora.

Contudo, o ponto de vista social deste critério confronta diretamente com o aspecto econômico, uma vez que implantar aterros distantes dos polos geradores (que são as cidades) implica em maior custo operacional para a disposição do resíduo.

Neste sentido, com base em tais entendimentos, bem como nas exposições da ABNT NBR 13896:1997 e dos trabalhos de Biluca (2017) e de Ding, Zhu, *et al.* (2020), foram realizadas as seguintes considerações para a delimitação da função de valor do indicador: admitiu-se como condição de distanciamento mínimo 500 metros da área urbana para implantação do aterro, sendo classificados todos os pontos com distâncias inferiores, ou inseridos dentro do perímetro urbano, como inadequados. O distanciamento considerado ideal, com base nos requisitos econômicas e ambientais, foi o de 2000 m, ao qual foi atribuído o grau de aptidão 10. A partir deste valor, a condição de aptidão se deu reduzindo-se duas classes a cada acréscimo de 2000 metros à distância ideal, ou seja, atribuiu-se o valor 8 para distanciamento de 4000 m, 6 para 6000 m, e assim sucessivamente, nos moldes do realizado por Biluca (2017), até atingir a classe denominada tolerável. A distribuição dos pontos foi a mostrada no gráfico da Figura 30.

Figura 30 – Correlação entre distância de áreas urbanas e grau de aptidão da distância de áreas urbanas



Fonte: Autor, 2021

A partir da definição dos pontos de aptidão preestabelecidos, foi possível traçar, com o auxílio do *software* Microsoft Office Excel® 2018, a linha de tendência do tipo polinomial de terceiro grau mostrada na Figura 30. A equação da curva em questão, então, foi definida como a função de valor correspondente ao indicador, equivalente à apresentada na Equação 05.

$$f(x)_{urb} = 8,6139 * 10^{-11}x^3 - 1,6366 * 10^{-6}x^2 + 8,2841 * 10^{-3}x - 2,8767 \quad (Eq. 05)$$

Como se observa, a equação obtida possui coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,8576. É válido destacar que este valor seria maior se fosse utilizada uma função polinomial de quarto ou quinto grau. Contudo, as curvas geradas por tais equações apresentariam pontos de inflexão inconsistentes do ponto de vista de aptidão para implantação de aterros.

Para a função de valor do indicador em questão, o dado de entrada (x) é a distância, em metros, de cada *pixel* ao perímetro urbano traçado, por análise visual, a partir da imagem de satélite mostrada na Figura 27. O domínio da função de valor delimitada é o intervalo [500 m, 10000 m]. Os valores de saída são os dados normalizados (adimensionais).

A transposição dos valores normalizados para o mapa temático correspondente foi realizado a partir da reclassificação das distâncias de acordo com suas aptidões, em classes variando de 0 a 10, calculadas a partir da função de valor de terceiro grau obtida. Pela equação, foram determinados os limítrofes superiores de cada intervalo, até o grau de aptidão valorado como 8 (muito adequado). Para todos os valores maiores que 8, correspondente ao intervalo entre 2100 e 5200 m, foi atribuída a classificação ideal, com aptidão máxima (10 pontos). Todos os pontos com distâncias superiores a 8700 m do perímetro da área urbana foram classificados com adequabilidade tolerável, sendo atribuído dois pontos de aptidão, uma vez que a implantação de um aterro a uma distância elevada da área urbana, embora torne a operacionalização mais cara, não é impossível de ser realizada. Com base nestas considerações, todos os *pixels* do mapa tiveram seus valores de distância de áreas urbanas normalizados, conforme grau de aptidão à instalação de aterro de RCD, nos termos da Tabela 05.

Tabela 05 – Normalização dos valores de distância de áreas urbanas conforme grau de aptidão para aterros de RCD

Distância	Valor
< 500 m	0
500 a 550 m	1
550 a 700 m	2
700 a 850 m	3
850 a 1000 m	4
1000 a 1200 m	5
1200 a 1500 m	6
1500 a 1700 m	7
1700 a 2100 m	8
2100 a 5200 m	10
5200 a 5700 m	8
5700 a 6200 m	7
6200 a 6700 m	6
6700 a 7200 m	5
7200 a 7800 m	4
7800 a 8700 m	3
> 8700 m	2

Fonte: Autor, 2021.

Concluída a normalização dos dados, foi possível, então, traçar o mapa temático para o indicador “distância de áreas urbanas”.

3.3.3 Determinação das Áreas Inadequadas

Durante o processo de normalização dos indicadores, diversas condições foram consideradas inadequadas para a utilização das áreas na implantação de aterros de RCD. Para evitar que estes locais fossem considerados na análise multicriterial, foi elaborado um mapa temático específico, onde todos os *pixels* considerados inadequados em algum mapa temático foram agrupados.

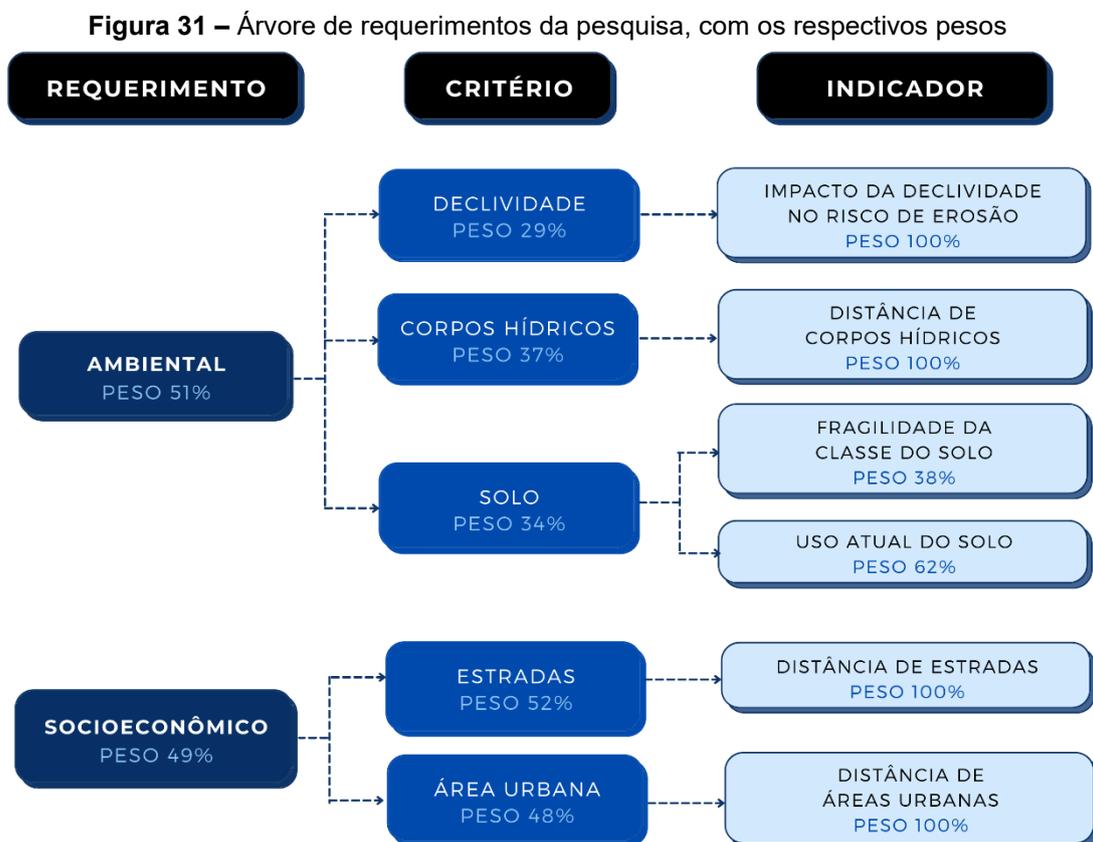
3.4 PESOS DOS CRITÉRIOS

Para que o processo de análise multicriterial pudesse ser finalizado, foi necessário determinar os pesos a serem utilizados em cada um dos indicadores. Embora, na concepção da metodologia MIVES, esta etapa seja realizada utilizando-se de AHP, nesta

pesquisa optou-se pela método de determinação direta de importâncias a partir da consulta a especialistas, por ser mais simples de ser utilizado. A partir da aplicação do formulário apresentado no Apêndice A a pesquisadores e profissionais com conhecimento em gestão e gerenciamento de resíduos de construção e demolição, foi realizada a média aritmética dos valores atribuídos, considerando-se todas as respostas.

Na etapa de composição dos pesos, foram consultados, ao todo, dez especialistas, sendo 60% deles pesquisadores e profissionais da área acadêmica, enquanto os outros 40% se dividiam entre engenheiros dos setores público (20%) e privado (20%). O objetivo da consulta a profissionais que atuassem em áreas distintas se explica na necessidade de considerar os pontos de vistas dos diferentes setores envolvidos na gestão do RCD. A relação completa dos especialistas consultados, bem como um breve descritivo sobre suas atuações, é apresentado no Apêndice B.

A partir das médias obtidas para as importâncias a partir das respostas ao formulário (apresentadas no Apêndice C), foi calculado o peso atribuída a cada indicador nos termos propostos pela metodologia MIVES, tendo sido estes calculados de modo a somarem 100% dentro de cada ramificação (critério ou requerimento). As importâncias estabelecidas pelo processo baseado em MIVES foram as apresentadas na Figura 31.



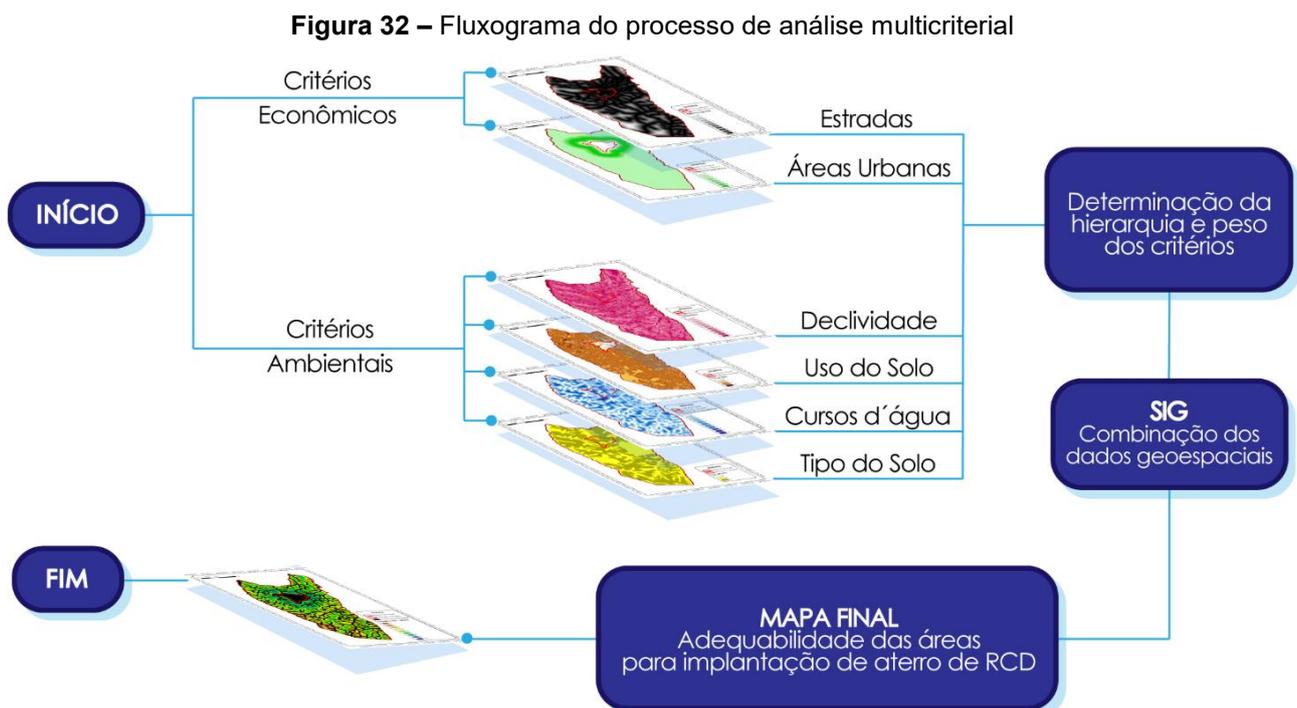
Fonte: Autor, 2021

Uma vez delimitados os pesos para cada indicador, critério e requerimento, foi possível se realizar, então, a análise multicriterial.

