

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

RAPHAEL LÚCIO REIS DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE PREVISÃO DE
GERAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO PARA PROPOSIÇÃO DE REDE DE GESTÃO
EM MUNICÍPIOS DE MÉDIO PORTE POPULACIONAL**

Belo Horizonte

2023

**DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE PREVISÃO DE
GERAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO PARA PROPOSIÇÃO DE REDE DE GESTÃO
EM MUNICÍPIOS DE MÉDIO PORTE POPULACIONAL**

RAPHAEL LÚCIO REIS DOS SANTOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Conrado de Souza Rodrigues

Coorientador: Prof. Dr. Guilherme de Castro Leiva

Belo Horizonte

2023

S237d Santos, Raphael Lúcio Reis dos
Desenvolvimento de modelo de previsão de geração dos resíduos de construção e demolição para proposição de rede de gestão em municípios de médio porte populacional / Raphael Lúcio Reis dos Santos. – 2023.
214 f. : il., gráfs, tabs., fotos.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Civil.
Orientador: Conrado de Souza Rodrigues.
Coorientador: Guilherme de Castro Leiva.
Bibliografia: f. 166-198.
Tese (doutorado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil

1. Construção sustentável – Teses. 2. Detritos de construção e demolição – Gestão – Teses. 3. Impacto ambiental – Teses. 4. Desenvolvimento sustentável – Teses. I. Rodrigues, Conrado de Souza. II. Leiva, Guilherme de Castro. III. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD 691

Raphael Lúcio Reis dos Santos

**DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE PREVISÃO DE
GERAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
PARA PROPOSIÇÃO DE REDE DE GESTÃO EM MUNICÍPIOS
DE MÉDIO PORTE POPULACIONAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Prof. Conrado de Souza Rodrigues, D. Sc. - Orientador
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, CEFET-MG

Prof. Guilherme de Castro Leiva, D. Sc. - Coorientador
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, CEFET-MG

Profa. Simone Queiroz da Silveira Hirashima, D. Sc.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, CEFET-MG

Prof. Alexandre Magno Alves Diniz, D. Sc.
Programa de Pós-Graduação em Geografia, PUC Minas

Profa. Maria do Carmo Martins Sobral, D. Sc.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE

Prof. Matheus Henrique de Sousa Oliveira, D. Sc.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, UFRJ

Belo Horizonte, 25 de maio de 2023.

"Hoje em dia, o ser humano apenas tem ante si três grandes problemas que foram ironicamente provocados por ele próprio: a superpovoação, o desaparecimento dos recursos naturais e a destruição do meio ambiente. Triunfar sobre estes problemas, visto sermos nós a sua causa, deveria ser a nossa mais profunda motivação."

Jacques Yves Cousteau

AGRADECIMENTOS

Depois de longos e árduos anos, finalmente está acabando esta importante etapa! Não posso deixar de agradecer os que, direta e/ou indiretamente, contribuíram para a realização e conclusão desta tese.

Agradeço meus familiares, minha esposa Maria Emília e amigos que me apoiaram no desenvolvimento desta tese e me proporcionaram momentos de diversão e alegria quando necessário se desligar, ainda que provisoriamente, dos pensamentos acadêmicos.

Ao CEFET-MG por me ofertar uma formação qualificada, me proporcionando uma convivência com excelentes docentes que contribuíram com minha formação acadêmica e profissional. Instituição a qual eu tenho muito orgulho de ter se tornado o meu local de trabalho.

Agradeço aos professores Dr. Conrado de Souza Rodrigues e Dr. Guilherme de Castro Leiva pela contribuição para o desenvolvimento e realização deste trabalho.

Aos participantes das bancas de qualificação e de defesa da minha tese pelos ensinamentos e pelas considerações que foram pontuadas para melhoria do trabalho.

Agradeço também à Prefeitura de Varginha, principalmente aos profissionais da Secretaria de Meio Ambiente e Secretaria de Planejamento que se empenharam em fornecer dados e informações para a execução desta pesquisa. Da mesma forma, agradeço ao Rodrigo, da Ecovia, empresa que administra a usina de reciclagem de RCD do município.

Muito Obrigado!

RESUMO

A geração de resíduos está aumentando em função do crescimento da população, da urbanização e do desenvolvimento econômico, especialmente nos países em desenvolvimento. A gestão dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) é cada vez mais um desafio na busca da sustentabilidade. Historicamente, a gestão do RCD tem sido tratada com ações reativas, buscando solucionar problemas ambientais. Portanto, para promover uma gestão mais eficiente é fundamental prever o desenvolvimento deste problema no contexto urbano futuro, baseado nos cenários atuais. Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver um modelo de previsão de geração dos RCDs para cidades de médio porte populacional, possibilitando a proposição de redes de gestão para o cenário atual e futuro (considerando a expansão do município). A metodologia proposta envolveu o desenvolvimento de um modelo de previsão de geração de RCD, aplicado ao município de Varginha / MG, que associou a série histórica de geração de RCD concebida para a cidade e as variáveis que se relacionavam com a produção destes resíduos. Com base no modelo de previsão, foram propostas redes de gestão de RCD para o cenário atual e futuro do município. Por fim, foram analisadas as redes propostas, verificando suas alterações em função do aumento de geração de RCD e da expansão do município. Os resultados da aplicação do modelo de previsão desenvolvido indicaram um aumento de 18,27% no quantitativo de RCD gerado estimado, quando comparados o cenário atual (2020) e futuro (2040). Esta previsão de crescimento do RCD gerado, somado à expansão da área urbana do município, promoveu alterações na localização das infraestruturas propostas e conseqüentemente nas redes de gestão de RCD. A verificação da necessidade de alterações nas redes de gestão de RCD é fundamental para a manutenção das eficiências das mesmas ao longo dos anos. Desta forma, espera-se que os resultados do modelo desta pesquisa contribuam para o desenvolvimento de redes de gestão de RCD eficientes, sendo uma ferramenta na busca da resolução dos problemas ambientais atuais e também que permita a adoção de ações proativas para a correta gestão do RCD no cenário futuro.

PALAVRAS-CHAVE: Construção sustentável, Gestão de resíduos, Impactos ambientais, Modelo de previsão, Resíduos de construção e demolição.

ABSTRACT

The generation of waste is increasing due to population growth, urbanization and economic development, especially in developing countries. The Construction and Demolition Waste (CDW), a significant portion of solid waste, management is increasingly a challenge in the search for economic, social and environmental sustainability. Historically, CDW management has been treated with reactive actions, seeking to solve environmental problems. Therefore, in order to promote a more efficient management, it is essential to foresee the development of this problem in the future urban context, based on current scenarios. This research aims to develop a model for predicting the generation of CDW for medium-sized cities, enabling the proposition of management networks for the current and future scenario (considering the expansion of the municipality). The proposed methodology involved the development of the CDW generation prediction model, applied to the municipality of Varginha / MG, which associated the historical series of CDW generation conceived for the city and the variables that were related to the production of this waste. Based on the forecast model, CDW management networks were proposed for the current and future scenario of the municipality. Finally, the proposed networks were analyzed, verifying their changes due to the increase in CDW generation and the expansion of the municipality. The results of the application of the developed forecast model indicated an increase of 18.27% in the estimated amount of CDW generated, when compared to the current (2020) and future (2040) scenarios. This forecast of growth in the generated CDW, added to the expansion of the city's urban area, promoted changes in the location of the proposed infrastructures and consequently in the CDW management networks. The verification of the need for changes in CDW management networks is essential for maintaining their efficiencies over the years. Thus, it is expected that the results of this research model will contribute to the development of efficient CDW management networks, being a tool in the search for solving current environmental problems and also allowing the adoption of proactive actions for the correct management of the CDW in the future scenario.

KEYWORDS: Construction and Demolition Waste, Environmental impacts, Forecast model, Sustainable construction and Waste management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).	16
Figura 2: Bota-fora irregular próximo ao Rio das Velhas.....	32
Figura 3: Organograma da gestão de resíduos na esfera municipal.	35
Figura 4: Entorno da usina de reciclagem CTRS BR-040.	39
Figura 5: Layout de um Ponto de Entrega Voluntária.	41
Figura 6: Ponto de Entrega Voluntária no município de São Paulo / SP.	42
Figura 7: Localização e entorno do ecoponto localizado no bairro de Pinheiros - São Paulo / SP.	43
Figura 8: Layout de uma Área de Transbordo e Triagem.....	46
Figura 9: Rede de gestão de RCD em Belo Horizonte.....	48
Figura 10: Comportamento das séries dos modelos de previsão quantitativos.	55
Figura 11: Exemplo de uma rede neural artificial.	61
Figura 12: Exemplo de representação raster (ou matricial).....	72
Figura 13: Representação vetorial: (a) pontos, (b) linhas poligonais, (c) polígonos.	73
Figura 14: Modos de representação de um SIG.	74
Figura 15: Visão geral de um SIG.....	75
Figura 16: Geração de RCD entre 2015-2060 em Nan Shan (milhões de toneladas).	80
Figura 17: Áreas para implantação de aterro sanitário. (a) MPCA, (b) Método regional.	82
Figura 18: Locais com risco de deposição irregular.	84
Figura 19: (a) Pontos de deposição irregular, (b) Aplicação da densidade de Kernel para proposição da implantação de PEVs.	86
Figura 20:(a) PEVs propostos, (b) ATTs propostas.	87
Figura 21: Esquema de crescimento vertical e horizontal.	94

Figura 22: Representação gráfica da metodologia adotada no estudo.	98
Figura 23: Mapa de localização do município de Varginha / MG.	108
Figura 24: Zoneamento do município de Varginha / MG.	110
Figura 25: Localização da usina de reciclagem de RCD em Varginha / MG.	111
Figura 26: Área de recebimento dos resíduos na usina de reciclagem.	112
Figura 27: Relação da geração de RCD e expansão urbana.	116
Figura 28: Relação da geração de RCD e PIB.	116
Figura 29: Relação da geração de RCD e PIB per capita.	117
Figura 30: Crescimento da população entre 2010 e 2020 dos municípios de médio porte populacional.	120
Figura 31: Taxa de geração de RCD per capita dos municípios de médio porte populacional.	124
Figura 32: Expansão urbana de Varginha / MG entre 2000 e 2019.	126
Figura 33: Mapas de evolução da ocupação de Varginha / MG.	128
Figura 34: Proposta de alteração no perímetro urbano do município de Varginha.	128
Figura 35: Vetores de expansão urbana do município de Varginha / MG.	132
Figura 36: Ponto de deposição irregular de RCD em Varginha / MG.	133
Figura 37: Mapeamento dos pontos de deposição irregular e principais obras no Google Earth.	134
Figura 38: Pontos de deposição irregular de RCD e principais obras em Varginha / MG.	135
Figura 39: Densidade de Kernel para geração do mapa de aptidão dos PEVs.	136
Figura 40: Classes de aptidão para implantação de PEVs.	137
Figura 41: Classes de aptidão para implantação de ATTs.	137
Figura 42: Localização das infraestruturas da rede de gestão de RCD atual proposta.	139
Figura 43: Local proposto para implantação do PEV1.	140

Figura 44: Local proposto para implantação da ATT.	141
Figura 45: Arquivo importado para QGis para geração das retas da rede de gestão de RCD.....	141
Figura 46: Rede de gestão de RCD para cenário atual proposta.....	142
Figura 47: Ferramenta \$length para cálculo das distâncias das retas.....	143
Figura 48: Ferramenta centroide aplicada nas zonas do município.	145
Figura 49: Principais locais propícios à verticalização e expansão urbana do município.	146
Figura 50: Classes de aptidão para implantação de PEVs da rede futura.	147
Figura 51: Classes de aptidão para implantação de ATTs da rede futura.	148
Figura 52: Localização das infraestruturas da rede de gestão de RCD futura proposta.	151
Figura 53: Arquivo de texto para geração das retas da rede de gestão de RCD futura.	151
Figura 54: Rede de gestão de RCD para cenário futuro proposta.	152
Figura 55: Local proposto para implantação do PEV1 da rede futura.	154
Figura 56: Local proposto para implantação da ATT da rede futura.	155
Figura 57: Redes de gestão de RCD atual e futura propostas.	158
Figura 58: Entorno da usina de reciclagem de Varginha / MG.....	160
Figura 59: Macrozoneamento de Varginha.....	199
Figura 60: Zoneamento de Varginha.	200
Figura 61: Evolução da área urbana nos municípios de médio porte populacional.	205
Figura 62: Evolução do PIB nos municípios de médio porte populacional.	207
Figura 63: Evolução do PIB per capita nos municípios de médio porte populacional.	209