3.5 ANÁLISE MULTICRITERIAL

A MCDA busca escolher uma entre várias alternativas, as quais, na engenharia, podem se referir a tipos de projetos, opções de traçado, tecnologias, dentre outras. No caso especial em que a metodologia é combinada a SIG, as alternativas passam a ser as informações espaciais, representadas pelos *pixels*. Desta forma, para o caso deste trabalho, onde se busca avaliar áreas para implantação de aterro para resíduos de construção e demolição, cada *pixel* é uma área alternativa para a instalação do empreendimento, e sua respectiva adequabilidade será representada por um valor numérico, denominado valor (ou grau) de aptidão.

Neste trabalho, todos os seis fatores normalizadas de acordo com o grau de aptidão para implantação de aterro de RCD, em um intervalo entre 0 (pior cenário) e 10 (melhor cenário), tiveram suas informações combinadas de acordo com os pesos atribuídas pelos especialistas, dentro do *software* ArcGIS® 10.8. O fluxograma apresentado na Figura 32 representa esta etapa da pesquisa.



Fonte: Adaptado de ŞENER; ŞENER; *et al.*, 2010

Para avaliar o impacto da atribuição de pesos aos indicadores, nos moldes do MIVES, além da análise multicriterial realizada com as importâncias indicadas na Figura 31, efetuou-se, ainda, a sobreposição de informações considerando todos os fatores utilizados no estudo com pesos equivalentes. Em outras palavras, foram estabelecidos dois mapas finais de aptidão das áreas para implantação de RCD: um deles, considerando todos os critérios como hierarquicamente análogos, com pesos iguais, e o segundo com pesos determinados por especialistas e com sua atribuição aos indicadores, critérios e requerimentos, baseado em MIVES. Para ambas as condições, foram desconsiderados os pontos que apresentam ao menos uma condição inadequada, para qualquer das variáveis.

Todos os mapas temáticos e mapas finais com combinação das informações são apresentados na seção 04 deste trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MAPAS TEMÁTICOS NORMALIZADOS

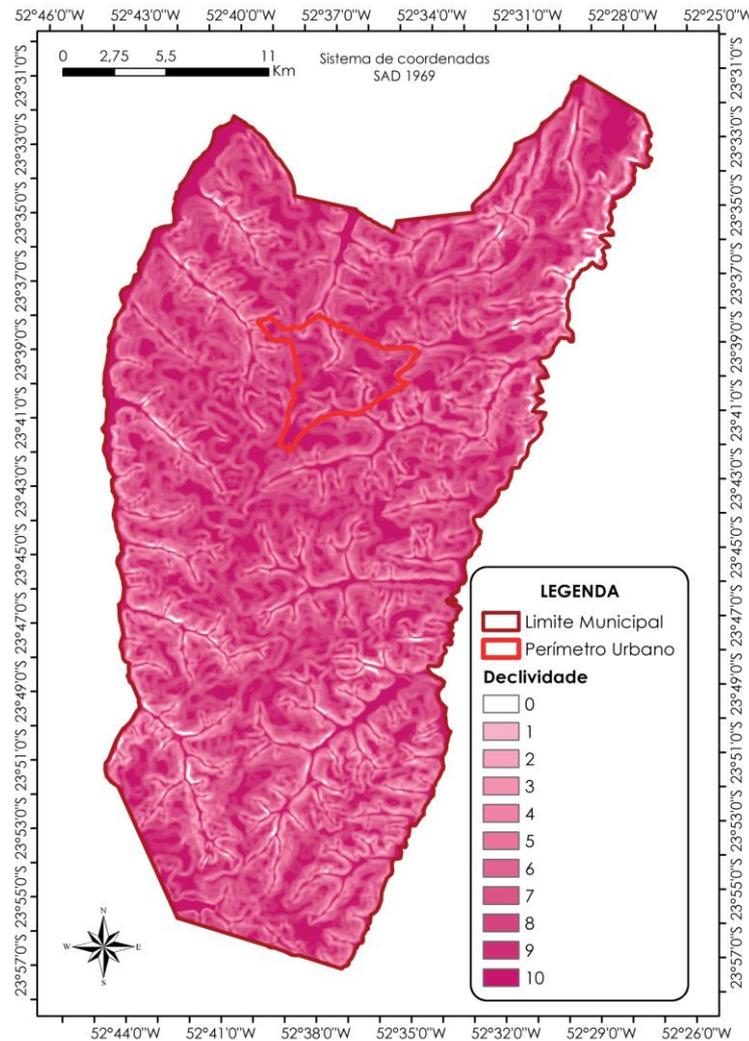
A normalização de informações é um procedimento fundamental no processo de análise multicriterial para tomada de decisões, uma vez que permite que informações de diferentes tipos (e escalas) possam ser comparadas e sobrepostas. Neste estudo, os diferentes fatores considerados na MCDA foram submetidos a um processo de normalização em classes variando de 0 a 10 de acordo com a aptidão de determinada condição para implantação de aterro de resíduo de construção e demolição. A análise multicriterial utilizada nesta pesquisa buscou identificar áreas, representadas pelos *pixels* nos mapas do tipo *raster*, que possuísem condições suficientemente adequadas, em cada mapa temático individual, para receber aterros de RCD.

Via de regra, uma área que apresente condições favoráveis de aptidão para os diversos critérios considerados, conseqüentemente possui um elevado grau de aptidão quando estes mapas são combinados.

Neste tópico, são apresentados os mapas temáticos normalizados obtidos para cada fator considerado no estudo, bem como comentários e considerações sobre os mesmos.

4.1.1 Declividade

A partir da normalização dos valores de declividades, através do qual estas foram classificadas em graus de aptidão de 0 a 10, nos termos da Tabela 02, foi possível elaborar o mapa temático apresentado na Figura 33.

Figura 33 – Valores de declividades normalizados para Cianorte

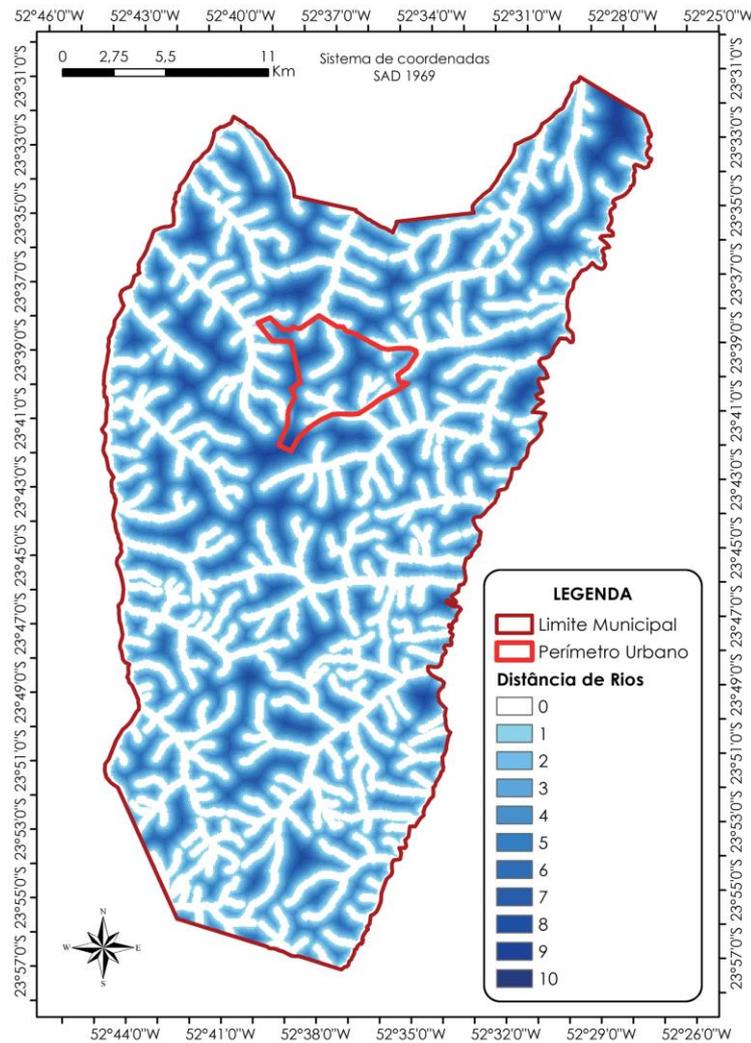
Fonte: Autor, 2021

Da análise da imagem, percebe-se que o município de Cianorte apresenta, de uma forma geral, declividades pouco acentuadas. Nota-se que os locais com relevos mais íngremes se localizam próximos dos cursos d'água, onde é comum a existência de depressões. Observa-se ainda que, mais ao sul, na região mais distante do perímetro urbano, o mapa apresenta colorações mais claras, significando que a média de declividades nesta região é mais acentuada, tornando-a menos propensa a receber aterros de RCD.

4.1.2 Distância de Corpos Hídricos

A Figura 34 apresenta o mapa temático normalizado de distância de corpos hídricos elaborado a partir da delimitação das classes mostrada na Tabela 03.

Figura 34 – Classes normalizadas de distâncias de corpos hídricos em Cianorte



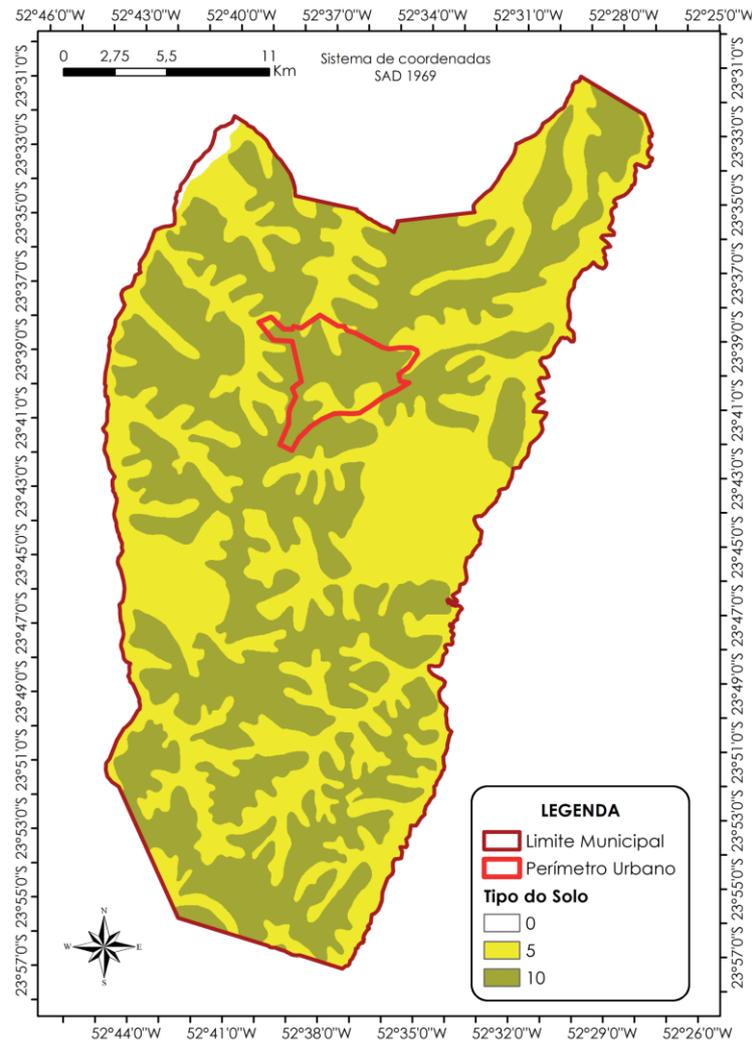
Fonte: Autor, 2021

Da análise do mapa, percebe-se que existe uma parcela relevante de áreas superficiais classificadas como inadequadas. Em virtude da grande quantidade de corpos hídricos existentes na região, foi atribuída a 279,90 km² da extensão territorial do município (o que equivale a 34,5% do total) a mais baixa classificação de aptidão, uma vez que estas áreas se localizam a 200 m ou menos de algum rio ou riacho, principais tipos de hidrografias encontrados no município.

4.1.3 Tipo do Solo

Para a normalização das informações de tipos de solo, foram atribuídos valores numéricos de aptidão a estas, de acordo com seus graus de fragilidade. O mapa temático elaborado a partir desta reclassificação é o apresentado na Figura 35.

Figura 35 – Classes normalizadas de tipos do solo em Cianorte



Fonte: Autor, 2021

Da análise do mapa temático normalizado de tipos de solos, percebe-se que existe uma predominância de áreas compostas por latossolos vermelhos (52,5% do total), condição entendida como ideal para a implantação de aterros de RCD, uma vez que solos deste tipo possuem pequena fragilidade e suscetibilidade a erosão.

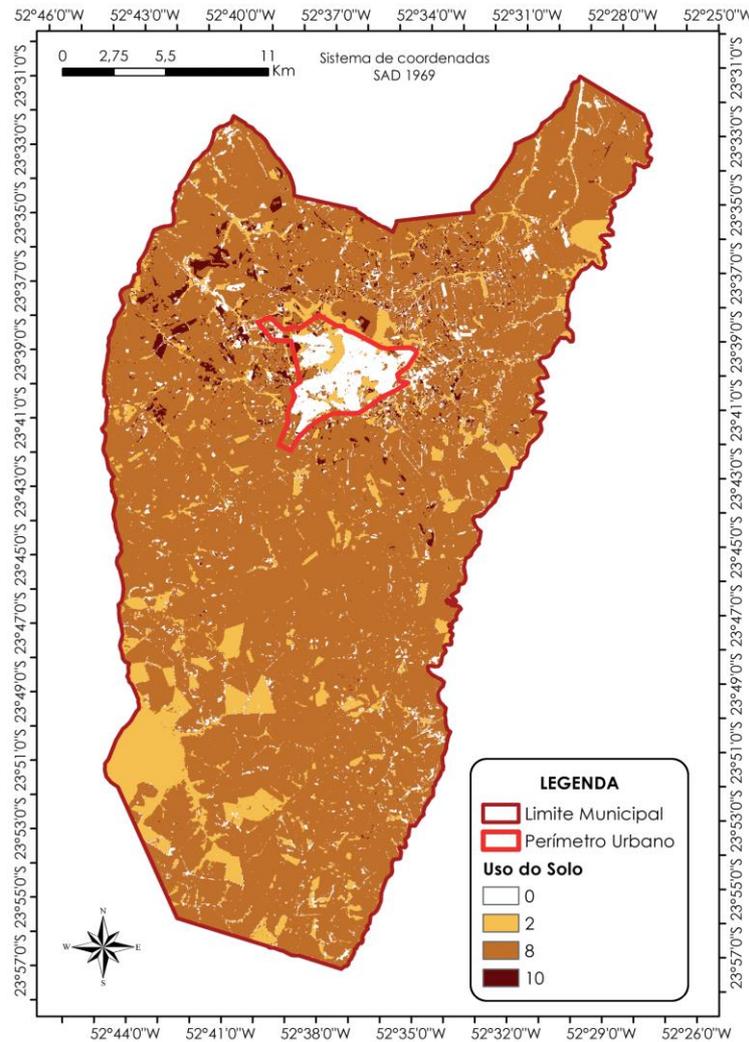
De uma forma geral, a parcela do território classificada como inadequada para este indicador correspondendo a somente 0,4% do território, e se refere à região onde existe gleissolo, localizada na extremidade noroeste do município.

4.1.4 Usos das Terras

Para a normalização das diferentes classes de usos das terras, foram atribuídos valores numéricos de aptidão a estas, relacionados aos impactos ambientais e

sociais de implantação de aterro de RCD nestas áreas. O mapa temático elaborado a partir do processo de classificação supervisionadas das bandas espectrais da imagem de satélite é o apresentado na Figura 36.

Figura 36 – Classes normalizadas de uso das terras em Cianorte



Fonte: Autor, 2021

Da análise da imagem, percebe-se a predominância de uso das terras do município classificados com aptidão 8, que correspondem às áreas utilizadas para fins agropastoris, e que compõem mais de 80% da superfície. Nota-se, também, que as regiões classificadas como inadequadas (aptidão 0) no mapa gerado equivalem, quase que integralmente, às áreas urbanas, haja vista que não existem, na área de estudo, rios de grande magnitude.

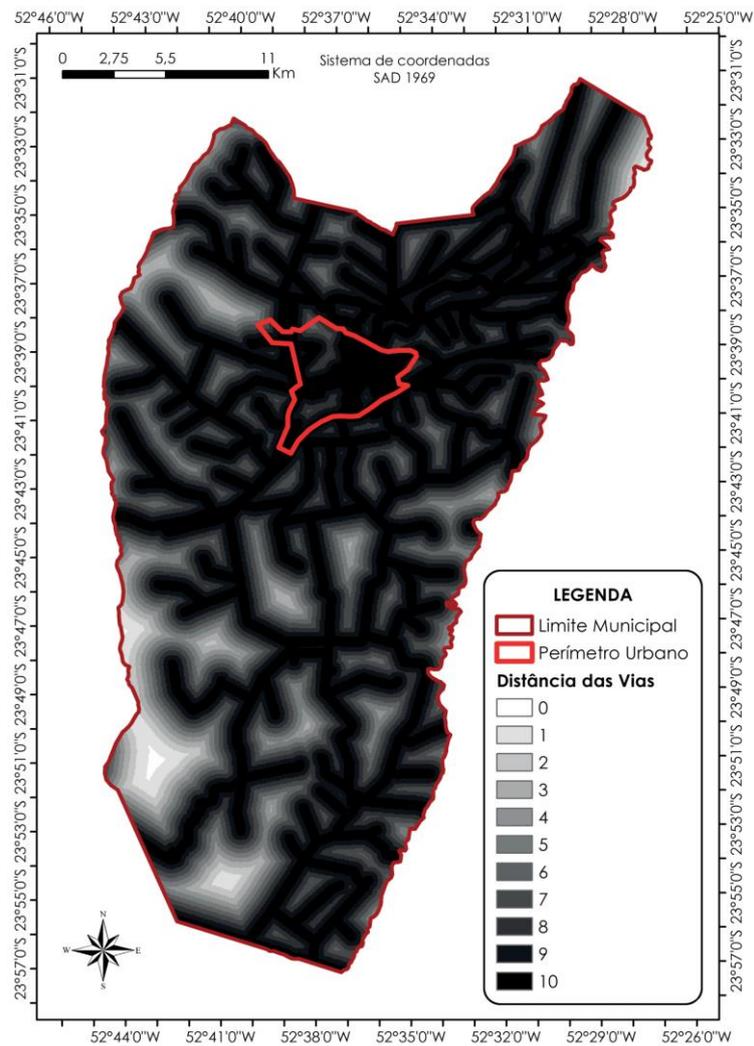
É possível observar, da análise da Figura 36, que o mapa temático, por ter sido elaborado a partir de uma processo de classificação supervisionada interativa, possui

alguns pontos de imprecisão na reclassificação. Tais incorreções são comuns no método e foram desconsideradas para este estudo.

4.1.5 Distância de Estradas

A Figura 37 apresenta o mapa temático normalizado de distância de estradas elaborado a partir da determinação dos intervalos de aptidão, conforme Tabela 04.

Figura 37 – Classes normalizadas de distância de estradas em Cianorte



Fonte: Autor, 2021

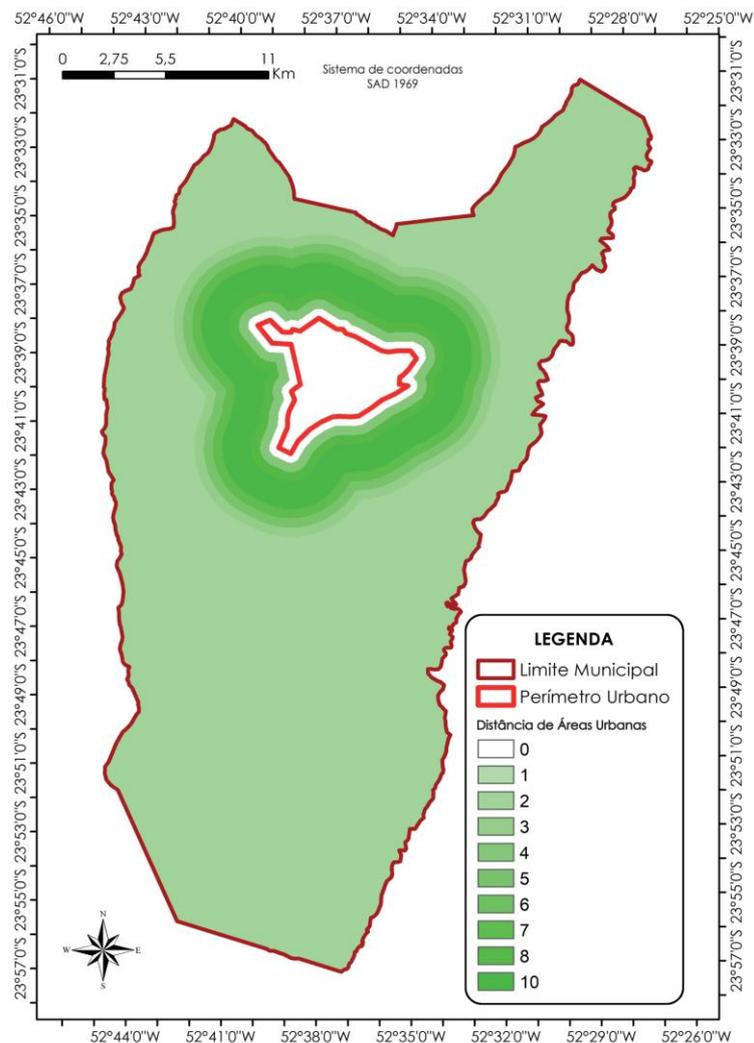
Percebe-se, da análise da Figura 37, uma concentração mais acentuada de vias situadas próximas à área urbana de Cianorte, bem como a nordeste do município. Ao todo, existe uma predominância de áreas classificadas com graus de aptidão elevados, entre 8 e 10 (muito adequado a ideal), que correspondem a 577,90 km², ou 71,2% do

território. Por outro lado, apenas 0,1% das áreas foram consideradas inadequadas por distarem mais de 3000 m de vias existentes.

4.1.6 Distância da Área Urbana

No que se refere à reclassificação dos pixels de acordo com a distância de áreas urbanas, a mesma foi realizada a partir da delimitação de intervalos apresentada na Tabela 05, considerando os caracteres econômico e social do critério. O mapa temático desenvolvido para o indicador é o apresentado na Figura 38.

Figura 38 – Classes normalizadas de distância da área urbana em Cianorte



Fonte: Autor, 2021

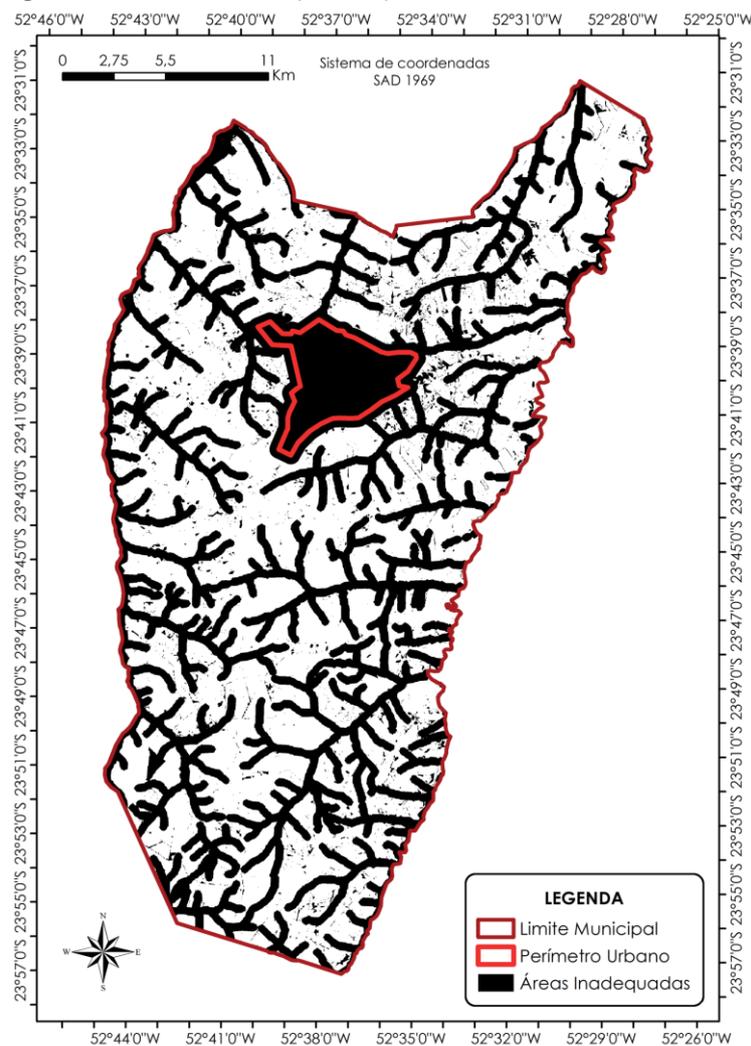
Observa-se que a condição ideal considerada para este indicador resultou em um “anel” revestindo o perímetro urbano do município. A condição adotada como ideal

foi aquela em que o aterro é implantado suficientemente distante da área urbana para minorar os impactos relacionados à poluição ambiental, visual e sonora, mas sem onerar significativamente a operacionalização do aterro.