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados da pesquisa bibliográfica realizada.....	11
Tabela 2: Resíduo de Construção e Demolição coletado no Brasil em 2000, 2019 e 2020.	19
Tabela 3: Estimativas de geração de resíduos de construção e demolição (RCD). 20	
Tabela 4: Área mínima necessária para implantação de ATTs.	45
Tabela 5: Estudos de previsão de RCD - modelos macro.....	64
Tabela 6: Estudos realizados com SIG para solução de problemas de gestão de resíduos.....	77
Tabela 7: Distribuição da população de Varginha.	108
Tabela 8: Macrozoneamento e zoneamento do município de Varginha.	109
Tabela 9: Dados das variáveis utilizadas no modelo de geração de RCD.	115
Tabela 10: Relação entre a geração de RCD e as variáveis independentes.....	115
Tabela 11: Previsão de geração de RCD a partir do modelo desenvolvido.	118
Tabela 12: Comparação do RCD gerado previsto nas pesquisas e no modelo desenvolvido.	120
Tabela 13: Previsão do quantitativo e taxa de geração do RCD dos municípios de médio porte populacional para o ano de 2020.	123
Tabela 14: Evolução da área urbana de Varginha / MG.	127
Tabela 15: Legislação do município de Varginha / MG relativa às áreas urbanas. 129	
Tabela 16: Principais direções para o desenvolvimento do município de Varginha /MG.	131
Tabela 17: Número de PEVs e ATTs definidos nas diferentes referências.	138
Tabela 18: Coordenadas UTM das infraestruturas da rede de gestão de RCD atual.	138
Tabela 19: Distâncias das retas que formam a rede de gestão de RCD.....	143
Tabela 20: Principais fatores relacionados à rede de gestão de RCD atual proposta.	144

Tabela 21: Número de PEVs e ATTs definidos para a rede de gestão futura nas diferentes referências.	149
Tabela 22: Coordenadas UTM das infraestruturas da rede de gestão de RCD futura.	150
Tabela 23: Distâncias das retas que formam a rede de gestão de RCD futura.	153
Tabela 24: Principais fatores relacionados à rede de gestão de RCD futura proposta.	153
Tabela 25: Comparativo dos parâmetros das redes de gestão de RCD propostas.	156
Tabela 26: Evolução da área urbana dos municípios em um modelo linear.....	204
Tabela 27: Evolução do PIB dos municípios em um modelo linear.	206
Tabela 28: Evolução do PIB per capita dos municípios em um modelo linear.	208

LISTA DE SIGLAS

ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ATT	Área de Transbordo e Triagem
CDW	<i>Construction and Demolition Waste</i>
CEWEP	<i>Confederation of European Waste-to-Energy Plants</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
EP	<i>European Parliament</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EUROSTAT	<i>European Statistical Office</i>
FIIC	<i>Federación Interamericana de la Industria de la Construcción</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Normas Brasileiras
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PEV	Ponto de Entrega Voluntária
PIB	Produto Interno Bruto
PMBH	Prefeitura Municipal de Belo Horizonte
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
PMV	Prefeitura Municipal de Varginha
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RS	Resíduos Sólidos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento
UTM	Universal Transversa de Mercator
WBG	<i>World Bank Group</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Justificativa	5
1.3	Questões e hipóteses da pesquisa	8
1.4	Objetivo geral.....	10
1.5	Objetivos específicos	10
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1	Resíduos sólidos (RS)	12
2.1.1	Resíduos de construção e demolição (RCD)	16
2.1.2	Principais métodos de quantificação de geração de RCD.....	21
2.1.3	Importância da previsão de geração de RCD.....	27
2.1.4	Deposição irregular de RCD	30
2.1.5	Rede de gestão de RCD	33
2.2	Modelos de previsão	49
2.2.1	Principais modelos de previsão qualitativos	51
2.2.2	Principais modelos de previsão quantitativos.....	54
2.2.3	Aplicação de modelos de previsão em gestão de RCD.....	63
2.3	Sistema de informação geográfica na gestão de RCD	70
2.4	Planejamento da expansão urbana e a gestão de resíduos.....	89
3.	METODOLOGIA DA PESQUISA	96
3.1	Procedimentos metodológicos	96
3.2	Estudo de caso	107
4.	RESULTADOS.....	114
4.1	Modelo de previsão de geração de RCD	114
4.2	Aplicação do modelo de previsão de geração de RCD em outros municípios de médio porte populacional.....	119
4.3	Expansão urbana de Varginha / MG	125
4.4	Rede de gestão de RCD atual (ano 2020)	132
4.5	Rede de gestão de RCD para o cenário futuro (ano 2040)	144
4.6	Análise das redes de gestão de RCD propostas	155

5.	CONCLUSÕES.....	161
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	165
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	166
	ANEXOS	199
	APÊNDICES.....	204

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A indústria da construção civil enfatiza amplamente a sustentabilidade por meio da aplicação de seus quatro pilares: ambiental, econômico, físico e social (ÇELIC *et al.*, 2019). Além disto, é uma contribuinte expressiva para o Produto Interno Bruto (PIB) dos países (SMOL *et al.*, 2015). Tendo como referência o ano de 2016, o setor da construção representou 6,2% do PIB mundial; sendo o percentual do PIB da Europa de 6,3%, da América Latina de 5,7% e 5,1% do Brasil (EUROSTAT, 2017a; FIIC, 2017; IBGE, 2018).

Nos últimos anos têm ocorrido grandes investimentos na construção civil, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, China e Índia; devido ao crescimento econômico e populacional (DHIR *et al.*, 2019). Ademais, a demanda por construções é ampliada pelo intenso processo de urbanização (GAN, *et al.*, 2015), que se desenvolveu globalmente a uma taxa expressiva, atingindo 55% no mundo e com previsão de alcançar 68% até 2050 (ONU, 2018). O percentual da população que vive atualmente em áreas urbanas é de 57,96% na China, 82,06% nos Estados Unidos (RITCHIE e ROSER, 2019) e 84,72% no Brasil (IBGE, 2015). Stamm *et al.* (2012) apresentaram dados da evolução da urbanização no Brasil entre os anos de 1940 e 2010: 31,2% (1940), 36,2% (1950), 44,7% (1960), 55,9% (1970), 67,6% (1980), 75,6% (1990), 81,3% (2000) e 84,4% (2010).

Este processo contínuo e intenso de crescimento das cidades promove um dos principais problemas observados na sociedade moderna: a produção de resíduos sólidos (FERREIRA, 2019), sendo os oriundos das construções, demolições, reconstruções, manutenções e obras rodoviárias os mais representativos (BANIAS *et al.*, 2010; CHEN *et al.*, 2013; WU *et al.*, 2017; DUAN *et al.*, 2019) devido ao seu grande volume (TESSARO *et al.*, 2012; BRITO e SILVA, 2016; SILVA *et al.*, 2017) e baixo valor se comparado a outros resíduos (PAN *et al.*, 2020).

Desta forma, apesar de seus benefícios econômicos e sociais, a construção civil cria sérios problemas ambientais durante todo o ciclo de vida das edificações,

principalmente por causa da geração dos resíduos de construção e demolição (RCD) (GENG *et al.*, 2017). De acordo com Boscov (2008) e Song *et al.* (2012), o RCD é o principal componente dos resíduos sólidos urbanos (RSU), representando entre 25% e 40% do quantitativo total dos resíduos gerados (JIN *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2018). Dados de 2016 indicaram que o RCD produzido na Europa representou 36% do quantitativo total de resíduos gerados (EUROSTAT, 2018), enquanto que esta proporção foi de 67% nos Estados Unidos (EPA, 2016) e aproximadamente 57% no Brasil (ABRELPE, 2016).

Segundo Schamne (2016), os RCDs quando não gerenciados adequadamente, incluindo seu tratamento e destinação corretos, podem provocar grandes impactos ambientais. Estes impactos podem interferir em atividades econômicas e sociais, e também na qualidade dos recursos ambientais; por afetarem de forma direta ou indireta o bem-estar, a saúde e a segurança da população (NAGALLI, 2014). Embora o cenário atual aponte para uma cadeia produtiva não sustentável e com baixa taxa de reciclagem (NUNES e MAHLER, 2020), tendo como agravantes a redução da disponibilidade de áreas e o aumento do custo dos aterros (NETO, 2008); é possível desenvolver ações para melhoria da gestão dos RCDs, promovendo a sua valorização, reciclagem e reutilização (SILVA *et al.*, 2017).

Neste contexto, a gestão adequada do RCD (presente nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS) é considerada fundamental para a economia circular (LU e YUAN, 2010; CHEN *et al.*, 2013; LI *et al.*, 2018; DONG *et al.*, 2019). Silva *et al.* (2017) e Dhir *et al.* (2019) citam que este processo necessita da participação de todos os agentes envolvidos na gestão dos resíduos, além de demandar experiência para transformação sustentável da indústria da construção civil. Dhir *et al.* (2019) enumeram ações eficientes para a ampliação do uso de RCD em novas aplicações de construção, como: tributação para utilização dos agregados naturais, aumento das taxas de aterro, desconstrução seletiva, certificação dos agregados reciclados e publicação de normas e leis para incentivar a utilização do RCD. A aplicação destas estratégias foram fundamentais para a melhoria na gestão dos RCDs em países desenvolvidos (ARM *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2020).

Todavia, muitas destas ações de gestão de RCD ainda não são aplicadas em países em desenvolvimento (YUAN e SHEN, 2011). Apesar da publicação da Resolução 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), que estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de RCD, na qual os municípios brasileiros tinham até 2004 para elaborar e implementar planos municipais de gestão integrada de RCD, a maior parte dos resíduos coletados ainda não são reciclados ou armazenados para uso futuro no Brasil (NUNES *et al.*, 2009). Recentemente, a norma brasileira NBR15.116 intitulada “Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de Cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaio” (ABNT, 2021) foi revisada, admitindo a utilização do RCD em concretos estruturais. Trata-se de uma ação que busca melhorar a gestão do RCD no país, uma vez que a publicação de normas e leis são umas estratégias que possibilita a redução da geração e ampliação da reciclagem dos resíduos (DHIR *et al.*, 2019).

De acordo com Nunes e Mahler (2020), a falta de políticas específicas do governo local para promover a gestão adequada dos resíduos em conjunto com o aumento da geração de RCD, agrava os problemas de coleta, transporte e descarte de resíduos sólidos urbanos. Bohnenberger *et al.* (2018) argumentam que a construção civil causa grandes impactos no meio ambiente em função não apenas do consumo de recursos naturais, mas também por conta da disposição irregular do RCD. O descarte inadequado de resíduos de construção e demolição foi reconhecido como um grande problema na indústria da construção em todo o mundo (QINGSONG *et al.*, 2012; OSSA *et al.*, 2016). No Brasil, é comum observar a prática do descarte ilegal de RCD em locais públicos, cursos de água e encostas. Tais condições dificultam uma gestão sustentável do RCD no país (NUNES e MAHLER, 2020).

Além disto, a ausência de dados históricos sobre a geração de resíduos pode levar a uma gestão inadequada dos resíduos oriundos da construção civil (KOLEKAR *et al.*, 2016). Em muitos casos, os municípios podem não possuir orçamento e capacidade de gestão suficientes para manter um banco de dados completo sobre a geração e previsão do quantitativo de RCD (DYSON e CHANG, 2005). De acordo com Kanno *et al.* (2020), no Brasil existem limitadas informações sobre o quantitativo

de RCD gerado pelos municípios, restritas a levantamentos como os realizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). Estes levantamentos, além de serem limitados, são realizados por organizações atreladas à limpeza urbana (SNIS e ABRELPE), sendo focados nos resíduos sólidos urbanos, e conseqüentemente, não expõem dados consistentes sobre o RCD (JACOBI e BESEN, 2011; MAIELLO *et al.*, 2018).