4.1.7 Áreas Inadequadas

A partir do traçado de cada mapa temático normalizado, foi possível realizar a identificação das áreas inadequadas para cada um deles, o que permitiu que estas fossem separadas em um único mapa específico de áreas inadequadas, apresentado na Figura 39.

Figura 39 – Áreas inadequadas para aterro de RCD em Cianorte



Fonte: Autor, 2021

As condições inadequadas consideradas para os indicadores são aquelas que impossibilitam ou inviabilizam a implantação de aterro de RCD em uma determinada área. Por conta disso, tais regiões precisaram ser desconsideradas da análise multicriterial.

A partir da análise da Figura 39, foi possível identificar 329,40 km² de áreas inadequadas para instalação de aterros de RCD, o que equivale 40,58% da extensão territorial do município de Cianorte. Percebeu-se, ainda, que os principais fatores para classificação de uma área como inadequada foram a sua proximidade de corpos hídricos ou o fato desta estar inserida ou muito próxima da área urbana. Fatores como existência de solo frágil, declividade muito acentuada ou distância elevada de estradas tiveram impacto menos significativos.

4.2 MAPAS DE APTIDÃO DAS ÁREAS

A partir da combinação dos mapas temáticos normalizados foi possível avaliar, *pixel a pixel*, as condições de aptidão das áreas do território de Cianorte ao recebimento de resíduos inertes de construção e demolição.

Os tópicos seguintes apresentam as considerações e os resultados obtidos na avaliação das áreas por duas metodologias distintas de análise multicriterial: (i) considerando as importâncias de cada um dos critérios igualmente; e (ii) atribuindo pesos aos indicadores, critérios e requerimentos, baseado nas opiniões de especialistas e no que propõe o método MIVES.

O uso de duas metodologias permitiu que fossem realizadas análises distintas, e possibilitou que fosse avaliada a possibilidade de integração de MIVES a análises e tomadas de decisão por multicritério, baseadas em SIG.

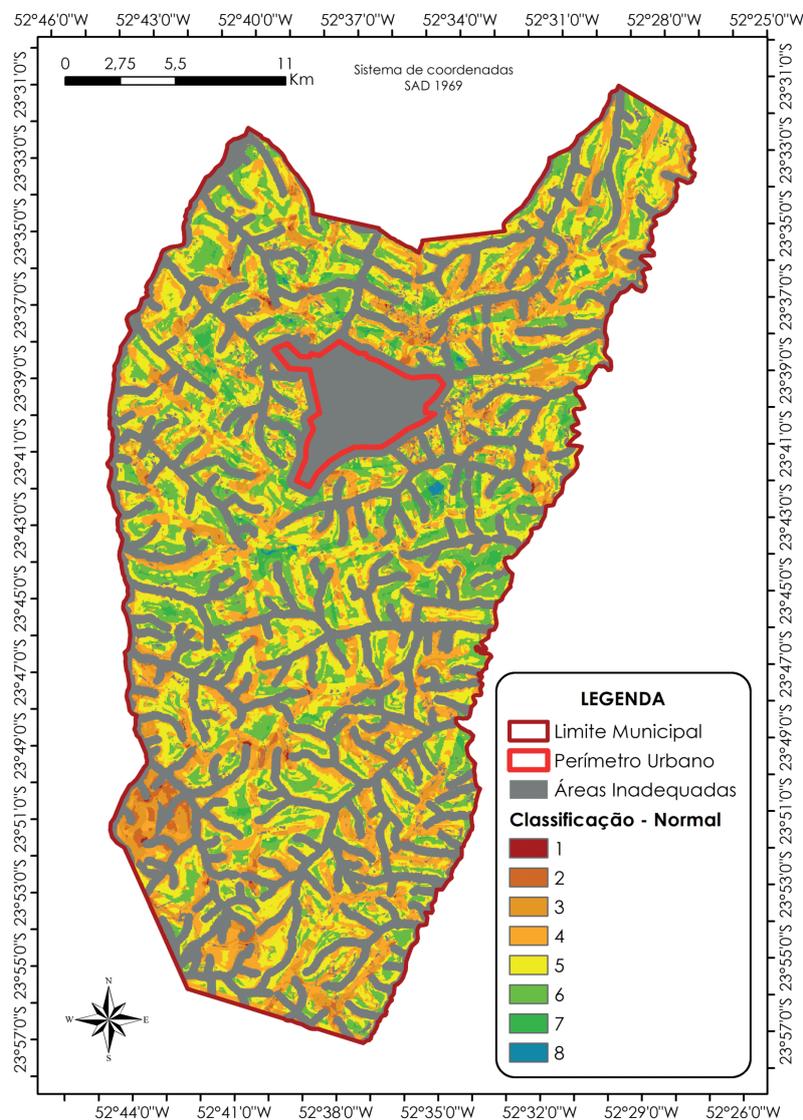
4.2.1 Determinação pelo Método de Pesos Equivalentes

A partir dos mapas temáticos normalizados, foi determinado o mapa final de adequabilidade das áreas para implantação de aterro de RCD, apresentado na Figura 40. O mapa em questão apresenta a classificação das áreas em graus de aptidão que variam de 0 a 10, que significam que, quanto mais próximo de 10 é o valor atribuído à um determinado *pixel*, mais propenso a receber o aterro é aquele local.

Por considerar os pesos equivalentes para cada um dos seis critérios

analisados, a determinação do grau de aptidão se deu por meio média ponderada entre os critérios, atribuindo-se o peso de 1/6 para cada um deles (o que, na prática, corresponde a uma média aritmética entre os fatores). O arredondamento do valor calculado para um número inteiro foi realizado pelo próprio *software* ArcGIS® 10.8 no momento da análise. As áreas consideradas inadequadas foram sobrepostas e os graus de aptidão obtidos pelo processo de cálculo para estes locais foram desconsiderados. A Figura 40 apresenta o mapa final obtido, que pode ser analisado em escala ampliada no Apêndice D.

Figura 40 – Mapa final de aptidão de áreas para implantação de aterro de RCD pelo método de pesos equivalente



Fonte: Autor, 2021

Da análise do mapa apresentado na Figura 40, é possível notar uma grande heterogeneidade entre regiões vizinhas, o que dificulta a identificação de padrões no traçado final e, conseqüentemente, a tomada de decisão.

A Tabela 06 apresenta a distribuição percentual de cada grau de aptidão para o método de pesos equivalentes.

Tabela 06 – Distribuição percentual dos graus de aptidão no mapa final por pesos equivalentes

Região em Análise		Área (km ²)	Porcentagem da Área do Município (%)
Extensão Territorial (km ²)		811,67	100,00
Áreas Inadequadas (km ²)		329,40	40,58
GRAU DE APTIDÃO (método de pesos equivalentes)	1	0,55	0,07
	2	8,42	1,04
	3	44,41	5,47
	4	117,75	14,51
	5	176,20	21,71
	6	118,40	14,59
	7	15,77	1,94
	8	0,77	0,09

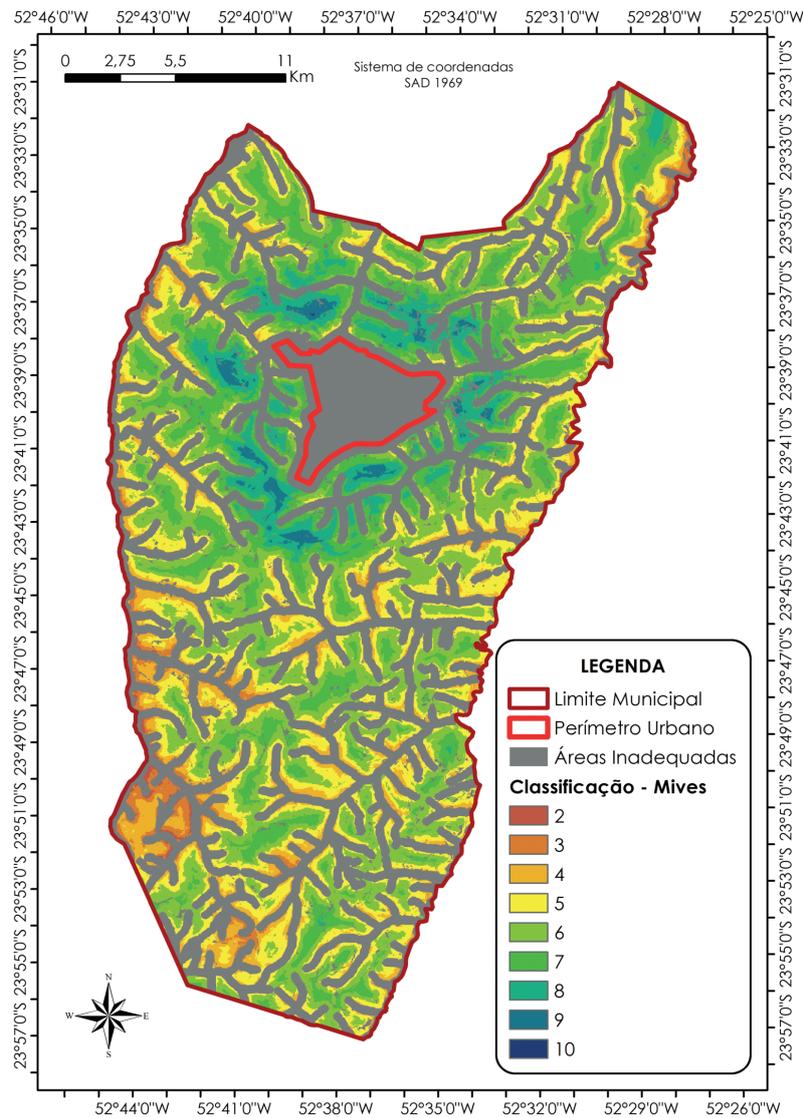
Fonte: Autor, 2021

Se observa que o valor máximo calculado para os graus de aptidão, pelo método de pesos equivalentes, foi de 8, o que significa que nenhum local teve classificação análoga a ideal para avaliação, quando utilizada a referida metodologia.

4.2.2 Determinação baseada em MIVES

Além do mapa de aptidão elaborado para a condição de equivalência de pesos, foi determinado outro mapa final, desta vez adotando-se os pesos obtidos a partir da consulta a especialistas, com distribuição dentro de cada ramificação (critério e requerimento), com base nos valores indicados na Figura 31. Da mesma forma, o mapa final obtido por este método, baseado em MIVES e apresentado na Figura 41 (e em escala ampliada no Apêndice E), avalia as áreas representadas por *pixels*, de acordo com seus graus de aptidão para implantação de aterro de RCD, em valores que variam de 0 a 10, da pior para a melhor condição, respectivamente. Neste mapa, as áreas classificadas como inadequadas também foram desconsideradas por meio da sobreposição de grau de aptidão 0 aos *pixels* que apresentavam tal condição.

Figura 41 – Mapa final de aptidão de áreas para implantação de aterro de RCD por distribuição dos pesos baseada em MIVES



Fonte: Autor, 2021

A partir da análise da Figura 41, é possível constatar que o mapa gerado apresenta maior homogeneidade entre regiões vizinhas quando comparado àquele delineado pelo método de pesos equivalentes. Aqui, as variações de graus de aptidão entre regiões vizinhas ocorrem de forma mais suave, facilitando a tomada de decisão. Nesta metodologia, a classificação dos graus de aptidão do mapa final variou entre 2 e 10 pontos. O somatório de áreas de cada grau de aptidão obtido, bem como suas representações proporcionais, são apresentadas na Tabela 07.