Sendo assim, segundo Huang *et al.* (2020), prever a geração de RCD é importante para aumentar as taxas de reciclagem, porque auxilia na implantação de instalações de recepção de resíduos mais eficientes. Além disso, Wu *et al.* (2014) afirmam que estimar a geração de RCD é considerado um pré-requisito para a prática de uma gestão de resíduos adequada, pois será possível aos tomadores de decisões desenvolver regulamentações apropriadas (LU e YUAN, 2011). A previsão da geração de RCD em nível municipal é essencial para que os governos locais formulem políticas de gestão de resíduos eficientes (WU *et al.*, 2015).

Uma rede de gestão de RCD bem projetada que considere o número necessário e os locais ideais para a instalação das infraestruturas de tratamento de resíduos, além de planos de expansão destas infraestruturas, é crucial para aumentar as taxas de reciclagem de RCD e reduzir sua deposição irregular (ESA *et al.*, 2017), possibilitando agregar valor ao resíduo para que estes materiais possam ser reutilizados em futuras construções (DHIR *et al.*, 2019).

Tam *et al.* (2010) afirmam que a localização inadequada das infraestruturas de tratamento de RCD pode aumentar os custos de transporte e tratamento dos resíduos, enfraquecendo assim a competitividade econômica da reciclagem em relação ao aterro, o que desfavorece a gestão correta do RCD devido aos altos custos de reciclagem. Além do mais, caso o quantitativo de infraestruturas de tratamento seja insuficiente, haverá diminuição da taxa de reciclagem de RCD em função da capacidade limitada de tratamento dos resíduos, podendo favorecer a prática do despejo irregular e tornando a gestão de RCD ineficiente (LI *et al.*, 2018).

Portanto, parte fundamental de uma rede de gestão de RCD é a escolha dos locais adequados de deposição, por se tratar de uma tarefa complexa, uma vez que é necessário analisar grande extensão territorial com o objetivo de identificar áreas aptas para implantação das infraestruturas de tratamento dos resíduos (BOHNENBERGER *et al.*, 2018). TROCHU *et al.* (2018) asseguram que uma rede de gestão de resíduos de construção e demolição é dinâmica, e que a mesma deve considerar a distribuição espacial dos locais de geração de RCD e a expansão da área analisada para possível relocação das infraestruturas de tratamento dos resíduos.

1.2 Justificativa

Com o aumento da população, urbanização e desenvolvimento econômico, especialmente nos países em desenvolvimento, a geração de resíduos está aumentando acentuadamente. Os métodos tradicionais de disposição de resíduos trazem muitos problemas, como poluição do ar, contaminação das águas subterrâneas, contaminação do solo e emissões de gases de efeito estufa (YOUSEFLOO e BABAZADEH, 2019). De acordo com Yeheyis *et al.* (2013), devido ao aumento do volume de RCD, escassez de aterros e impactos ambientais, econômicos e sociais provocados pelos resíduos de construção e demolição, a gestão sustentável destes resíduos está se tornando cada vez mais essencial para proteção da saúde pública e dos ecossistemas naturais.

Doan e Chinda (2016) afirmam que na literatura há evidências que reconhecem uma ampla variedade de benefícios quando é realizada uma gestão eficiente de RCD, dentre eles a redução do custo de materiais das construções em função da redução na taxa de resíduos gerados (KHANH e KIM, 2015). Segundo Reza *et al.* (2011), há uma redução no consumo de energia, dos custos associados ao descarte e ao aterro de resíduos, das emissões de CO₂ e dos riscos ambientais por meio de uma gestão adequada de RCD. Todavia, apesar destas vantagens, a gestão eficiente do RCD não se tornou comum nos países em desenvolvimento (MANOWONG, 2012; FATEMI e IMANINASAB, 2016).

Há países em que a taxa de reciclagem de RCD já supera o valor de 70%, meta estabelecida pela Diretiva-Quadro Resíduos (2008/98 /CE) da União Europeia (EP, 2008). De acordo com Arm *et al.* (2017), o estabelecimento de uma meta de reciclagem de RCD é uma medida crítica para melhorar a taxa de reciclagem; algo que foi notado em alguns países europeus como, por exemplo, a Irlanda que alcançou a meta de 85% de taxa de reciclagem de RCD em 2013 (EUROSTAT, 2015a), a Holanda que possui taxa de reciclagem de resíduos de 98% (EUROSTAT, 2015b) e a Dinamarca que, ao implantar taxas de aterro entre outras ações de gestão de resíduos, atingiu 86% de taxa de reciclagem de RCD no ano de 2012 (EUROSTAT, 2015c). Já no Brasil, apenas 8% do RCD coletado é destinado a reciclagem (NUNES e MAHLER, 2020), sendo grande parcela do RCD aterrada nos municípios brasileiros (FERREIRA e MOREIRA, 2013; NETO e CORREIA, 2019).

Desta forma, enquanto muitos países avançam para um modelo de gestão de resíduos sustentável, o Brasil continua apresentando as deficiências verificadas há anos, apresentando indicadores médios abaixo de nações da mesma faixa de renda e desenvolvimento (ABRELPE, 2017). Os princípios e objetivos colocados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) ainda não foram vistos de forma eficaz, portanto é urgente que sejam transformados em ações concretas. Para tanto, é necessário mudar alguns paradigmas vigentes, sobretudo em relação ao custeio dos serviços, ao engajamento da população e à governança político-institucional (ABRELPE, 2017).

Um dos aspectos que contribui para a gestão ineficiente do RCD é a ausência de informações a respeito da geração do resíduo; desta forma inúmeras metodologias têm sido propostas na literatura para quantificar e prever a geração destes resíduos (WU *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2019). Zhang *et al.* (2019) apresentaram três métodos para estimar a geração de RCD na China, entre eles, um método baseado na quantidade de resíduos gerados combinado com a população para gerar uma estatística per capita. De acordo com os autores, este método é recomendado de ser aplicado quando não há dados satisfatórios disponíveis para consulta, o que ocorre em muitos países em desenvolvimento. No Brasil, destaca-se a pesquisa pioneira

realizada por Pinto (1999) que propôs método que previu a geração de RCD entre 0,23 e 0,76 t/hab.ano em dez diferentes municípios.

De acordo com Córdoba (2010), é necessária uma rede de gestão de RCD que contemple a recepção de pequenos e grandes volumes de resíduos por meio de Pontos de Entrega Voluntária (PEV) e Áreas de Transbordo e Triagem (ATT); algo que existe apenas em algumas das grandes cidades brasileiras. Contudo, aproximadamente 95% dos municípios do país são pequenos (<100.000 habitantes) e médios (entre 100.000 e 500.000 habitantes), acumulando cerca de 68,1% da população brasileira (IBGE, 2021). Além disso, as cidades de médio porte populacional apresentam taxa de crescimento acima do das grandes cidades do país (IBGE, 2000; IBGE, 2010), gerando demanda por habitação, e conseqüentemente construções que geram resíduos.

PEVs e ATTs foram propostos no estudo de Paz *et al.* (2018) utilizando a ferramenta de densidades de Kernel em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) com o objetivo de planejar uma rede de gestão de RCD para a cidade de Recife / PE. Fernandes e Filho (2017) desenvolveram um modelo de diretrizes para a gestão de RCD nos municípios de Belo Horizonte / MG e João Pessoa / PB, que envolveu a criação de unidades de recepção de RCD para grandes geradores (ATT) e pequenos geradores (PEV). Estudos desenvolvidos por Scremin (2007) e Ornelas (2011) utilizaram formulações matemáticas para calcular o número adequado de PEVs e ATTs, as quais foram locadas por meio de densidades de Kernel no trabalho desenvolvido pelo primeiro autor. Embora indiscutível a contribuição científica dos estudos relatados, os mesmos não levaram em consideração a expansão dos municípios e a provável necessidade de alteração da rede de gestão de RCD proposta para o cenário atual.

Ademais, há necessidade de melhoria da gestão de RCD em municípios de médio porte populacional, que possuem alto percentual de representatividade em relação ao número de cidades no Brasil e também alta taxa de crescimento populacional. Assim, esta pesquisa desenvolveu um modelo de previsão, considerando a área

urbana, PIB e PIB per capita, para prever a geração de RCD do município no cenário atual (ano referência 2020) e futuro (2040 como referência). Além dos dados obtidos no modelo desenvolvido, foram realizados mapeamentos das principais áreas de deposição irregular e principais obras para propor uma rede de gestão de RCD no cenário atual. Já a rede de gestão de RCD para o cenário futuro utilizou informações relacionadas à expansão do município, obtidas no plano diretor; em acréscimo às informações obtidas com a aplicação do modelo de previsão desenvolvido.

Para verificação de sua eficiência, o modelo desenvolvido foi aplicado ao município de Varginha, localizado na região sul do Estado de Minas Gerais, e que apresenta população estimada de 136.602 habitantes (IBGE, 2020). As redes de gestão de RCD foram desenvolvidas contemplando quatro tipos de infraestruturas: PEVs e ATTs (propostos nesta pesquisa), e também usina de reciclagem e aterro sanitário (existentes no município).

Há três contribuições principais neste estudo:

- Desenvolvimento de modelo de previsão utilizando informações da área urbana, PIB e PIB per capita para estimar a geração dos resíduos de construção e demolição de municípios de médio porte populacional;
- Utilização da ferramenta de Sistema de Informação Geográfica por meio de um *software* livre (QGIS) para proposição de infraestruturas para recebimento dos resíduos de construção e demolição de pequenos e grandes geradores, considerando a situação atual do município e sua expansão;
- Análise das alterações na rede de gestão de RCD proposta para o cenário atual e futuro (considerando a expansão do município), de modo a possibilitar ações proativas na gestão de RCD.

1.3 Questões e hipóteses da pesquisa

Para o desenvolvimento da pesquisa, inicialmente foram levantadas as seguintes questões:

- O município selecionado como área de estudo desta pesquisa apresenta dados e/ou série de dados confiáveis sobre a geração de RCD?
- É possível desenvolver um modelo de previsão de geração de RCD aplicando métodos consolidados na literatura de forma individual ou conjunta?
- O modelo de previsão de geração de RCD desenvolvido pode ser aplicado em municípios de médio porte populacional?
- É possível utilizar um modelo de previsão de geração dos resíduos de construção e demolição para proposição do quantitativo de infraestruturas (PEVs e ATTs) de uma rede de gestão de RCD?
- A ferramenta de densidades de Kernel em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser utilizada para a determinação da localização das infraestruturas de tratamento dos resíduos que compõem a rede de gestão de RCD?
- Por meio do plano diretor é possível definir os vetores de expansão do município, promovendo alterações na rede de gestão de RCD para cenário futuro em comparação com a rede de gestão proposta para o cenário atual?
- A rede de gestão de RCD projetada para um cenário futuro sofre alterações em relação à rede de gestão proposta para o contexto atual (2020 como referência) em função da expansão urbana do município?

E a partir destas questões elaboraram-se as seguintes hipóteses de pesquisa:

- A aplicação do modelo de previsão de geração dos resíduos de construção e demolição permite a proposição de redes de gestão para cenário atual e futuro, tendo em vista que possibilita a definição do quantitativo e a localização das infraestruturas (PEVs e ATTs) para a destinação eficiente dos resíduos de construção e demolição dos pequenos e grandes geradores.
- A expansão urbana do município promove alteração da localização das infraestruturas de tratamento do RCD, em função das mudanças dos principais pontos de geração dos resíduos, quantidade de resíduos gerados e dos vetores de expansão da cidade.

1.4 Objetivo geral

Com o objetivo de alcançar resultados que respondam às perguntas da pesquisa e verifiquem as hipóteses da mesma, o seguinte objetivo geral é formulado:

- Desenvolver modelo de previsão de geração dos resíduos de construção e demolição para municípios de médio porte populacional, possibilitando a proposição de rede de gestão visando um cenário de expansão do município, comparando-a com uma rede de gestão desenvolvida para o contexto atual.

1.5 Objetivos específicos

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

- Desenvolver modelo de previsão de geração dos resíduos de construção e demolição utilizando informações da área urbana, PIB e PIB per capita para prever a quantidade de RCD gerado nos municípios de médio porte populacional;
- Utilizar a ferramenta de densidades de Kernel em um Sistema de Informação Geográfica livre (QGIS) para propor localização das infraestruturas (PEVs e ATTs) que compõem a rede de gestão de RCD;
- Aplicar o modelo de previsão desenvolvido em um município de médio porte populacional: Varginha / MG;
- Propor uma rede de gestão de RCD para o cenário atual (2020) e de expansão do município (2040) baseada no modelo de previsão, contemplando infraestruturas que atendam aos pequenos e grandes geradores dos resíduos de construção e demolição;
- Analisar a rede de gestão de RCD proposta para o cenário atual, comparando-a com a rede projetada considerando a expansão do município.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica aborda os seguintes assuntos: resíduos sólidos, resíduos de construção e demolição; além da apresentação dos principais métodos de quantificação de geração de RCD. Também são abordados aspectos relacionados à deposição irregular e rede de gestão de RCD. Por fim, neste capítulo são apresentados diversos tipos de modelos de previsão, e ainda o estado da arte do uso de SIG como ferramenta para auxílio na gestão de RCD.

Buscando expor a limitação de estudos que utilizaram o Sistema de Informação Geográfica na rede de gestão de RCD, na Tabela 1 é possível verificar os resultados da pesquisa bibliográfica realizada, contemplando publicações entre os anos de 1990 e 2019 (mês de junho) sobre os assuntos abordados na revisão bibliográfica. Os resultados apresentados na referida tabela corroboram a necessidade da realização de mais estudos abrangendo o tema proposto nesta pesquisa, além de demonstrar a relevância e ineditismo dos aspectos abordados nesta tese.

Tabela 1: Resultados da pesquisa bibliográfica realizada.

Tema	Palavras-chave	Número de publicações
RS	“MSW” ou “Waste” ou “Solid waste”	513.119
RCD	“C&D” ou “Construction waste” ou “Construction and demolition waste”	24.843
SIG	“GIS” ou “Geographic information system”	181.777
REDE + SIG	“Network” e “GIS”	61.664
REDE + SIG + RS	“Network” e “GIS” e “MSW” ou “Waste” ou “Solid waste”	1.611
REDE + RCD	“Network” e “C&D” ou “Construction waste” ou “Construction and demolition waste”	29
SIG + RCD	“GIS” e “C&D” ou “Construction waste” ou “Construction and demolition waste”	17
REDE + SIG + RCD	“Network” e “GIS” e “C&D” ou “Construction waste” ou “Construction and demolition waste”	1

Diversos trabalhos foram selecionados e utilizados para compor a pesquisa bibliográfica desta tese, de modo a conceituar o material do estudo (resíduo sólido, mais especificamente o resíduo de construção e demolição) e as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento das redes de gestão do resíduo (modelo de previsão da geração de RCD e Sistema de Informação Geográfica).

Também foram apresentados estudos que utilizaram estas ferramentas com o objetivo de solucionar problemas, sobretudo os de localização das infraestruturas que compõem uma rede de gestão de RCD. Desta forma, as referências pesquisadas foram fundamentais para o desenvolvimento desta tese.

2.1 Resíduos sólidos (RS)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas na NBR 10.004 (ABNT, 2004a) define resíduo sólido como qualquer forma de matéria ou substância (nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços, de varrição e de outras atividades da sociedade) capaz de provocar contaminação ambiental.

Minghua *et al.* (2009) e Shareefdeen *et al.* (2015) argumentam que o aumento da população, o rápido crescimento econômico e o aumento dos padrões de vida da comunidade aceleram a geração de resíduos sólidos urbanos nas cidades em desenvolvimento. Sendo assim, de acordo com Kaza *et al.* (2018), entender a quantidade e tipologia do RS gerado, sobretudo devido à rápida urbanização e crescimento populacional, é fundamental para os governantes locais selecionarem métodos apropriados de gestão; tendo em vista que, de forma geral, os resíduos sólidos provocam problemas de saúde pública, ocupação do espaço, degradação de recursos naturais e desequilíbrios ambientais (CAVALCANTE *et al.*, 2008; OLIVEIRA, 2012; NAGAPAN *et al.*, 2013; DING *et al.*, 2021).

Ao contrário do que ocorre na Europa, onde há a destinação adequada dos resíduos sólidos (KAZA *et al.*, 2018) e países que destinam 0% dos seus resíduos aos aterros (EUROSTAT, 2018); grande parcela dos resíduos sólidos são depositados em

aterros sanitários, aterros controlados e lixões no Brasil e em outros países em desenvolvimento (JUCÁ, 2003; OLIVEIRA, 2007; MINGHUA *et al.*, 2009; JACOBI e BESEN, 2011; SILVA e CAPANEMA, 2018; DING *et al.*, 2021); ou ainda, depositados de forma irregular, como em terrenos baldios, próximos a estradas, vias públicas e cursos d'água (SOUZA *et al.*, 2004; OLIVEIRA, 2007; KLEIN e DIAS, 2017; PAZ *et al.*, 2018).

Com o objetivo de verificar a situação da gestão dos resíduos sólidos no mundo, panoramas são publicados por organizações internacionais, como por exemplo o livro divulgado pelo Banco Mundial intitulado “*What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*” (KAZA *et al.*, 2018). Consta na publicação que o Brasil gerou 1,04 kg/hab.dia de resíduos sólidos no ano de 2016 (representando 78,3 milhões de toneladas geradas), sendo a base de dados publicações realizadas no país pela ABRELPE e SNIS.

Em seu último relatório de diagnóstico de manejo de resíduos sólidos disponível, referente ao ano de 2017, o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS, 2019), estimou 60,6 milhões de toneladas de RS coletados no Brasil. Enquanto isso, a massa coletada de resíduos recicláveis foi de apenas 1,5 milhão de toneladas (cerca de 2,5% do total coletado) no referido ano; demonstrando que a prática da coleta seletiva no país, embora apresente alguns avanços, ainda se encontra num patamar muito baixo. Em relação à disposição dos resíduos coletados em 2017, o diagnóstico aponta que 63% foram dispostos em 640 aterros sanitários, 8,1% em 576 aterros controlados, e 9,7% em 1.091 lixões (SNIS, 2019).

Relatório similar sobre o panorama dos resíduos sólidos no Brasil também é realizado anualmente pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2021). O relatório indicou geração de 82,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos no país, sendo destas, 76,1 milhões de toneladas coletadas no ano de 2020, o que implica em uma cobertura de coleta de 92,2%. A região sudeste foi a que mais gerou RS no país, representando 49,7% do total gerado, seguido pelas regiões nordeste (24,7%), sul (10,8%), centro-oeste (7,5%) e

norte (7,4%). Em termos de geração diária per capita, a região sudeste também é a principal, com geração de 1,262 kg/hab.dia, acompanhado das regiões centro-oeste (1,022 kg/hab.dia), nordeste (0,971 kg/hab.dia), norte (0,898 kg/hab.dia) e sul (0,805 kg/hab.dia) (ABRELPE, 2021). Ainda de acordo com a ABRELPE (2021), 45,8 milhões de toneladas de RS (60,2%) tiveram a destinação adequada, enquanto que 30,2 milhões de toneladas (39,8%) foram dispostos de forma inadequada; o que representa uma melhoria em relação ao panorama de 2018, que indicou percentual de 59,1% dos resíduos sólidos coletados dispostos em aterros sanitários, enquanto que 22,9% em aterros controlados, e 18% em lixões (ABRELPE, 2018).

O tratamento tradicional dos resíduos sólidos e despejo dos mesmos tem alguns desafios ambientais importantes (OJHA *et al.*, 2007), sobretudo pelas preocupações para a saúde ambiental (JAVAHERI *et al.*, 2006). De acordo com Khan *et al.* (2015), tais desafios ambientais, combinados com aspectos políticos, sociais e econômicas, assim como a disponibilidade de terra, são relevantes na indicação de áreas de recepção e disposição adequadas para os resíduos sólidos. A implementação de custos na forma de taxas de aterro, atrelado à redução das áreas disponíveis para aterros, ao aumento das distâncias entre o gerador e o aterro (implicando em mais custos de transporte), poluição do ar e sonora, emissão de gases e consumo de energia promovem o incentivo à reciclagem dos resíduos sólidos (DAVIES e DOBLE, 2004; DHIR *et al.*, 2019; PANZONE *et al.*, 2021).

Neste contexto, foi aprovada a Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que implementou a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecendo diretrizes que devem ser adotadas para o gerenciamento dos RS no Brasil; tais orientações passaram, então, a ter aplicação obrigatória (BRASIL, 2010). A PNRS apresenta ferramentas necessárias seguidas pelo governo Federal, de forma isolada ou em regime de cooperação com estados e municípios ou particulares, visando a gestão integrada e o gerenciamento ambiental adequado dos RS. Como exemplos podem-se citar os planos de resíduos sólidos nacional, estaduais, microrregionais e de regiões metropolitanas, os intermunicipais e municipais de gestão integrada de resíduos sólidos e os planos de gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Oliveira (2007) ressalta que, de forma complementar à legislação, a integração entre políticas urbanas e planejamento, o envolvimento de amplos segmentos sociais, a participação popular e o incremento da cidadania são ações necessárias para minimizar os impactos gerados pelos resíduos sólidos. Além disso, na busca por uma melhor destinação dos resíduos sólidos já gerados, de acordo com Pagnussat (2004), diversas pesquisas vêm sendo impulsionadas pelas questões ambientais, sendo que na engenharia civil se destacam, principalmente, as voltadas para o aprimoramento dos materiais e sistemas visando a gestão e redução dos resíduos originados. A consciência de que a gestão dos resíduos é uma questão estratégica para as empresas tem levado muitos pesquisadores a buscarem alternativas para o aproveitamento dos resíduos, dirigindo-se ao desenvolvimento sustentável (LEAL e FERREIRA, 2007).

De acordo com Corrêa e Ashley (2018), o termo desenvolvimento sustentável aplicado em política global alcançou seu ápice com a aprovação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável: Transformando nosso Mundo, pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU). Ainda conforme relatam os autores, a principal diferença desta agenda para a anterior (Agenda de Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, aprovada em 2000), foi o envolvimento de todas as nações signatárias, além da ampliação dos temas a serem tratados para realizar o desenvolvimento sustentável, considerando 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), conforme apresentado na Figura 1.

Silva *et al.* (2019) consideram ser fundamental o envolvimento de todas as esferas (privadas e públicas), por meio das organizações civis e governamentais, a fim de obter ampla e irrestrita participação no desenvolvimento sustentável. Este envolvimento conjunto é o conceito de governança ambiental, que se baseia no grande número de atores que apresentam interdependência, em busca de objetivos compartilhados, e com fronteiras fluídas entre público e privado (SILVA *et al.*, 2019).

Diante destes fatos, é necessário trabalhar em favor do meio ambiente, para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, para minimizar, ou até mesmo eliminar, os

resíduos sólidos, uma vez que estes deixarão de ser descartados e se tornarão resíduos que podem ser reaproveitados, reciclados e transformados em algo útil à humanidade (OLIVEIRA, 2007).



Figura 1: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).
Fonte: ONU (2015).

Esta tese aborda o resíduo de construção e demolição que, igualmente aos outros resíduos sólidos, provoca diversos impactos nos âmbitos ambiental, social e econômico quando não gerenciado de forma correta.

2.1.1 Resíduos de construção e demolição (RCD)

A construção civil é uma das atividades mais importantes para o desenvolvimento econômico e social (PINTO *et al.*, 2005; BARRA, *et al.*, 2006; OLIVEIRA, 2012). Entretanto, promove uma série de impactos ambientais provocados pelo consumo elevado de recursos naturais, modificação da paisagem e pelo volume de resíduos gerados (PINTO *et al.*, 2005; MARTINS, 2012; WU *et al.*, 2015).

O aumento significativo da geração de resíduo de construção e demolição é consequência da rápida urbanização, que contribui para um uso crescente de recursos não renováveis e promove graves impactos ambientais (YUAN, 2013;

PASSARINI *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2015). Segundo Nagalli (2014), devido ao grande volume de resíduos na construção civil, é fundamental o seu gerenciamento adequado em busca da redução dos resíduos gerados. Entretanto, a gestão do RCD, na maior parte das cidades brasileiras, ainda é um desafio, mesmo com a significativa importância da construção civil na economia (SCHAMNE, 2016).