Tabela 07 – Distribuição percentual dos graus de aptidão no mapa final baseado em MIVES

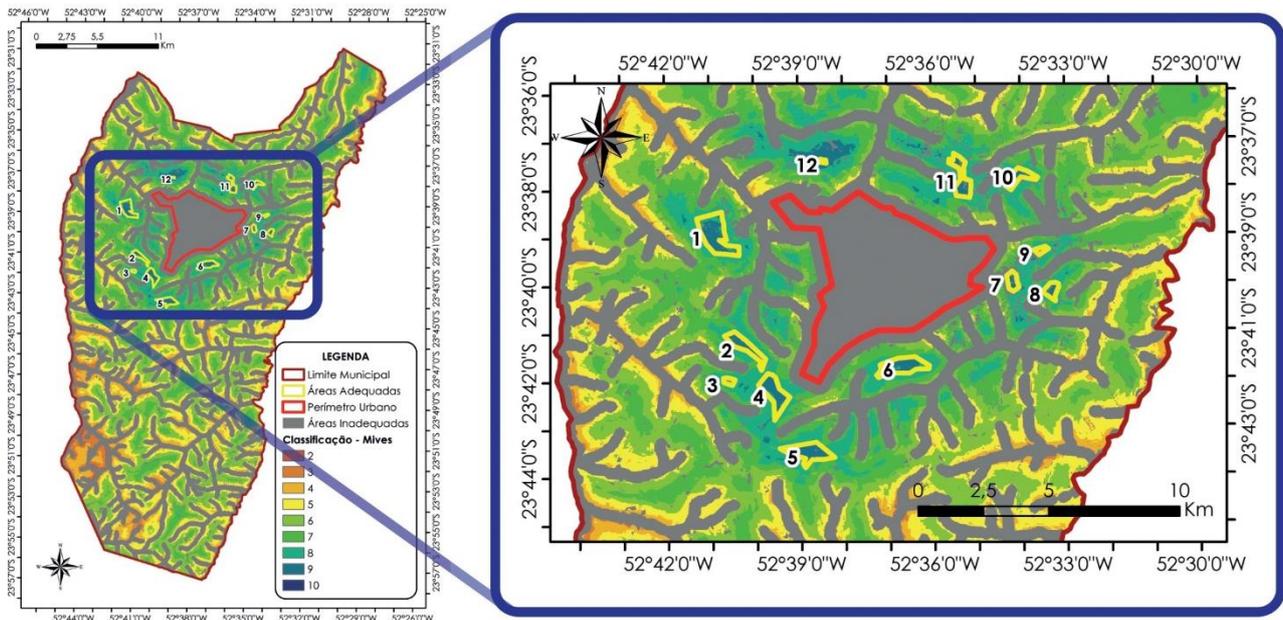
Região em Análise		Área (km ²)	Porcentagem da Área do Município (%)
Extensão Territorial (km ²)		811,67	100,00
Áreas Inadequadas (km ²)		329,40	40,58
GRAU DE APTIDÃO (método baseado em MIVES)	1	0	0,00
	2	1,13	0,14
	3	9,56	1,18
	4	42,77	5,27
	5	119,33	14,70
	6	167,34	20,62
	7	100,52	12,38
	8	34,38	4,24
	9	7,22	0,89
	10	0,02	0,00

Fonte: Autor, 2021

Pela Figura 41, é possível se observar, ainda, que as piores condições de aptidão foram encontradas nas proximidades de corpos hídricos, devido à baixa classificação atribuída aos fatores distância de corpos hídricos e declividade, uma vez que os terrenos próximos aos rios tendem a ter relevo mais acentuado. A região sudoeste do município também apresentou áreas de baixa aptidão, principalmente devido à elevada quantidade de matas e pequena concentração de estradas naquela região.

Em contrapartida, os locais com melhores classificações se concentraram nos arredores da área urbana, em compatibilidade com o “anel” formado no mapa temático deste indicador, discutido no tópico 4.1.6. Desta forma, na Figura 42, são apresentadas doze regiões com as melhores condições de adequabilidade para implantação de aterro de RCD, com base nos indicadores e nas condições consideradas no estudo.

Figura 42 – Detalhe das regiões com elevado grau de aptidão para implantação de aterro de RCD



Fonte: Autor, 2021

A Tabela 08 apresenta informações relevantes acerca das regiões melhores classificadas quanto à aptidão para implantação de aterros de RCD, como coordenadas geográficas e coordenadas UTM do ponto central de cada região, bem como área total destes locais.

Tabela 08 – Informações geográficas das regiões com melhor aptidão para implantação de aterro de RCD

REGIÃO	GRAU DE APTIDÃO	COORD. UTM (centro, fuso 22)		COORD. GEOGRÁFICAS (latitude/longitude)		ÁREA (km ²)
		X (m)	Y (m)	X (° decim.)	Y (° decim.)	
1	9	332119	7375228	52,6810° W	23,6490° S	1,39
2	9	330784	7377504	52,6706° W	23,6881° S	0,58
3	9	329660	7379302	52,6767° W	23,7000° S	0,09
4	9	329053	7377970	52,6598° W	23,7044° S	0,84
5	9	335690	7378558	52,6469° W	23,7251° S	0,87
6	9	341398	7381475	52,6115° W	23,6954° S	0,89
7	9	339902	7381818	52,5699° W	23,6664° S	0,24
8	9	340995	7383020	52,5553° W	23,6696° S	0,25
9	9	328543	7383615	52,5590° W	23,6556° S	0,09
10	9	340149	7385828	52,5670° W	23,6302° S	0,39
11	9	337941	7385797	52,5887° W	23,6303° S	0,63
12	10	332726	7386740	52,6405° W	23,6239° S	0,02 ⁷
TOTAL						6,28

Fonte: Autor, 2021

⁷ A região 12 possui uma pequena área (0,02 km²) classificada com grau de aptidão máximo. Apesar disso, é circundada por áreas com 9 pontos de aptidão, as quais somam 1,20 km².

No intuito de validar o uso combinado da metodologia MIVES e SIG, foi elaborada a Tabela 09, a qual apresenta as condições de aptidão de cada um dos pontos centrais das doze regiões identificadas como adequadas na Figura 42, para cada um dos seis indicadores considerados nesta pesquisa.

Tabela 09 – Aptidão das regiões para os indicadores considerados, individualmente

INDICADOR	REGIÃO											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Declividade	7	9	10	10	8	10	10	10	9	8	9	10
Distância de corpos hídricos	7	6	4	7	8	7	7	5	6	5	4	7
Tipo do solo	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Uso das terras	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Distância de estradas	10	10	10	9	10	10	10	10	10	9	10	10
Distância da área urbana	10	10	10	8	10	8	8	10	10	10	10	10

Fonte: Autor, 2021

Diante da análise da Tabela 09, é possível constatar que as regiões identificadas como adequadas pela análise multicriterial baseada em MIVES possuem características favoráveis de aptidão quando analisadas em cada mapa temático, individualmente, salvo algumas poucas exceções, assinaladas com fundo avermelhado na respectiva tabela. Esta constatação induz a concluir que a utilização de MIVES combinada a SIG é apropriada.

Ademais, cabe destacar que, em um processo de tomada de decisão de uma dentre as doze áreas com elevado grau de aptidão para implantação de aterro de RCD identificadas, fatores não passíveis de representação na forma de mapas, os quais não foram considerados neste estudo, devem ser levados em consideração. Dentre estes, podem ser citados a vida útil e consequente necessidade de área mínima para o empreendimento, e a possibilidade de aquisição da área pelo poder público, por exemplo. Contudo, os resultados desse estudo permitem que esses fatores sejam considerados especificamente para as áreas selecionadas, permitindo que a análise seja realizada de forma muito mais rápida e precisa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento da indústria da construção tem aumentado consideravelmente a produção de resíduos de construção e demolição e, conseqüentemente, intensificado problemas decorrentes de procedimentos administrativos inapropriados, como o descarte incorreto destes materiais (OSSA; GARCÍA; BOTERO, 2016). Durante o desenvolvimento desta pesquisa, constatou-se que existe um número significativo de estudos sendo desenvolvidos ao redor do mundo que integram SIG à gestão e o gerenciamento dos resíduos provenientes da construção civil, sobretudo em países em desenvolvimento, nos quais a geração do produto é mais acentuada. Tal percepção demonstra a relevância em se considerar informações geoespaciais na elaboração de planos e estratégias sustentáveis de descarte e reaproveitamento do RCD.

Neste sentido, a contribuição científica deste trabalho se dá ao demonstrar a possibilidade de integração entre conceitos da metodologia MIVES com SIG, exemplificado pelo procedimento de avaliação de áreas aptas ao descarte de RCD dentro do território de Cianorte. A utilização de uma árvore de requerimentos característica do MIVES, elaborada a partir da consulta a especialistas acerca da importância de determinados indicadores na escolha de locais para aterro, possibilitou o desenvolvimento de um mapa de aptidão bastante homogêneo e adequado ao auxílio da tomada de decisão, sobretudo quando comparado àquele desenvolvido pelo método de pesos equivalentes. Esta verificação indica que o uso de MIVES integrado a SIG é promissor e pode ser utilizado em diversas áreas para a comparação entre alternativas e a tomada de decisões.

No caso específico da utilização desta metodologia na identificação de áreas para a implantação de aterros para resíduos de construção e demolição, tal uso mostrou-se bastante adequado, uma vez que, a partir da obtenção de um mapa final produto da ponderação de critérios sociais, ambientais e econômicos pertinentes à realidade de cada município, permite-se que a escolha do local de instalação do aterro seja feita de forma justa, precisa.

Entretanto, apesar dos objetivos do trabalho terem sido cumpridos de forma satisfatória, a replicação do estudo em outros municípios com condições inadequadas de gestão do RCD não é tão simples. Conforme atesta Biluca (2017), o uso de análise multicriterial combinada a SIG, embora adequada, implica na dificuldade de obtenção de dados integrados, haja vista que o levantamento, a edição e a adequação dos dados geoespaciais demandam de um longo período de tempo.

O município de Cianorte vem, ao longo dos últimos anos, passando por um processo de crescimento e desenvolvimento urbano. Contudo, a municipalidade não atende o que prevê a legislação no que se refere à gestão dos resíduos de construção e demolição, apresentando deficiências nos processos de disposição, triagem, acomodação e reaproveitamento desta classe de material.

Na busca por uma alternativa para minorar o problema, este estudo possibilitou, a partir da integração de dados geoespaciais relevantes do ponto de vista ambiental e socioeconômico, a identificação de, ao menos, doze regiões com grande aptidão à implementação de aterro de RCD inerte nas proximidades do perímetro urbana principal do município, com áreas variando entre 0,02 km² e 1,38 km². O reconhecimento destes locais, amparado por uma metodologia científica que permitiu a elaboração de mapas temáticos de aptidão das áreas do município para a implantação de aterro de RCD, é um ponto de partida significativo para que o poder público possa desenvolver uma estratégia de descarte adequada do resíduo, de modo a atender a Resolução n° 307/2002 do CONAMA, possibilitando que o material seja reservado para um posterior processo de reciclagem.

REFERÊNCIAS

AGUADO, A. G.; CATANHEDE, M. A. Lógica fuzzy. **Anais...** In: CONGRESSO UNICAMP, Limeira, 2010.

ALMEIDA, J.; ROSA, F. D.; PANDOLFO, A.; BERTICELLI, R.; BRUM, E. M.; MARTINS, M. S. Estudo de viabilidade econômica do uso do agregado de RCD em pavimentação de vias urbanas. **Revista de Engenharia Civil**, Braga, Portugal, v. 54, p. 16-25, março de 2018.

ALZAGHRINI, N.; SROUR, F. J.; SROUR, I. Identifying areas under potential risk of illegal construction and demolition waste dumping using GIS tools. **Waste Management**, Nova York, Estados Unidos, v. 95, p. 139-149, julho de 2019.

AMORIM JUNIOR, L. A. **Classificação e quantificação dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e suas potencialidades de reciclagem ou reutilização em cinco obras de edificação na cidade do Recife**. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Construção Civil - Edificações) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Cabo de Santo Agostinho, PE, 2017.

ARAIZA-AGUILAR, J. A.; GUTIERREZ-PALACIOS, C.; ROJAS-VALECIA, M. N.; NÁJERA-AGUILAR, H. A.; GUTIÉRREZ-HERNÁNDEZ, R. F.; AGUILAR-VERA, R. A. Selection of sites for the treatment and the final disposal of construction and demolition waste, using two approaches: an analysis for Mexico City. **Sustainability**, Basileia, Suíça, v. 11, n. 4077, julho de 2019.