Dentre os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável apresentados pela ONU (2015), é possível relacionar os seguintes com a atividade da construção civil e seus resíduos: 6 - Água limpa e saneamento, 9 - Indústria, inovação e infraestrutura, 11 - Cidades e comunidades sustentáveis e 12 - Consumo e produção responsáveis.

A Resolução nº 307/02 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) define os resíduos da construção civil:

São os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (CONAMA, 2002).

A Resolução CONAMA (2002) também discrimina as áreas de destinação do RCD por meio dos termos técnicos a seguir:

- Aterro de resíduos: é a área tecnicamente adequada onde serão empregadas técnicas de destinação de RCD classe A no solo, visando a reservação de materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro ou futura utilização da área, utilizando princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente e devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente;
- Área de transbordo e triagem de RCD: área destinada ao recebimento de RCD e resíduos volumosos, para triagem, armazenamento temporário dos materiais segregados, eventual transformação e posterior remoção para destinação adequada, de modo a minimizar os impactos ambientais adversos;

- Beneficiamento: É o ato de submeter um resíduo às operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria prima ou produto;
- Reciclagem: É o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação.

Segundo Pucci (2006) é recomendado que os RCDs sejam classificados e separados à medida que as etapas da obra sejam realizadas, promovendo a gestão mais dinâmica dos resíduos nos canteiros de obras. A gestão dos referidos resíduos é fundamental, tendo em vista que, no Brasil, grande parte dos processos construtivos é essencialmente manual e a maioria do RCD é gerado nestes locais (NAGALLI, 2014). Somado a este fato, a Associação Brasileira de Normas Técnicas revisou a norma “Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de Cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaio”, permitindo a utilização do RCD em concretos estruturais (ABNT, 2021).

A publicação de normas é uma das ações que possibilita a melhorias das taxas de reciclagem dos resíduos (DHIR *et al.*, 2019). De acordo com os autores, por meio de uma padronização robusta e legislação governamental é possível realizar um controle de qualidade eficaz para promover a certificação do RCD, proporcionando uma maior aceitação e demanda por estes materiais, e conseqüentemente, estimular a reciclagem dos resíduos. Em países desenvolvidos, foram aplicadas diversas estratégias para a melhoria da gestão do RCD (ARM *et al.*, 2017; LI, *et al.*, 2020); entre elas: cobrança de tributos para a utilização de agregados naturais, pagamento de taxas de aterro, desconstrução e demolição seletiva, certificação dos agregados reciclados e publicação de normas e leis para incentivar o uso dos resíduos oriundos da construção civil (DHIR *et al.*, 2019).

De acordo com Wu *et al.* (2014) e Zhang *et al.* (2019), para promover a gestão eficiente do RCD, aplicando as estratégias citadas, é necessário ter conhecimento sobre a geração dos resíduos. Há diversos fatores que podem interferir na geração e composição do RCD, como por exemplo: o desenvolvimento econômico e

tecnológico, as técnicas construtivas, os materiais utilizados e as técnicas de demolições empregadas (CABRAL e MOREIRA, 2011). Para Leite (2001), de forma geral, a qualidade dos materiais, a qualificação da mão-de-obra, a existência de procedimentos operacionais e mecanismos de controle do processo construtivo são considerações importantes a serem analisadas porque influenciam diretamente no volume de resíduos gerados.

Em nível regional e nacional, fatores como a expansão urbana (PIRES *et al.*, 2011; GAO *et al.*, 2018), o crescimento do produto interno bruto (SOKKA *et al.*, 2007) e do PIB per capita (MENEGAKI e DAMINGOS, 2018; ZHANG *et al.*, 2019) podem promover interferência no quantitativo de resíduo de construção e demolição gerado.

Dados da ABRELPE (2020, 2021) indicaram que o Brasil coletou cerca de 47 milhões de toneladas de RCD em 2020, representando um crescimento de 5,5% em relação ao ano anterior. Em comparação com o ano de 2010, no qual foram coletados 33,4 milhões de toneladas de RCD, houve um aumento de 40,8% do RCD coletado. Verifica-se também um acréscimo nas taxas de coleta, que foram de 0,174 – 0,214 – 0,221 toneladas/habitante.ano de RCD coletado, respectivamente para os anos de 2010, 2019 e 2020. Na Tabela 2 é possível verificar a distribuição regional do RCD coletado no país nos anos de 2010, 2019 e 2020.

Tabela 2: Resíduo de Construção e Demolição coletado no Brasil em 2010, 2019 e 2020.

Região	RCD		RCD		RCD	
	coletado	Índice	coletado	Índice	coletado	Índice
	(Mt/ano)	(t/hab.ano)	(Mt/ano)	(t/hab.ano)	(Mt/ano)	(t/hab.ano)
	2010		2019		2020	
Norte	1,243	0,081	1,719	0,095	1,813	0,097
Nordeste	5,717	0,107	8,805	0,155	9,047	0,158
Centro-oeste	4,014	0,289	4,838	0,301	5,271	0,319
Sudeste	17,151	0,212	23,243	0,265	24,497	0,275
Sul	5,252	0,190	5,930	0,199	6,370	0,211
Total	33,377	0,174	44,534	0,214	46,997	0,221

Fonte: ABRELPE (2020, 2021).

Estimativas de geração de RCD foram realizadas para diferentes países, conforme pode ser visualizado na Tabela 3.

Tabela 3: Estimativas de geração de resíduos de construção e demolição (RCD).

País	RCD (Mt/ano)	Fonte
China	2360	Ruiz <i>et al.</i> (2019)
Estados Unidos	534	Ruiz <i>et al.</i> (2019)
França	228 / 224	EUROSTAT (2017b) / Ruiz <i>et al.</i> (2019)
Alemanha	206 / 220	EUROSTAT (2017b) / Ruiz <i>et al.</i> (2019)
Espanha	20 / 36	EUROSTAT (2017b) / Ruiz <i>et al.</i> (2019)
Brasil	70	Akhtar e Sarmah (2018)
Itália	52	EUROSTAT (2017b)
Holanda	90	EUROSTAT (2017b)
Suécia	9	EUROSTAT (2017b)

Entretanto, Akanbi *et al.* (2020) e Maués *et al.* (2020) ponderam que estimar a geração de RCD é particularmente oneroso e complexo, porque há grande variabilidade nos projetos de construção e demolição. Desta forma, imprecisões em relação à estimativa de RCD gerado são comuns em países em desenvolvimento, os quais apresentam limitadas estatísticas sobre a geração dos resíduos (AKANBI *et al.*, 2020; MAUÉS *et al.*, 2020).

Todavia, a ausência de dados estatísticos da geração de RCD não ocorre apenas em países em desenvolvimento, mas também em algumas economias desenvolvidas, o que pode levar a uma gestão inadequada dos resíduos de construção e demolição (LU *et al.*, 2017). No Brasil existem poucos dados sobre o quantitativo de RCD gerado pelos municípios, restritos a levantamentos como os realizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento e pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (KANNO *et al.*, 2020).

De acordo com Wu *et al.* (2014), quantificar a geração de RCD é considerado um pré-requisito para a implementação de uma gestão de resíduos bem-sucedida. Na

literatura, diversos métodos têm sido empregados para quantificar a geração de RCD em nível nacional, regional e de projeto.

2.1.2 Principais métodos de quantificação de geração de RCD

Lage *et al.* (2010) e Wu *et al.* (2014) argumentam que o primeiro passo para uma gestão eficiente dos resíduos de construção e demolição é a determinação da quantidade de resíduo gerado. Independentemente do nível de gestão, a referida quantificação dos resíduos gerados pode fornecer informações valiosas para a gestão do RCD (BERGSDAL *et al.*, 2007). No entanto, a falta de abordagens de registros históricos e de previsões confiáveis torna difícil estimar a quantidade de RCD para um plano de curto ou longo prazo (WU *et al.*, 2015). Em razão disto, em função da ausência de informações confiáveis a respeito da geração de RCD, na literatura inúmeras metodologias têm sido propostas para quantificar e prever a geração destes resíduos (ZHANG *et al.*, 2019).

Segundo Wu *et al.* (2014), é possível classificar os métodos de quantificação de geração de RCD em 6 (seis) principais grupos, sendo importante ressaltar a possibilidade da utilização de mais de uma metodologia de quantificação em determinados casos. De acordo com o autor, os principais métodos são: visita local, cálculo de taxa de geração, análise do ciclo de vida, sistema de classificação, modelagem de variáveis e outros métodos específicos.

As definições dos métodos são apresentadas abaixo de forma resumida, exceto os focados em quantificação de RCD em nível regional, objeto desta pesquisa, que serão abordados de forma mais ampla.

1. Visita local

Este método consiste na visita aos locais de construção e demolição para levantamento do quantitativo de resíduo gerado, podendo ser classificado em uma abordagem direta ou indireta (WU *et al.*, 2014). Embora os autores tenham informado que este método é aplicado em nível de projeto, há relatos pesquisas que desenvolveram esta metodologia também em nível regional.

Na medição direta, os resíduos produzidos nas obras são pesados ou seu volume é calculado. Lau *et al.* (2008) consideraram a fórmula de uma pirâmide de base retangular para quantificar o RCD gerado em uma obra (nível de projeto).

Wu *et al.* (2014) concluíram que a medição indireta é utilizada com mais frequência para estimativas práticas, uma vez que a medição direta requer uma quantidade substancial de tempo e trabalho. Poon *et al.* (2004) obtiveram o volume de RCD gerado em um projeto por meio da multiplicação do número de caminhões que transportaram o resíduo e o volume de capacidade de carga dos mesmos. Este método também foi utilizado por Kartam *et al.* (2004) para quantificar a geração de RCD em nível regional, no qual o volume foi calculado através dos registros de cargas dos caminhões que transportaram resíduos para os aterros sanitários. As pesquisas citadas acima foram adaptações do modelo pioneiro realizado por Pinto (1999).

Além das abordagens citadas, entrevistas com profissionais ligados à gestão de RCD podem ser realizadas para obtenção de informações relacionadas à geração dos resíduos (WU *et al.*, 2014). Os autores justificam que estes profissionais possuem conhecimento relevante que pode auxiliar no ajuste de informações sobre a geração dos resíduos de construção e demolição.

2. Cálculo de taxa de geração

De acordo com Wu *et al.* (2014), o cálculo de taxa de geração é a metodologia mais popular para estimar as quantidades de RCD, podendo ser aplicado em nível regional e de projeto. Este método pode ser dividido em três subgrupos: cálculo de geração por área, multiplicador per capita e extrapolação de valor financeiro.

No cálculo de geração de RCD por área é multiplicada a área da construção/demolição por uma taxa de geração de resíduos (em unidades de massa ou volume dividido pela área) para obtenção do quantitativo de RCD gerado (ZHANG *et al.*, 2019). As taxas de geração por área podem ser obtidas por meio de variadas abordagens; tais como visita ao local, consulta aos projetos, licenças de construção e revisão de literatura (COELHO e BRITO, 2011; ZHAO *et al.*, 2011).

Baseado em metodologias de quantificação de resíduos sólidos urbanos, o método de multiplicador per capita foi o primeiro a ser utilizado para calcular a quantidade de RCD gerado (WU *et al.*, 2014). Ainda de acordo com os autores, o multiplicador per capita é uma maneira fácil de quantificar o RCD em um nível regional. A quantidade de RCD gerado é calculado pela multiplicação da população e a taxa de geração de RCD por habitante durante um período determinado (dia, mês ou ano). Na literatura, a primeira aplicação deste método foi realizada por McBean e Fortin (1993) ao obterem a quantidade de RCD gerado na cidade canadense de Waterloo entre os anos de 1983 e 1990. Com os valores de geração de RCD anuais, os autores calcularam uma geração média anual de 1,09 toneladas por habitante; taxa que foi extrapolada para estimar a geração de RCD dos anos posteriores por meio de sua multiplicação pela população. Zhang *et al.* (2019) concluíram que o método de multiplicador per capita é apropriado para muitos países em desenvolvimento que não possuem muitas estatísticas. Os autores ainda chegaram à conclusão de que a utilização de métodos combinados pode fornecer um resultado mais abrangente em países menos desenvolvidos que tenham um crescimento rápido.

A extrapolação de valor financeiro utiliza as informações obtidas nas licenças de construção e demolição relacionadas aos valores dos projetos para quantificar o RCD gerado (WU *et al.*, 2014). Esta metodologia foi desenvolvida por Yost e Halstead (1996) e consistiu em determinar, inicialmente, uma relação entre a geração de resíduos de gesso e a área de 72 projetos de construção. Em um segundo momento, os autores obtiveram, por meio dos dados das licenças de construção, o valor financeiro por metro quadrado. Deste modo, foi possível determinar uma relação entre a quantidade de resíduo gerado e o valor financeiro dos projetos; sendo esta extrapolação aplicada em nível regional.

3. Análise do ciclo de vida

Assim como o método anterior, a análise de ciclo de vida pode ser dividida em dois subgrupos: análise do ciclo de vida da construção e do ciclo de vida do material (WU *et al.*, 2014). Wu *et al.* (2014) afirmam que esta metodologia é utilizada principalmente

para quantificar resíduos oriundos de demolições, tendo em vista que o principal princípio envolvido neste método é o balanço de massas do material utilizado nas construções. Portanto, de acordo com os autores, a quantidade de massa de RCD gerado na demolição das edificações deve ser igual à massa da estrutura construída, podendo a mesma ser projetada assumindo um ciclo de vida das construções ou dos materiais utilizados.

A análise do ciclo de vida da construção foi abordada em estudo realizado por Poon (1997), no qual o autor categorizou edificações com variadas idades em quatro grupos (construídos entre 1939/1945, 1946/1955, 1956/1960 e 1961/1965) para propor diferentes cenários a fim de definir um percentual de demolição para cada um dos grupos. Por meio da análise dos cenários propostos, Poon (1997) selecionou o panorama que julgou ser o mais realista para calcular a geração de RCD utilizando o método de cálculo de taxa de geração após conhecer o volume gerado por unidade de área construída e a massa do material por unidade de volume.

Já a análise do ciclo de vida dos materiais foi desenvolvida por Cochran e Townsend (2010) por meio de uma análise de fluxo dos materiais para estimar a geração de RCD. Neste método foram examinados os quantitativos de materiais que ingressaram nas construções em determinado intervalo de tempo para previsão do momento em que os mesmos se tornariam resíduos. Para determinar a geração de RCD nos EUA, a quantidade de materiais de construção consumidos no país foi multiplicada pela proporção média descartada em decorrência das atividades de construção (COCHRAN e TOWNSEND, 2010).

4. Sistema de classificação

O método de sistema de classificação tem sido amplamente utilizado nos últimos anos (SOLIS-GUZMAN *et al.*, 2009; COELHO e BRITO, 2011). Trata-se de uma metodologia desenvolvida com base no método de cálculo de taxa de geração, sendo a sua principal melhoria a classificação por tipologia dos materiais do RCD gerado (WU *et al.*, 2014).

De acordo com Wu *et al.* (2014), os resultados desta metodologia fornecem dados mais eficazes para o desenvolvimento de estratégias de gestão mais adequadas, uma vez que cada tipo de resíduo possui características diferentes e requer um tratamento diferente. Os autores complementam que este método pode ser configurado usando os sistemas existentes, como o sistema de orçamento de projeto regional ou a Lista Europeia de Resíduos.

A pesquisa desenvolvida por Solis-Guzman *et al.* (2009) utilizou esta metodologia em um sistema de orçamento de projeto da Espanha organizado em capítulos e subcapítulos, tomando como exemplo 02 TX, no qual 02 correspondeu ao capítulo (representando a atividade de terraplenagem) e TX o subcapítulo (representando o transporte terrestre). A quantidade de resíduos deste item foi calculada aplicando o método de visita local e cálculo de taxa de geração, já o quantitativo total de RCD gerado pode ser calculado por meio do somatório de todos os itens listados como capítulos e subcapítulos (SOLIS-GUZMAN *et al.*, 2009).

5. Modelagem de variáveis

Na metodologia de modelagem de variáveis, podem ser considerados inúmeros fatores que influenciam a geração de RCD, tais como indicadores econômicos, áreas de construção, condições de trabalho no local e outros (WU *et al.*, 2014). Wu *et al.* (2014) complementam que neste método, a geração de resíduos de construção e demolição é prevista por modelagem que ajuda a compreender a inter-relação entre as variáveis e fornece informações mais sistemáticas para a tomada de decisão.

A modelagem de variáveis foi utilizada para estimar a geração de RCD em nível local por Wimalasena *et al.* (2010) utilizando cinco variáveis: fatores específicos da atividade, fatores relacionados à mão de obra e equipamentos, fatores relacionados ao material e ao armazenamento, às condições do local e fatores relacionados ao clima e às políticas da empresa.

Para estimativa da geração de RCD em nível regional, Ye *et al.* (2010) propuseram um modelo conceitual baseado na teoria da dinâmica de sistemas, no qual foram

estabelecidas inter-relações usando loops casuais, que foram utilizados para diminuir a complexidade do sistema e refletir as mudanças das variáveis. Desta forma, a geração dos resíduos de construção e demolição pode ser modelada dinamicamente.

6. Outros métodos específicos

Além dos métodos apresentados, algumas outras metodologias também foram utilizadas por pesquisadores, sendo, desta forma, classificados como métodos específicos.

Estimativa da geração de resíduos de concreto foi realizada por Shi e Xu (2006) a partir da produção anual de cimento na China. Os autores utilizaram taxas de geração de resíduo de concreto e a proporção de cimento no concreto para estimar a quantidade de resíduos de concreto.

Outro método específico foi desenvolvido por Hao *et al.* (2008), no qual os pesquisadores estimaram em 10% a geração de RCD em relação aos materiais utilizados nas construções. Desta forma, eles utilizaram esta taxa fixa para estimar a quantidade de RCD gerado em função do quantitativo de materiais utilizados pela construção civil.

7. Seleção dos métodos desta pesquisa

A partir do conhecimento dos principais métodos de quantificação de geração de RCD foi possível selecionar a combinação de métodos para aplicação nesta pesquisa, seguindo a recomendação de Zhang *et al.* (2019), que concluíram a observação de melhores resultados ao utilizar mais de um método de quantificação combinado em países em desenvolvimento.

Nesta pesquisa, foram combinados os métodos de visita local e cálculo da taxa de geração para quantificação da geração de RCD, ambos em nível regional, uma vez que era necessário estimar o total de RCD gerado no município, e não se dispunha de dados consistentes. A relevância e frequência de aplicação destes métodos, somado à praticidade de emprego dos mesmos e à inexistência de estatísticas

consistente sobre a geração de RCD em nível regional foram relevantes para a seleção e aplicação da metodologia da pesquisa (item 3).

2.1.3 Importância da previsão de geração de RCD

A previsão da geração futura dos resíduos de construção e demolição pode auxiliar os gestores a conduzirem melhor o arranjo dos recursos em nível local e auxiliar os tomadores de decisão regionais no estabelecimento de instalações de recepção de resíduos eficientes (THEMELIS e MUSSCHE, 2014; WU *et al.*, 2015). Segundo Zhang *et al.* (2019), a falta de dados é senso comum na maioria dos países em desenvolvimento; portanto, um método de previsão de geração apropriado é essencial para a gestão de RCD nestes países.

No entanto, ao contrário do que ocorre com os RSU, há poucas pesquisas desenvolvidas sobre a previsão da geração futura de RCD (YUAN e SHEN, 2011). Wu *et al.* (2015) concluíram que as pesquisas sobre a previsão de geração de RSU e RCD apresentam diferentes focos; sendo as de RCD concentradas principalmente na estimativa da quantidade histórica para melhor compreensão do mecanismo de geração dos resíduos, enquanto as de RSU geralmente focadas na previsão de geração futura utilizando modelos de regressão.

Desta forma, os estudos atuais sobre a geração de RCD se concentram principalmente na estimativa da quantidade de resíduo gerado em um projeto concluído ou na quantificação de RCD dos anos anteriores em nível regional (WU *et al.*, 2014). Ainda de acordo com Wu *et al.* (2014), isto ocorre principalmente porque as informações de apoio para a previsão não são adequadas em muitos casos.

Sob uma perspectiva atual, vários métodos de quantificação foram propostos em estudos anteriores para determinar o volume de RCD gerado, sem focar na classificação dos resíduos e na melhoria da gestão dos mesmos (DING *et al.*, 2021). Entretanto, segundo Kern *et al.* (2015), a quantificação da geração e classificação dos resíduos pode contribuir para um melhor controle dos resíduos e fornecer informações para melhoria da gestão. O desafio para o cenário futuro é desenvolver

métodos que permitam conhecer com maior detalhamento a produção de resíduos em todas as etapas de construção/demolição para otimizar sua reciclagem e reutilização (OSMANI e VILLORIA-SÁEZ, 2019). Sendo assim, há uma grande lacuna na literatura sobre as previsões de geração futura de RCD nos países em desenvolvimento, sobretudo pela ausência de dados confiáveis (SONG, 2017).

Todavia, Wu *et al.* (2014) afirmam que estudos têm surgido para investigar a taxa de geração de resíduos em nível de projeto. Os autores acreditam que a previsão de resíduos a nível regional está se tornando cada vez mais aplicável, no entanto ainda há um longo caminho a ser percorrido. É necessário obter dados consistentes para que modelos de previsões utilizando regressão de séries temporais possam ser utilizados na gestão de RCD (WU *et al.*, 2014).

Ghinea *et al.* (2016) citam que a seleção dos fatores que podem afetar as tendências de geração de resíduos é fundamental para a construção de um modelo de previsão adequado. Os métodos tradicionais de previsão de geração de resíduos usualmente utilizam fatores demográficos e socioeconômicos (DYSON e CHANG, 2005; KOLEKAR *et al.*, 2016). É possível relacionar o aumento da geração de resíduos com o desenvolvimento socioeconômico e a urbanização (GIUSTI, 2009; HOGLAND e MARQUES, 2007; PIRES *et al.*, 2011). Segundo Dyson e Chang (2005), alguns métodos utilizam uma base per capita para prever a geração de RCD, podendo apresentar coeficientes fixos ou projetados para mudarem com o decorrer do tempo.

Diversas análises de regressão foram realizadas a fim de estimar como diferentes variáveis podem afetar a geração de resíduos a longo prazo, de modo que a população urbana, o produto interno bruto e o nível de consumo dos habitantes foram considerados os principais fatores que influenciam a produção de resíduos (WEI *et al.*, 2013; GRAZHDANI, 2015).

Segundo Wu *et al.* (2015), diferentes fatores influenciam a geração de RCD e podem ser utilizados em modelos de previsão de geração. Os principais aspectos utilizados na pesquisa desenvolvida por estes pesquisadores para o desenvolvimento de seu modelo são apresentados a seguir:

- A quantidade atual de RCD está relacionada às suas observações históricas, sendo a geração de dados um processo contínuo e consistente que tem suas próprias tendências e variações (CHUNG, 2010);
- A área bruta de construção tem uma relação estreita com a geração de RCD, ou seja, quanto mais edificações são construídas, maior será o quantitativo de resíduo gerado (BERGSDAL *et al.*, 2007);
- O PIB pode refletir o desenvolvimento econômico holístico de uma determinada região diretamente, refletindo a situação do consumo de materiais de forma indireta, inclusive os da construção civil (SHI e XU, 2006).

Kolekar *et al.* (2016) realizaram uma ampla pesquisa bibliográfica sobre os modelos de previsão de geração de resíduos sólidos. Os autores concluíram que grande parte das pesquisas foram desenvolvidas com modelos utilizando mais de uma variável independente (análise multivariada) para obter a variável dependente (quantitativo de resíduo gerado), embora também tenham sido realizados estudos com apenas uma variável independente (análise bivariada).

Análises da geração de RCD em um nível regional foram realizadas por Pires *et al.* (2011) e Gao *et al.* (2018), que concluíram que a expansão urbana é um dos principais fatores que promove aumento na quantidade de resíduos gerados. O crescimento do PIB também pode ser considerado um fator que influencia a geração de resíduos (SOKKA *et al.*, 2007). Zhao *et al.* (2011) afirmam que um aumento nas áreas de construção, e conseqüentemente da geração de RCD, é provocada pela aceleração do PIB. Menegaki e Damigos (2018) concluíram que os resíduos de construção e demolição gerados aumentaram quando o PIB per capita cresceu.