ARULRAJAH, A.; ALI, M. M. Y.; DISFANI, M. M.; HORPIBULSUK, S. Recycled-Glass blends in pavement base/subbase applications: Laboratory and field evaluation. **Journal of Materials in Civil Engineering**, Reston, VA, Estados Unidos, v. 26, julho de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. São Paulo, SP, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 10004: **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, RJ, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 13896: **Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 15113: **Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes: aterros – diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, RJ, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 15115: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: execução de camadas de pavimentação – Procedimentos**. Rio de Janeiro, RJ, 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos**. Rio de Janeiro, RJ, 2004d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. **Relatório: Pesquisa Setorial 2017/2018**. São Paulo, SP, 2020

BARBOSA, U. S.; SALOMÃO, P. E. A.; LAUAR, G. T.; RIBEIRO, P. T. Reutilização do concreto como contribuição para a sustentabilidade na Construção Civil. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, Teófilo Otono, MG, v. 8, p. 383-397, dezembro de 2018.

BHUSHAN, N.; RAI, K. **Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process**. Nova York: Springer. 172 p. 2004.

BIJU, B. P. **Utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) na Indicação de Possíveis Áreas Aptas à Disposição de Resíduos de Construção e de Demolição**. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2015.

BILUCA, J. **Mapeamento e Análise de Áreas de destinação de Resíduos de Construção Civil em Francisco Beltrão – PR**. 2017. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2017.

BILUCA, J.; AGUIAR, C. R.; TROJAN, F. Sorting of suitable areas for disposal of construction and demolition waste using GIS and ELECTRE TRI. **Waste Management**, Nova York, Estados Unidos, v. 114, p. 307-320, 2020.

BLENGINI, G. A.; GARBARINO, E. Resources and waste management in Turin (Italy): the role of recycled aggregates in the sustainable supply mix. **Journal of Cleaner Production**, Nova York, Estados Unidos, v. 18, p. 1021-1030, julho de 2010.

BOHNENBERGER, J. C.; PIMENTA, J. F. P.; ABREU, M. V. S.; COMINI, U. B.; CALIJURI, M. L.; MORAES, A. P.; PEREIRA, I. S. Identificação de áreas para implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição com uso de análise multicritério. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS, v. 18, n. 01, janeiro a março de 2018.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Brasília, DF, agosto de 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução 307, de 05 de julho de 2002. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 de julho de 2002. Seção 1, p. 95-96.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução 348, de 16 de agosto de 2004. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 de agosto de 2004. Seção 1, p. 70.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução 431, de 24 de maio de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 de maio de 2011. Seção 1, p. 123.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução 448, de 18 de janeiro de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 de janeiro de 2012. Seção 1, p. 35.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução 469, de 29 de julho de 2015. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 de julho de 2015. Seção 1, p. 109-110.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**, Brasília, DF, julho de 2020.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, São Paulo, SP, v. 61, p. 178-189, abril a junho de 2015.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 13 jan. 2021.

CARDOSO, A. C. F.; GALATTO, S. L.; GUADAGNIN, M. R. Estimativa de Geração de Resíduos da Construção Civil e Estudo de Viabilidade de Usina de Triagem e Reciclagem. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, RJ, v. 31, p. 1-10, março de 2014.

CASANOVAS RUBIO, M. M. **Metodología para la evaluación y seguimiento de procedimientos constructivos de forma sostenible e integrada**. Tese (Doutorado). Departament d'Enginyeria de la Construcció da Universitat Politècnica de Catalunya (UTC). Barcelona, Espanha, 2014.

CIANORTE. Prefeitura do Município de Cianorte. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. 392 f. Cianorte, PR, 2013.

CIANORTE. Câmara Municipal de Cianorte. Lei Ordinária 3.926, de 23 de outubro de 2012. **Órgão Oficial de Cianorte**, Cianorte, PR, outubro de 2012.

DE LA FUENTE, A.; ARMENGOU, J.; PONS, O.; AGUADO, A. Multi-criteria decision-making model for assessing the sustainability index of wind-turbine support systems: application to a new precast concrete alternative. **Journal of Civil Engineering and Management**, Londres, Inglaterra, v. 23, p. 194-203, junho de 2016.

DE LA FUENTE, A.; PONS, O.; JOSA, A.; AGUADO, A. Multi-Criteria Decision Making in the sustainability assessment of sewerage pipe systems. **Journal of Cleaner Production**, Nova York, Estados Unidos, v. 112, n. 5, p. 4762-4770, julho de 2015.

DEL CAÑO, A.; GÓMEZ, D.; DE LA CRUZ, M. P. Uncertainty analysis in the sustainable design of concrete structures: A probabilistic method. **Construction and Building Materials**, Nova York, Estados Unidos, v. 37, pag. 865-873, dezembro de 2012.

DING, Z.; ZHU, M.; WU, H.; ZUO, J. Information system with multiple data layer approach to select the C&D waste landfilling infrastructure. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 38788-38804, julho de 2020.

DING, Z.; ZHU, M.; WU, Z.; FU, Y.; LIU, X. Combining AHP-Entropy Approach with GIS for Construction Waste Landfill Selection - A Case Study of Shenzhen. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 2254, p. 1-21, outubro de 2018.

ESIN, T.; COSGUN, N. A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey. **Building and Environment**, v. 42, p. 1667-1674, 2007.

ESKANDARI, M.; HOMAEE, M.; MAHMUDI, S. An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural área. **Waste Management**, Nova York, v. 32, p. 1528-1538, abril de 2012.

FELIX, E. F.; OLIVEIRA, T. C. F.; DEZEN, B. G.; ANTONIO, I. O.; ROSA, I. R.; POSSAN, E. Viabilidade técnica e econômica da produção de concreto com RCD. In: 58º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2016, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Ibracon, 2016.

FLACH, C. E.; KERN, A. P. Estimativa da Geração de Resíduos de Construção e Demolição em uma Cidade na Serra Gaúcha. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PUCRS, 10, 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: PUCRS, 2009. p. 2958-2960.

FLORES, N. V.; AVEROS, S. R. O.; BONELLS, C. F. U.; MADERO, Y. S. Evaluación de indicadores en pavimentos asfálticos por medio de MIVES como herramienta de apoyo a la toma de decisión. In: CONGRESO IBERO LATINOAMERICANO DEL ASFALTO, 20, 2019, Guadalajara, México. **Anais...** Guadalajara: 2019. p. 1-12.

FLORES, N. V.; MADERO, Y. S.; PARRA, C. A. T.; FASOLINO, I.; QUINTANA, H. A. R. Multi-criteria approach for prioritizing and managing public investment in urban spaces. A case study in the Triple Frontier. **Sustainability**, Basileia, Suíça, v. 13, n. 3345, março de 2021.

FLORES, N. V.; SALVADOR, L. C. C.; SANTOS, A. C. P.; MADERO, Y. S. A proposal to compare urban infrastructure using multi-criteria analysis. **Land Use Policy**, v. 101, novembro de 2020.

FORCATO, M. S.; DIAS, J. L.; DALBERTO, A. G.; ORTIZ, G. C. A borracha sintética de chinelos descartados no design de produtos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DESIGN E MATERIAIS, 2, 2017, Joinville. **Anais...** Joinville: 2017. p. 1-16.

FROTTÉ, C.; NUBILA, C. S. A.; NAGALLI, A.; MAZER, A.; MACIOSKI, G.; OLIVEIRA, L. O. S. Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, RJ, vol. 22, n. 2, 17 p., junho de 2017.

GARCÍA-GONZÁLES, J.; RODRIGUES-ROBLES, D.; JUAN-VALDÉS, A.; POZO, J. M. M.; GUERRA-ROMERO, M. I. Solution to the water absorption drawback in the recycled concrete manufacture. **Materials**, Basileia, Suíça, v. 7, p. 6224-6236, setembro de 2014.

GARCÍA-TORRES, S.; KAHHAT, R.; SANTA-CRUZ, S. Methodology to characterize and quantify debris generation in residential buildings after seismic events. **Resources, Conservation and Recycling**, Nova York, Estados Unidos, v. 117, p. 151-159, fevereiro de 2017.

GARRIDO, E.; CALVO, F.; RAMOS, A. F.; ZAMORANO, M. Methodology of Environmental Diagnosis for Construction and Demolition Waste Landfills: a Tool for Planning and Making Decisions. **Environmental Technology**, Londres, Inglaterra, v. 26, p. 1231-1242, novembro de 2005.

GASPARETO, M. G. T.; TEIXEIRA, S. R. Utilização de Resíduo de Construção Civil e Demolição (RCD) como material não plástico para a produção de tijolos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 22, n. 2, p. 40-46, março e abril de 2017.

GAUTAM, S.; BREMA, J.; DHASARATHAN, R. Spatio-temporal estimates of solid waste disposal in an urban city of India: A remote sensing and GIS approach. **Environmental Technology & Innovation**, v. 26, n. 100650, p. 1-12, maio de 2020.

GBANIE, S. P.; TENGBE, P. B.; MOMOH, J. S.; MEDO, J.; KABBA, V. T. S. Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. **Applied Geography**, Nova York, Estados Unidos, v. 36, p. 3-12, fevereiro de 2013.

GILANI, G.; BLANCO, A.; DE LA FUENTE, A. A new sustainability assessment approach based on stakeholder's satisfaction for building façades. **Energy Procedia**, v. 115, p. 50-58, junho de 2017.

GÖSWEIN, V.; GONÇALVES, A. B.; SILVESTRE, J. D.; FREIRE, F.; HABERT, G.; KURDA, R. Transportation matters – Does it? GIS-based comparative environmental assessment of concrete mixes with cement, fly ash, natural and recycled aggregates. **Resources, Conservation & Recycling**, Nova York, Estados Unidos, v. 137, p. 1-10, maio de 2018.

GUO, J.; MIATTO, A.; SHI, F.; TANIKAWA, H. Spatially explicit material stock analysis of buildings in Eastern China metrópoles. **Resources, Conservation and Recycling**, Nova York, Estados Unidos, v. 146, p. 45-54, julho de 2019.

HAN, J.; CHEN, W.; ZHANG, L.; LIU, G. Uncovering the spatiotemporal dynamics of urban infrastructure development: A high spatial resolution materials stock and flow analysis. **Environmental Science and Technology**, ACS Publications, p. 1-27, outubro de 2018.

HEEREN, N.; HELLWEG, S. Tracking Construction Material over Space and Time: Prospective and Geo-referenced Modeling of Building Stocks and Construction Material Flows. **Journal of Industrial Ecology**, New Haven, CT, Estados Unidos, v. 23, p. 253-267, fevereiro de 2019.

HOU, Y.; JI, X.; ZOU, L.; LIU, S.; SU, X. Performance of cement-stabilised crushed brick aggregates in asphalt pavement base and subbase applications. **Road Materials and Pavement Design**, Londres, Inglaterra, v. 17, p. 120-135, junho de 2015.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Embrapa Solos – Documentos**. Disponível em < <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/339505>>, acesso em 19 de janeiro de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/cianorte/panorama>>, acesso em 18 de dezembro de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Folhas Topográficas**. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/folhas-topograficas/15809-folhas-da-carta-do-brasil.html>>, acesso em 17 de janeiro de 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Lixo Municipal**: manual de gerenciamento integrado. 4ª ed. São Paulo: IPT/CEMPRE. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Catálogo de Imagens**. Disponível em < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>, acesso em 24 de janeiro de 2021.

JATO-ESPINO, D.; RODRIGUEZ-HERNANDEZ, J.; ANDRÉS-VALERI, V. C.; BALLESTER-MUÑOZ, F. A fuzzy stochastic multi-criteria model for the selection of urban pervious pavements. **Experts Systems with Applications**, v. 41, n. 15, p. 6807-6817, novembro de 2014.

JONH, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de Resíduos de Construção. In: Seminário – Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares, 1, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo, SEMA/SP, 2000.

JOSA, A.; CORTÉS, F.; MARQUÉS, A. Sostenibilidad y su evaluación en construcción a través del Modelo MIVES, 22 de junho de 2011. 36 f. Notas de Aula. Arquivo digital.

KARPINSK, L. A.; PANDOLFO, A.; REINEHR, R.; KUREK, J.; PANDOLFO, L.; GUIMARÃES, J. **Gestão Diferenciada de Resíduos de Construção Civil: Uma Abordagem Ambiental**. Edição 1. Porto Alegre: ediPUCRS, 2009.

KLEEMANN, F.; LEDERER, J.; RECHBERGER, H.; FELLNER, J. GIS-based Analysis of Vienna's Material Stock in Buildings. **Journal of Industrial Ecology**, New Haven, CT, Estados Unidos, v. 21, p. 368-380, abril de 2017.