As variáveis de expansão urbana (LEBERSORGER e BEIGL, 2011; WEI *et al.*, 2013; GRAZHDANI, 2015), PIB (SHI e XU, 2006; CHUNG, 2010) e PIB per capita (HU *et al.*, 2010; MENEGAKI e DAMIGOS, 2018) já foram utilizadas em estudos de previsão de geração de resíduos. No entanto, Noori *et al.* (2009) afirmam que considerar um amplo número de variáveis em um modelo de previsão de geração pode impactar o estudo devido à necessidade de grande número de amostras e longa base de dados.

No Brasil há poucas iniciativas para obtenção de dados públicos relacionados à gestão de RCD, desta forma não existem informações suficientes sobre os resíduos para permitir o desenvolvimento de modelos de previsão (ALFAIA *et al.*, 2017). Deste modo, é importante prever a geração de RCD de forma consistente em regiões com disponibilidade limitada de dados (RAM e KALIDINDI, 2017; ZHANG *et al.*, 2019).

No item 2.2.3 serão apresentados com maior detalhamento os principais métodos utilizados no desenvolvimento de modelos de previsão de geração aplicados na gestão de resíduos.

2.1.4 Deposição irregular de RCD

De acordo com Paz *et al.* (2018), grande parte das cidades brasileiras não possui um sistema adequado de coleta e destinação dos resíduos de construção e demolição. A ausência deste sistema nos canteiros de obras contribui para a deposição irregular do RCD nas ruas, rios e outros espaços ilegais (MAHAYUDDIN *et al.*, 2008).

A deposição do RCD em áreas irregulares traz uma série de impactos ambientais como: poluição visual, inundação causada pelo estreitamento das margens dos rios, poluição da água e do solo, incentivo à deposição de outros tipos de resíduos, e um aumento nos vetores de doença (FERREIRA e PINTO, 2010; IKAU *et al.*, 2016). Além disto, Lockrey *et al.* (2016) e Ajayi *et al.* (2017) acrescentam que a deposição irregular do RCD promove aumento substancial nos custos de gestão dos resíduos, uma vez que se torna oneroso realizar a coleta e o transporte do RCD destes locais, e também pelo fato destes resíduos apresentarem baixa taxa de reciclagem.

Conforme a Resolução CONAMA nº 307/02, o RCD não pode ser disposto em aterros sanitários, “bota-foras”, encostas, corpos d’água, lotes vazios ou áreas protegidas por lei. Esta resolução ainda discorre sobre a responsabilidade dos geradores para o correto manejo do RCD e para o cumprimento do plano de gerenciamento dos RCD (CONAMA, 2002).

O aumento populacional e o desenvolvimento econômico no Brasil durante os últimos anos proporcionaram maiores investimentos em obras de infraestrutura, ocasionando

também um aumento considerável na geração de resíduos na construção civil. Estes problemas correspondem ao manejo e deposição incorreta dos resíduos, provocando ônus ao município, à sociedade, à saúde e ao meio ambiente (FREITAS, 2009).

Segundo Ferreira e Pinto (2010), a deposição irregular do RCD é considerada um óbice de limpeza pública, resultando numa série de inconvenientes aos municípios. O despejo ilegal de resíduos de construção e demolição também é um grande problema para os países desenvolvidos. Ichinose e Yamamoto (2011) indicaram que cerca de 70% dos locais de despejo ilegal no Japão continham RCD; enquanto que no Reino Unido, o custo estimado para limpeza dos locais irregulares de deposição de RCD é de cerca de 45,8 milhões de libras por ano (DEFRA, 2010).

Portanto, o gerenciamento e deposição inadequados provocam impactos ambientais negativos como degradação e poluição do solo, comprometimento dos corpos d'água e mananciais, obstrução dos sistemas de drenagem, intensificação de enchentes, degradação da paisagem urbana, ocupação de vias e logradouros públicos por resíduos e proliferação de vetores nos centros urbanos (PINTO, 2005; CAVALLARO, 2007; KARPINSK *et al.*, 2009; BRASIL, 2010; AGOPYAN e JOHN, 2011; DELONGUI *et al.*, 2011; LU e TAM, 2013; YEHEYIS *et al.*, 2013).

Estudos realizados em cidades brasileiras de Passo Fundo - RS (KARPINSK *et al.*, 2009), Parnaíba - PI (NETO, 2010), São José do Rio Preto - SP (SILVA, 2012), Uberlândia - MG (RIBEIRO e DIAS, 2013), Montes Claros - MG (MOURÃO *et al.*, 2015) e São Paulo - SP (KLEIN e DIAS, 2017) relacionaram a deposição incorreta dos resíduos sólidos a diferentes aspectos ambientais, sociais e econômicos. As principais causas citadas nestes estudos relacionados à deposição irregular dos resíduos foram a fiscalização e gestão precárias, e também a acessibilidade até os pontos de deposição.

Além destas causas, a escassez de instalações de tratamento de resíduos, longas distâncias para aterros autorizados ou locais de reciclagem, altas taxas para transportar os resíduos para locais designados e desconhecimento de alguns produtores de resíduos sobre suas responsabilidades de transportar os resíduos para

instalações de tratamento também são razões para a deposição irregular de RCD (ICHINOSE e YAMAMOTO, 2011; MATOS *et al.*, 2012).

Estimativas de Leite *et al.* (2011) indicaram que cerca de dois terços do RCD produzido diariamente (16 mil toneladas) na cidade de São Paulo são transportados para locais de despejos ilegais. Já em Belo Horizonte, embora haja legislação para inibir o descarte inadequado dos resíduos de construção e demolição, foram contabilizados cerca de 650 bota-foras irregulares (PMBH, 2007). Na Figura 2 é possível visualizar fiscalização realizada pela Polícia Militar de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais em que foi apurada a deposição inadequada de resíduos sólidos próximo ao leito do Rio das Velhas.



Figura 2: Bota-fora irregular próximo ao Rio das Velhas.
Fonte: Polícia Militar de Meio Ambiente (2017).

Desta forma, o encaminhamento de resíduos sólidos para locais inadequados configura-se um dos piores impactos ao meio ambiente, pois a decomposição dos materiais gera substâncias altamente tóxicas que contaminam diretamente o solo, a água, o ar, a fauna, a flora e a população humana. Trata-se de uma prática ilegal, com efeitos danosos incontroláveis e que, com o passar dos anos, gera custos cada vez mais elevados para adoção de medidas de controle e remediação (ABRELPE, 2018).

2.1.5 Rede de gestão de RCD

O desenvolvimento de uma rede de gestão de resíduos eficiente exige a integração de todas as infraestruturas do sistema (por exemplo, estações de transbordo, centros de reciclagem e descarte) (BING *et al.*, 2016) e que considere a recepção dos resíduos produzidos por pequenos e grandes geradores (CÓRDOBA, 2010; FERNANDES E FILHO, 2017). Portanto, de acordo com Baptista e Romanel (2013) e Pan *et al.* (2020), uma rede de gestão que contemple a reciclagem do RCD apresenta-se como uma boa alternativa para reduzir os impactos causados pelo acúmulo de RCD e também para impulsionar as taxas de reciclagem, proporcionando a valorização econômica do RCD pela indústria da construção civil.

De acordo com Hiete *et al.* (2011), é possível otimizar a gestão dos resíduos de construção e demolição a partir do planejamento de uma rede de reciclagem de RCD integrada às cadeias de oferta e demanda do resíduo em nível regional. Os autores afirmam que a adoção de políticas para ampliação da reciclagem de RCD são uma boa estratégia porque reduzem a deposição em aterro, além de conservarem os agregados naturais. Desta forma, para combater o descarte inadequado e o manuseio incorreto do RCD (OSSA *et al.*, 2016), deve-se aproveitar a grande capacidade da construção civil em incorporar novos materiais originados da reciclagem do RCD (BOHNENBERGER *et al.*, 2018).

Sendo assim, a utilização do RCD como matéria-prima na construção civil auxilia na redução da quantidade de recursos naturais retirados do meio ambiente, visto que permite a produção de materiais alternativos de menor custo, substituindo em grande parte os agregados naturais empregados em concretos, argamassas, blocos, barreiras de contenção, camadas estruturais para pavimentação e demais aplicações (FIORITI, 2007). Algo que só é possível com a aplicação de uma rede de gestão eficiente dos resíduos de construção e demolição, que favoreça a logística reversa (AHMED e ZHANG, 2021) e a ampliação dos nichos de mercado para reutilização do RCD (FU *et al.*, 2017).

Dhir *et al.* (2019) citam que para promover maior aceitação e demanda do mercado é necessário controlar a qualidade e buscar a certificação dos resíduos, algo que foi objetivado pela NBR15.116 (ABNT, 2021), já que, segundo Behera *et al.* (2014) e Totic *et al.* (2015), uma das principais maneiras de utilização do RCD reciclado é na forma de agregados em concreto reciclado, contribuindo para a redução do volume de RCD e do uso de agregados minerais naturais. Também já foram realizados diversos estudos para verificar as propriedades do concreto reciclado com agregados de RCD, nos quais destacam-se a avaliação da durabilidade do concreto (BRAVO *et al.*, 2015; FAELLA *et al.*, 2016) e a resistência à compressão (LIMA *et al.*, 2013; PEPE *et al.*, 2014; GONZÁLEZ-COROMINAS e ETXEBERRIA, 2014).

Desta forma, as aplicações dos RCD relatadas indicam a capacidade da indústria da construção civil de absorver quase totalmente os resíduos por ela gerados, com a possibilidade de incorporar novos materiais de construção a partir da reciclagem do RCD (BOHNENBERGER *et al.*, 2018). Ainda, de acordo com o autor, a reciclagem do RCD pode contribuir para o desenvolvimento sustentável, tendo em vista que minimiza a geração de resíduos descartados e o consumo de matéria-prima não renovável, reduzindo os impactos ambientais provocados pelas atividades de extração de materiais naturais e de deposição dos resíduos.

Na Resolução nº 307 (CONAMA, 2002) consta que é de responsabilidade dos municípios a solução para os pequenos volumes de RCD, que geralmente são dispostos em lugares inapropriados. Em relação aos grandes volumes, a referida resolução cita que devem ser definidas áreas licenciadas para o manejo dos resíduos, com o cadastro da presença dos transportadores destes resíduos e fiscalização das responsabilidades dos geradores.

Segundo Freitas (2009), a Resolução nº 307 tem um papel importante na gestão dos resíduos porque define as responsabilidades do poder público e dos agentes privados quanto ao RCD e torna obrigatória a adoção de planos integrados de gerenciamento nos municípios e de projetos de gestão dos resíduos provenientes dos canteiros de obra.

A Figura 3 aborda organograma da gestão do RCD no âmbito municipal.