KLEEMANN, F.; LEHNER, H.; SZCZYPINSKA, A.; LEDERER, J.; FELLNER, J. Using change detection data to assess amount and composition of demolition waste from buildings in Vienna. **Resources, Conservation and Recycling**, Nova York, Estados Unidos, v. 123, p. 37-46, agosto de 2017.

KOCHEM, K.; DUTRA, M. L.; POSSAN, E. Caracterização do resíduo de construção civil na cidade de Cascavel, PR. In: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 8, 2017, Curitiba. **Anais...** Curitiba, PR, Instituto Venturi, 2017. 11 f.

KOC-SAN, D.; SAN, B. T.; BAKIS, V.; HELVACI, M.; EKER, Z. Multi-Criteria Decision Analysis integrated with GIS and remote sensing for astronomical observatory site selection in Antalya province, Turkey. **Advances in Space Research**, Nova York, Estados Unidos, v. 52, p. 39-51, março de 2013.

KONZEN, B.; HARA, F.; BESSA, S. RCD como agregado reciclado: revisão bibliográfica de estudos desenvolvidos no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE O APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO, 6, 2019, Belém, PA. **Anais...** Belém: UFPA, 2019. 10 p.

LI, H.; CHEN, Z.; YONG, L.; KONG, S. C. W. Application of integrated GPS and GIS technology for reducing construction waste and improving construction efficiency. **Automation in Construction**, Nova York, Estados Unidos, v. 14, p. 323-331, junho de 2005.

LI, J.; LIANG, J.; ZUO, J.; GUO, H. Environmental impact assessment of mobile recycling of demolition waste in Shenzhen, China. **Journal of Cleaner Production**, Nova York, Estados Unidos, v. 263, n. 121371, agosto de 2020.

LI, P.; JIANG, L.; FENG, Z. Cross-Comparison of Vegetation Indices Derived from Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) Sensors. **Remote Sensing**, v. 6, p. 310-329, janeiro de 2014.

LIMA, A. S.; CABRAL, A. E. B. Caracterização e Classificação dos resíduos de construção civil na cidade de Fortaleza (CE). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, RJ, v.18, n. 2, p. 169-176, abril a junho de 2013.

LOMBERA, J. T. S. J.; JOSA, A. Planteamiento MIVES para la evaluación del caso de la EHE. **Cemento Hormigón**, Espanha, v. 913, p. 28-36, 2008.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman. 560 p. 2012.

LOZANO, J. M. S.; SOLANO, J. T.; ELVIRA, P. L. S.; CASCALES, M. S. G. Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 24, p. 544-556, abril de 2013.

LUCENDO-MONEDERO, A. L.; JORDÁ-BORRELL, R.; RUIZ-RODRÍGUEZ, F. Predictive model for areas with illegal landfills using logistic regression. **Journal of Environmental Planning and Management**, Londres, Inglaterra, v. 58, p. 1309-1326, março de 2015.

MADI, N.; SROUR, I. Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 141, p. 163-175, fevereiro de 2019.

MAHAYUDDIN, S. A.; PEREIRA, J. J.; BADARUZZAMAN, W. H. W.; MOKHTAR, M. B. Construction waste management in a developing country: case study of Ipoh, Malaysia. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, Southampton, Reino Unido, v. 109, p. 481-489.

MALCZEWSKI, J. **GIS and Multicriteria Decision Analysis**. 1ª edição. Nova York: John Wiley & Sons, 1999.

MALCZEWSKI, J. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Nova York, Estados Unidos, v. 8, p. 270-277, 2006a.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**, Londres, Inglaterra, v. 30, n. 7, p. 703-726, 2006b.

MAH, C. M.; FUJIWARA, T.; HO, C. S. Construction and demolition waste generation rates for high-rise buildings in Malaysia. **Waste Management & Research**, vol. 34, p. 1-7, setembro de 2016.

MARBLE, D. F.; CALKINS, H. W.; PEUQUET, D. J. **Basic readings in geographic information systems**. Williamsville, NY: SPAD Systems Ltd, 1984.

MARTINS FILHO, S. T.; CANOVA, J. A., KLEIN, N. S., PEIXOTO, V. P. Utilização de resíduos da Construção Civil e cinza do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de argamassa de revestimento. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, PR, vol. 12, n. 2, p. 663-678, abril a junho de 2019.

MASTRUCCI, A.; MARVUGLIA, A.; POPOVICI, E.; LEOPOLD, U.; BENETTO, E. Geospatial characterization of building material stocks for the life cycle assessment of end-of-life scenarios at the urban scale. **Resources, Conservation and Recycling**, Nova York, Estados Unidos, v. 123, p. 54-66, agosto de 2017.

MERSCHROTH, S.; MIATTO, A.; WEYAND, S.; TANIKAWA, H.; SCHEBEK, L. Lost Material Stock in Buildings due to Sea Level Rise from Global Warming: The Case of Fiji Islands. **Sustainability**, Basileia, Suíça, v. 12, n. 834, fevereiro de 2020.

MESQUITA, L. C.; AZEVEDO, I. C. A. D.; CÂNDIDO, E. S.; CATHOUD, G. A. Análise da viabilidade técnica de utilização de Resíduos de Construção e Demolição na fabricação de blocos de vedação. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, GO, v. 10, n.3, p. 30-40, novembro de 2015.

MESTA, C.; KAHHAT, R.; SANTA-CRUZ, S. Geospatial Characterization of Material Stock in the Residential Sector of a Latin-American City. **Journal of Industrial Ecology**, New Haven, CT, Estados Unidos, v. 23, p. 280-291, fevereiro de 2019.

MIATTO, A.; SCHANDL, H.; FORLIN, L.; RONZANI, F.; BORIN, P.; GIORDANO, A.; TANIKAWA, H. A spatial analysis of material stock accumulation and demolition waste potential of buildings: A case study of Padua. **Resources, Conservation and Recycling**, Nova York, Estados Unidos, v. 142, p. 245-256, março de 2019.

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS, v. 9, n. 1, p. 57-71, janeiro-março de 2009.

MIRANDA, L. F. R.; CONSTANTINO, C. S.; MONICH, C. R.; MELO NETO, A. A. Use of recycled sand produced at construction sites in bedding mortars. **Journal of Materials in Civil Engineering**, Reston, VA, Estados Unidos, v. 25, n. 2, p. 236-242, fevereiro de 2013.

NASCIMENTO, V. F.; SOBRAL, A. C.; ANDRADE, P. R.; OMETTO, J. P. H. B.; YESILLER, N. Modeling environmental susceptibility of municipal solid waste disposal sites: A case study in São Paulo state, Brazil. **Journal of Geographic Information System**. v. 9, p. 8-33, fevereiro de 2017.

NUNES, K. R. A.; MAHLER, C. F. Comparison of construction and demolition waste management between Brazil, European Union and USA. **Waste Management & Research**, v. 38, p. 415-422, 2020.

NUNES, J. M; LONGO, O. C., ALCOFORADO, L. F.; PINTO, G. O. O setor da Construção Civil no Brasil e a atual crise econômica. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, SP, v. 09, n. 09, e393997274, agosto de 2020.

OOSHAKSARAIE, L.; MARDOOKHPOUR, A. A Rule-Based Expert System for Construction and Demolition Waste Management. **American Journal of Environmental Sciences**, v. 7, p. 492-498, 2011.

OSSA, A.; GARCÍA, J. L.; BOTERO, E. Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry. **Journal of Cleaner Production**, Nova York, Estados Unidos, v. 135, p. 379-386, junho de 2016.

PASANDÍN, A. R.; PÉREZ, I. Laboratory evaluation of hot-mix asphalt containing construction and demolition waste. **Construction and Building Materials**, Nova York, Estados Unidos, v. 43, pag. 497-505, junho de 2013.

PAZ, D. H. F.; LAFAYETTE, L. P. V.; HOLANDA, M. J. O.; SOBRAL, M. C. COSTA, L. A. R. C. Assessment of environmental impact risks arising from the illegal dumping of construction waste in Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 22, p. 2289-2304, novembro de 2018

PAZ, D. H. F.; LAFAYETTE, L. P. V.; SOBRAL, M. C. GIS-based planning system for managing the flow of construction and demolition waste in Brazil. **Waste Management & Research**, v. 36, p. 541-549, 2018.

PENACHO, P.; BRITO, J.; VEIGA, R. Physico-mechanical and performance characterization of mortars incorporating fine glass waste aggregate. **Cement and Concrete Composites**, Nova York, Estados Unidos, v. 50, p. 47-59, julho de 2014.

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

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. **Manejo e Gestão dos Resíduos da Construção Civil: Volume 1** – Manual de orientação: como implementar um sistema de manejo e gestão nos municípios. Edição 1. Brasília: CAIXA, 2005.

PONS, O.; AGUADO, A. Integrated value model for sustainable assessment applied to technologies used to build schools in Catalonia, Spain. **Building and Environment**, v. 53, p. 49-58, julho de 2012.

PONS, O.; DE LA FUENTE, A. Integrated sustainability assessment method applied to structural concrete columns. **Construction and Building Materials**, Nova York, Estados Unidos, v. 49, pag. 882-893, dezembro de 2013.

PUJADAS, P.; CAVALARO, S. H. P.; AGUADO, A. MIVES multicriteria assessment of urban-pavement conditions: application to a case study in Barcelona. **Road Materials and Pavement Design**, Londres, Reino Unido, v. 20, n. 8, p. 1827-1843, maio de 2018.

QIAO, L.; LIU, D.; YUAN, X.; WANG, Q.; MA, Q. Generation and Prediction of Construction and Demolition Waste Using Exponential Smoothing Method: A Case Study of Shandong Province, China. **Sustainability**, Basileia, Suíça, v. 12, n. 5094, junho de 2020.

RAFI, M.; QADIR, S.; ALI, S.; SIDDIQUI, S. Performance of hot mix asphalt mixtures made of recycled aggregates, **Journal of Testing and Evaluation**, West Conshohocken, PA, Estados Unidos, v. 42, n. 2, p. 357-367, janeiro de 2014.

REZENDE, E. N.; RIBEIRO, J. C. J. A responsabilidade civil pelo gerenciamento ambiental dos resíduos da Construção Civil: A importância para o Desenvolvimento Sustentável do Brasil. **Publica Direito**, 2015. 19 f. Disponível em <<http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=772cf17cfbe478b4>>, acesso em 15 de outubro de 2020.

RIGNEL, D. G. S.; CHENCI, G. P.; LUCAS, C. A. Uma introdução a Lógica Fuzzy. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica**, vol. 01, n. 01, p. 17-28, 2011.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, SP, v. 08, p. 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, SP, v. especial de 30 anos, p. 38-51, dezembro de 2012.

SANTOS, F. S.; AZEVEDO, P. H. A.; VENEU, D. M. Avaliação de concreto sustentável contendo teores de resíduos de agregados reciclados. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, PR, v. 6, n. 7, p. 45457-45471, julho de 2020.

SANTOS, M. S.; SEQUINEL, L. F. Utilização de agregados reciclados provenientes de resíduos da construção civil e demolição em misturas asfálticas do tipo CBUQ. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, Curitiba, PR, v. 15, p. 1-20, novembro de 2018.

ŞENER, Ş.; ŞENER, E.; NAS, B.; KARAGÜZEL, R. Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). **Waste Management**, Nova York, Estados Unidos, v. 30, p. 2037-2046, julho de 2010.

SEROR, N.; PORTNOV, B. A. Identifying areas under potential risk of illegal construction and demolition waste dumping using GIS tools. **Waste Management**, Nova York, Estados Unidos, v. 75, p. 22-29, maio de 2018.

SHARIFI, M.; HADIDI, M.; VESSALI, E.; MOSSTAFAKHANI, P.; TAHERI, K.; SHAHOIE, S.; KHODAMORADPOUR, M. Integrating multi-criteria decision analysis for a GIS-based hazardous waste landfill sitting in Kurdistan Province, western Iran. **Waste Management**, Nova York, Estados Unidos, v. 29, p. 2740–2758, maio de 2009.

SILVA, O. H.; UMADA, M. K.; POLASTRI, P.; ANGELIS NETO, G.; ANGELIS, B. L. D.; MIOTTO, J. L. Etapas do Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, RS, v. 19, p. 39-48, 2015.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 06, pag. 1811-1820, 2009.

SILVA, S. R.; ANDRADE, J. J. O. Análise do emprego de diferentes tipos de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em concretos com vistas à sustentabilidade: uma análise técnica e vantagens econômicas. **Revista Espacios**, Caracas, Venezuela, v. 38, 14 p., janeiro de 2017.

SOUSA, M. K. O.; BALDUINO, A. R. Aproveitamento do RCD como base e sub-base em pavimentações com baixo volume de tráfego no município de porto nacional. **Inventionis**, v.1, n.2, p.19-29, março a agosto de 2019.

TANIKAWA, H.; HASHIMOTO, S. Urban stock over time: spatialmaterial stock analysis using 4d-GIS. **Building Research & Information**, Londres, Inglaterra, v. 37, p. 483-502, 2009.

TESTA, A. C. Entrevista concedida ao autor. Cianorte,

TOURAN, A, CHRISTOFOROU, C.; DANTATA, N.; WANG, J. An estimating system for construction and demolition waste management. **Journal of Solid Waste Technology and Management**, Chester, Inglaterra, v. 30, p. 989-997, novembro de 2004.

ULSEN, C.; KAHN, H.; HAWLITSCHKE, G.; MASINI, E. A.; ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. Production of recycled sand from construction and demolition waste. **Construction and Building Materials**, Nova York, Estados Unidos, v. 40, p. 1168-1173, março de 2013.

ULUBEYLI, S.; KAZAZ, A.; ARSLAN, V. Construction and Demolition Waste Recycling Plants Revisited: Management Issues. **Procedia Engineering**, Nova York, Estados Unidos, v. 172, p. 1190 1197, 2017.

VILLEGAS, N. **Análisis de valor para la toma de decisión aplicado a carreteras: secciones transversales**. Tese (Doutorado). Departament d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports da Universitat Politècnica de Catalunya (UTC). Barcelona, Espanha, 2008.

VIÑOLAS, B.; CORTÉS, F.; MARQUÉS, A.; JOSA, A.; AGUADO, A. MIVES: Modelo integrado de valor para evaluaciones de sostenibilidad. In: CONGRÉS INTERNACIONAL DE MESURA I MODELITZACIÓ DE LA SOSTENIBILITAT, 2, Barcelona, Espanha. **Anais...** Barcelona: 2009. p. 1-24.

WANG, H.; CHEN, D.; DUAN, H.; YIN, F.; NIU, Y. Characterizing urban building metabolism with a 4D-GIS model: A case study in China. **Journal of Cleaner Production**, Nova York, Estados Unidos, v. 18, p. 1021-1030, julho de 2010.

WU, H.; WANG, J.; DUAN, H.; OUYANG, L.; HUANG, W.; ZUO, J. An innovative approach to managing demolition waste via GIS: A case study in Shenzhen city, China. **Journal of Cleaner Production**, Nova York, Estados Unidos, v. 112, p. 494-503, setembro de 2015.

WU, H.; ZUO, J.; YUAN, H.; ZILLANTE, G.; WANG, J. Cross-regional mobility of construction and demolition waste in Australia: An exploratory study. **Resources, Conservation and Recycling**, Nova York, Estados Unidos, v. 156, n. 104710, p. 1-12, maio de 2020.

WU, H.; ZUO, J.; ZILLANTE, G.; WANG, J.; YUAN, H. Status quo and future directions of construction and demolition waste research: A critical review. **Journal of Cleaner Production**, Nova York, Estados Unidos, v. 240, n. 118163, agosto de 2019.

YOU, Z.; WU, C.; ZHENG, L.; FENG, L. An Informatization Scheme for Construction and Demolition Waste Supervision and Management in China. **Sustainability**, Basileia, Suíça, v. 12, n. 1682, fevereiro de 2020

ZAINUN, N. Y.; OTHMAN, W. Quantification and Mapping of Construction Waste Generation in Parit Raja. **Applied Mechanics and Materials**, vols. 773-774, p. 1032-1036. 2015.

ZHANG, N.; ZHENG, L.; DUAN, H.; YIN, F.; LI, J.; NIU, Y. Differences of methods to quantify construction and demolition waste for less-developed but fast-growing countries: China as a case study. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 25513-25525, julho de 2019.

ZHENG, L.; WU, H.; ZHANG, H.; DUAN, H.; WANG, J.; JIANG, W.; DONG, B. LIU, G.; ZUO, J.; SONG, Q. Characterizing the generation and flows of construction and demolition waste in China. **Construction and Building Materials**, Nova York, Estados Unidos, v. 136, p. 405-413, abril de 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE B – RELAÇÃO DE ESPECIALISTAS

Relação de especialistas que responderam ao formulário:

1. PESQUISADORES

a) Cristhiane Michiko Passos Okawa

Professora Associada na Universidade Estadual de Maringá, é bacharel em Engenharia Civil e Doutora em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Possui Pós-Doutorado na área de análise multicritério com ênfase à tomada de decisão.

b) Edna Possan

Professora Associada na Universidade Federal da Integração Latino Americana, é Doutora em Engenharia Civil. Atualmente, é bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq – Nível 2, e possui experiência na área de aproveitamento de resíduos sólidos.

c) Generoso de Angelis Neto

Professor Associado na Universidade Estadual de Maringá, é bacharel em Engenharia Civil e Doutor em Engenharia de Construção Civil e Urbana. Dentre as áreas de atuação, se destaca pelos trabalhos desenvolvidos em prol da gestão de resíduos sólidos.

d) Juliana Biluca

Bacharel em Engenharia Ambiental, Mestra em Engenharia Civil e Doutoranda em Engenharia de Produção, atua na utilização de análise multicriterial na gestão de resíduos de construção e demolição, sendo autora de alguns dos trabalhos mais relevantes utilizados nesta pesquisa.

e) Sandro Rogério Lautenschlager

Professor Associado na Universidade Estadual de Maringá, é Doutor em Engenharia Civil. Atualmente, é bolsista de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora do CNPq – Nível 2, e atua predominantemente na área de saneamento ambiental.

f) Yelinca Nalena Saldeño Madero

Professora na Universidad Católica de Colombia, é Doutora em Engenharia. Pesquisa na área de análise multicriterial e utilização de MIVES.

2. *PROFISSIONAIS DO SETOR PÚBLICO*

a) Anne Caroline Testa

Bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, é Secretária Municipal de Meio Ambiente no município de Cianorte desde o ano de 2021.

b) Nelson Magron Junior

Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Maringá, foi Secretário Municipal de Desenvolvimento Urbano no município de Cianorte entre os anos de 2008 e 2020.

3. *PROFISSIONAIS DO SETOR PRIVADO*

a) Carlos Alberto Demoliner

Bacharel em Engenharia Civil e Mestrando em Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade, atua como engenheiro civil na Future Reciclagem Inteligente (empresa de reciclagem de RCD) desde 2014.

b) Robson Biela

Bacharel e Mestrando em Engenharia Civil, é proprietário da Future Reciclagem Inteligente (empresa de reciclagem de RCD).

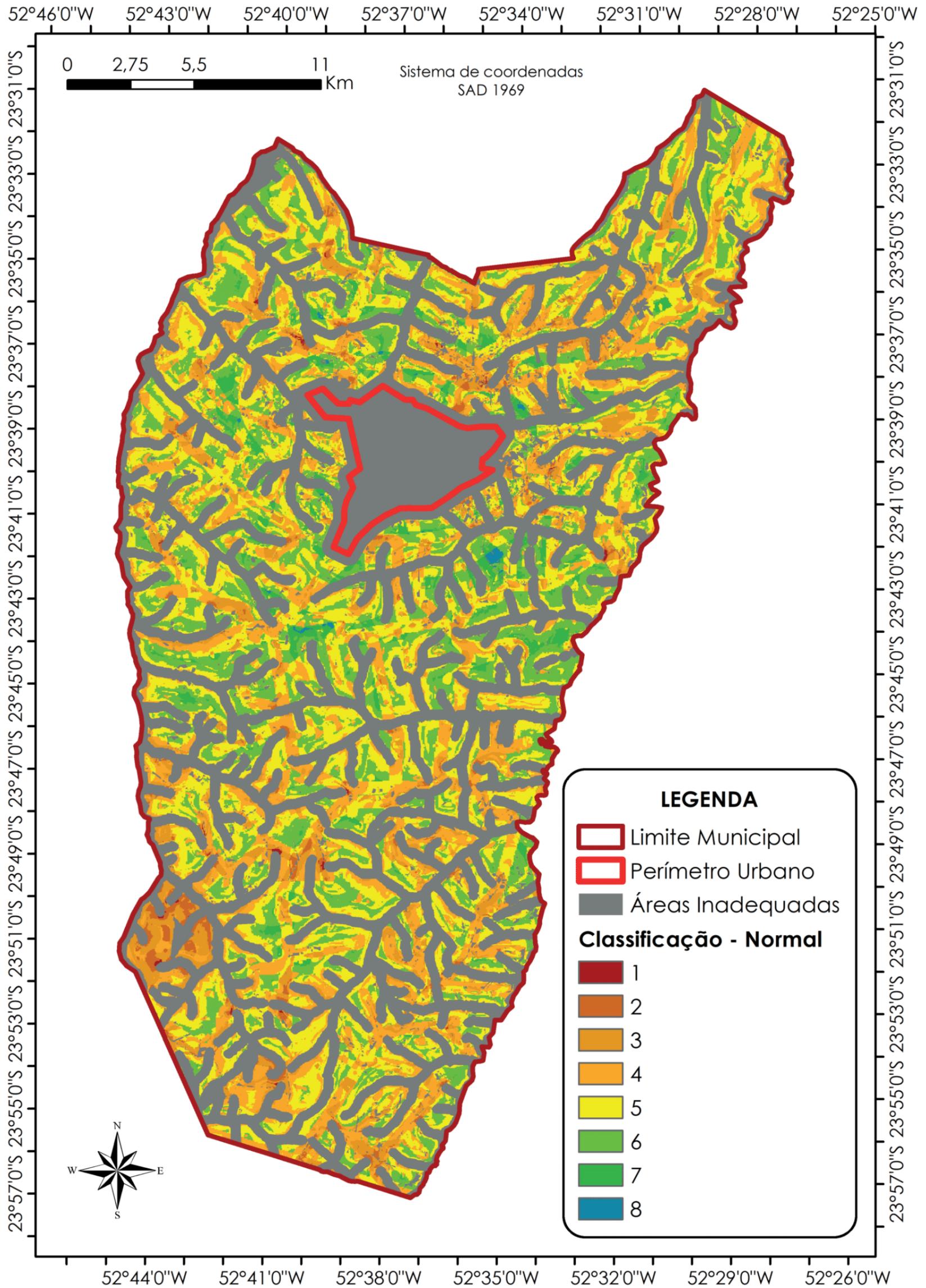
APÊNDICE C – RELAÇÃO DE RESPOSTAS

Relação das respostas apresentados pelos especialistas ao formulário apresentado no Apêndice A.

		CRITÉRIO: SOLOS		REQUERIMENTO: AMBIENTAL			REQUERIM.: ECONÔMICO		AMBIENTAL	SOCIO- ECONÔMICO
		Tipo de Solo	Uso do Solo	Decliv.	Dist. Rios	Caract. Solo	Dist. Estrada	Dist. A. Urbana		
PESQUISA	Christiane M. P. Okawa	6	9	7	8	9	8	7	9	8
	Edna Possan	8	8	7	9	5	8	7	9	9
	Generoso de Angelis Neto	9	8	8	9	8	7	8	9	8
	Juliana Biluca	4	9	6	9	8	9	8	9	8
	Sandro R. Lautenschlager	6	4	6	6	8	9	6	9	6
	Yelinca Saldeño Madero	9	9	7	9	9	8	8	9	9
SETOR PÚBLICO	Anne Caroline Testa	1	8	5	7	8	8	9	8	8
	Nelson Magron Junior	5	9	5	9	5	9	8	9	8
SETOR PRIVADO	Carlos Alberto Demoliner	1	7	7	9	6	9	9	6	9
	Robson Biela	1	9	5	5	6	9	9	9	9
SOMA (para o fator)		50	80	63	80	72	84	79	86	82
SOMA (para a ramificação)		130	130	215	215	215	163	163	168	168
PORCENTAGEM (arredondada)		38%	62%	29%	37%	34%	52%	48%	51%	49%

APÊNDICE D – MAPA FINAL POR PESOS EQUIVALENTES

Mapa final de áreas aptas à implantação de aterro de RCD, elaborado a partir do método de pesos equivalentes, e apresentado neste apêndice em maior escala.



APÊNDICE E – MAPA FINAL BASEADO EM MIVES

Mapa final de áreas aptas à implantação de aterro de RCD, baseado em método MIVES, e apresentado neste apêndice em maior escala.