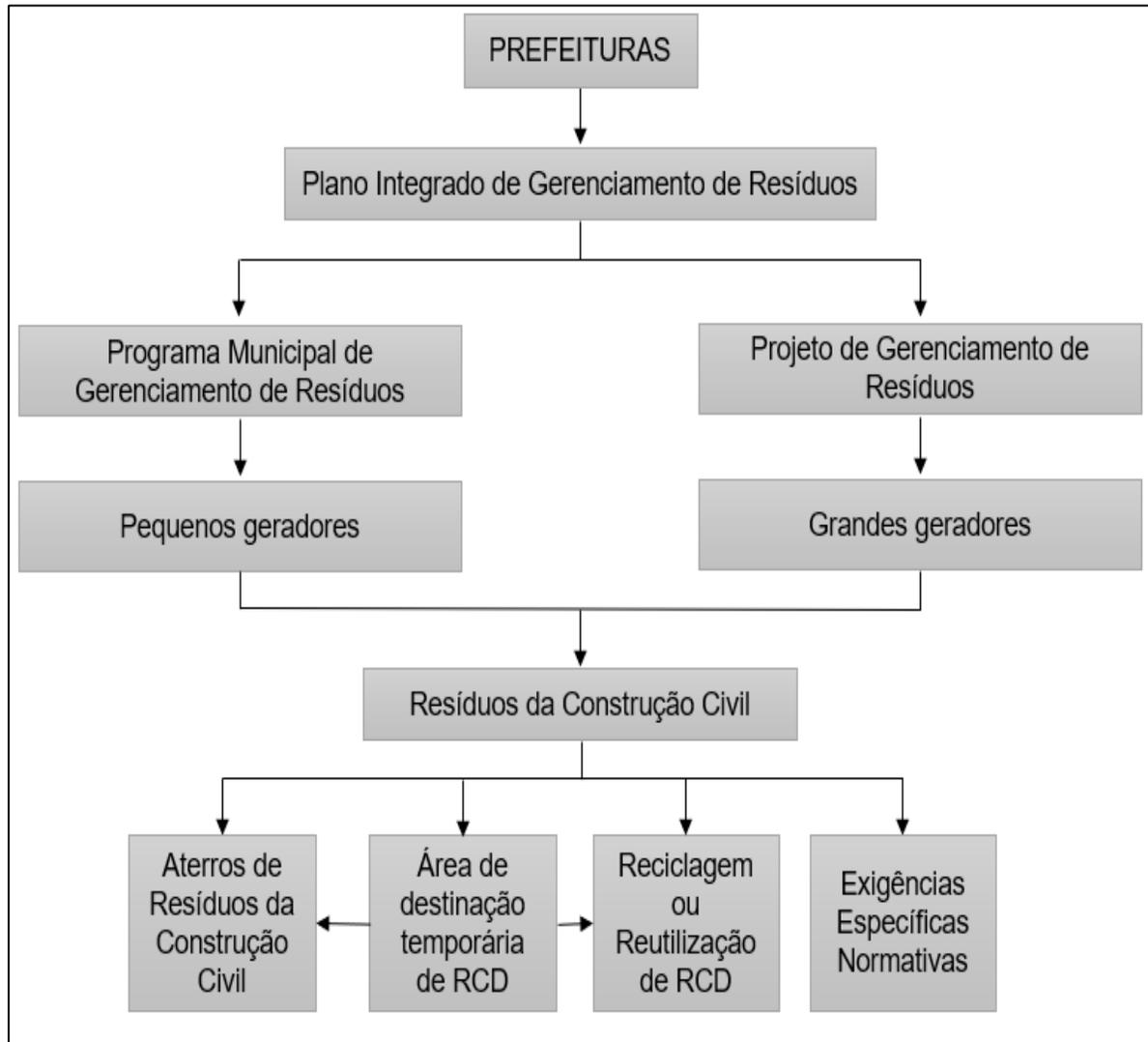


Figura 3: Organograma da gestão de resíduos na esfera municipal.

Fonte: CONAMA (2002).

Todavia, conforme Nagalli (2014) enumera, há diversos atores (com as mais variadas atribuições) que participam de um Plano Integrado de gerenciamento de RCD para torná-lo eficiente:

- Geradores: Pessoas físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos;
- Transportadores: Pessoas físicas ou jurídicas encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre os locais geradores e as áreas de destinação;

- Destinatários: Áreas ou infraestrutura destinadas ao beneficiamento ou à disposição final de resíduos;
- Agentes de licença e de fiscalização: Órgãos públicos ou entidades responsáveis por verificar o cumprimento dos requisitos técnicos e legais para o desenvolvimento das atividades dos geradores, transportadores e destinatários;
- Fornecedores: Pessoas físicas ou jurídicas que atuam no fornecimento de produtos ou serviços aos geradores. Atores importantes no processo de logística reversa;
- Clientes: Pessoas físicas ou jurídicas interessadas na aquisição de um bem ou serviço gerador de RCD;
- Consultores: Pessoas físicas ou jurídicas encarregadas de orientar os geradores, transportadores e destinatários no cumprimento dos requisitos técnicos e legais a pedido de uma das partes, apontando ações corretivas e oportunidades de melhoria;
- Auditores: Pessoas físicas ou jurídicas encarregadas de verificar, a pedido de uma das partes, o cumprimento dos requisitos técnicos e legais, de forma independente, apontando possíveis irregularidades.

Wu *et al.* (2015) afirmam que são necessárias várias medidas de gestão, cobrindo uma ampla gama de aspectos, como a separação de materiais no local de geração, manuseio e armazenamento, transporte, reciclagem e destino final de resíduos para que os municípios possam gerenciar adequadamente o RCD e, conseqüentemente, aumentar a taxa de reciclagem de materiais. No entanto, para otimizar essa rede de gestão, a mesma deve ser integrada em seus vários processos existentes (PAZ *et al.*, 2018) e possibilitar a aplicação de estratégias que a torne mais eficiente (DHIR *et al.*, 2019).

Embora a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) apresente em seu artigo XXI o princípio do “poluidor-pagador”, na qual lhe atribui os custos de prevenção, reparação e repressão de danos ambientais (BRASIL, 2010); não houve sua

aplicação de forma efetiva no país, visto que não ficou claro a definição do poluidor e nem das taxas a serem aplicadas (SEISDEDOS, 2015); sendo a logística reversa aplicada no Brasil apenas para resíduos específicos como os provenientes de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas e produtos eletroeletrônicos (RODRIGUES, 2022).

Algo que não ocorre nos países desenvolvidos, uma vez que há aplicação de estratégias eficientes para incentivar as indústrias da construção civil a produzir menos resíduos e a recuperar ou reciclar materiais de RCD, entre elas a aplicação de taxas de aterro (DHIR *et al.*, 2019). De acordo com Hurley *et al.* (2001), o Reino Unido introduziu uma taxa de aterro sanitário que é aplicada aos resíduos que eram descartados em aterros licenciados em 1996. As taxas aplicadas aos poluidores são variáveis nos 28 países membros da União Europeia, variando entre 3 e 100 euros por tonelada, dependendo também da tipologia do resíduo (CEWEP, 2017). Dhir *et al.* (2019) afirmam que em comparação com outros tipos de resíduos, o RCD costuma ter uma taxa de aterro mais baixa, provavelmente devido à sua maior produção e por ser relativamente inerte em comparação aos outros resíduos.

Ademais, é de fundamental importância que o poder público adote medidas de incentivo à reciclagem do RCD, viabilizando a compra de agregados reciclados para serem aplicados em obras públicas, promovendo ganhos ambientais e a diminuição do descarte de materiais e a redução do consumo de recursos naturais (OLIVEIRA, 2007). Sendo assim, pode-se concluir que no Brasil ocorrem inúmeros problemas pela falta de conhecimento e de planejamento na gestão dos resíduos de construção e demolição na esfera municipal (TESSARO *et al.*, 2012), proporcionando um manejo ineficiente nos municípios (FERNANDES e FILHO, 2017). Desta forma, pode-se concluir que grande parcela do RCD ainda é aterrada nos municípios brasileiros (FERREIRA e MOREIRA, 2013; NETO e CORREIA, 2019), sendo as taxas de reciclagem destes resíduos pouco representativas (NUNES e MAHLER, 2020).

A área de implantação de uma usina de reciclagem de RCD deve prever a redução dos impactos ambientais, a maximização do consentimento da população e o

respeito às legislações de uso do solo e ambiental vigentes, observando também a hidrologia, vegetação e vias de acesso para avaliação da adequabilidade de possíveis locais para sua implantação (ABNT, 2004b).

Bohnenberger *et al.* (2018) complementam a ideia, afirmando que, ao se definir a localização de uma usina de reciclagem de RCD, devem ser avaliados os impactos visual e ambiental, levando em consideração a emissão de poeira, a segurança, a proteção dos operários e o nível de ruídos. Além dos fatores citados, a localização deve atender ainda:

- à regulamentação do uso do solo no município;
- à identificação das regiões geradoras dos maiores volumes de resíduos; e
- à existência de eixos viários para facilitar o deslocamento de veículos de maior porte.

Ainda de acordo com os autores, a área e local de implantação da usina de reciclagem deve ser adequado para garantir sua eficiência em relação a acomodação, segregação e reciclagem do RCD. A partir de informações de usinas de reciclagem instaladas em 7 cidades brasileiras, Jadovski (2005) desenvolveu estudo relacionando a área necessária para implantação de usina em relação à capacidade produtiva. Segundo Jadovski (2005) são necessários 5.000, 6.500, 10.000 e 20.000 m², respectivamente, para capacidades de reciclagem de 10, 20, 40 e 100 toneladas por hora.

A implantação de usinas de reciclagem do resíduo de construção e demolição proporciona benefícios ambientais, econômicos e sociais (SILVA, 2012; COELHO e BRITO, 2013), porque reduz custos e energia da cadeia produtiva da construção civil, além de colaborar para a geração de emprego e renda, principalmente na coleta dos resíduos (DAHLBO *et al.*, 2015).

O município de Belo Horizonte / MG é uma das referências em gestão de RCD no Brasil, tendo implantado o Programa de Reciclagem de Entulho no final dos anos 90. De acordo com a Prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2018), existem atualmente na

capital mineira 2 (duas) usinas de reciclagem em operação: a unidade Pampulha (inaugurada em 1996 e capacidade atual de 30 t/hora) e a CTRS BR-040 (inaugurada em 2006 na regional Noroeste e com capacidade de reciclagem de 80 t/hora). A usina CTRS BR-040 está localizada próximo ao aterro sanitário do município, próxima a uma área industrial situada na marginal da BR-040 e distante 12 km do centro da cidade. Já a usina da Pampulha está localizada em região com baixa densidade de residências (em sua maior parte na tipologia de casas), está distante 13,6 km do centro da cidade, apresenta proximidade com eixos viários que permitem o tráfego de caminhões. É possível verificar no entorno da usina CTRS BR-040 (Figura 4) a presença de residências dentro do raio de 500 m desenvolvido no *Google Earth*, além do acesso facilitado à vias de grande porte dentro do município.



Figura 4: Entorno da usina de reciclagem CTRS BR-040.

O Ministério do Meio Ambiente tem recomendado a implantação de Pontos de Entrega Voluntária (PEV) nos municípios com o objetivo de reduzir o descarte irregular do RCD (BRASIL, 2012). De acordo com Klein e Dias (2017), os PEVs são locais públicos que disponibilizam gratuitamente equipamentos para a população

descartar, de forma adequada, os resíduos de construção e demolição, além de rejeitos volumosos e provenientes da coleta seletiva. Karpinsk *et al.* (2009) ressaltam que é fundamental a divulgação da localização dos PEVs, por meio de material informativo, para a população e instituições parceiras. Estes locais permitem reduzir os custos com a limpeza dos locais de descarte irregular, promovendo também a prevenção dos impactos ambientais que seriam provocados (KLEIN e DIAS, 2017).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2010) desenvolveu uma modelagem para a determinação do quantitativo de infraestruturas em função do porte dos municípios, visando melhorar a gestão do RCD nas cidades brasileiras. Em relação ao número de Pontos de Entrega Voluntária, o MMA recomenda o seguinte quantitativo, baseado no número de habitantes dos municípios:

- 200.000 habitantes - 8 PEVs;
- 100.000 habitantes - 4 PEVs;
- 75.000 habitantes - 3 PEVs;
- 50.000 a 25.000 habitantes - 2 PEVS;
- Abaixo de 25.000 habitantes - 1 PEV.

De forma alternativa, na pesquisa desenvolvida por Paz *et al.* (2018) também há definição do quantitativo de PEVs. De acordo com os autores, a área de coleta deve ser dimensionada para facilitar o acesso dos pequenos geradores de resíduos aos PEVs, de modo que cada infraestrutura possa atender a um raio entre 1,5 e 2,5 km, localizado próximo ao centro geométrico da área de coleta, sempre que possível. Pinto e Gonzáles (2005) também definem a distância média de 2,0 km como ideal, devido a capacidade de deslocamento dos pequenos coletores (que utilizam carrinhos, carroças e outros pequenos veículos) para cada viagem.

Desta forma, cálculo relacionando a área urbana (AU) em quilômetros quadrados do município e o raio de cobertura (RC), que é definido pela topografia local (RC = 1,5km - terreno plano; RC = 2,0km - colinas, RC = 2,5km - colinas íngremes) foi proposto para estimar o número mínimo de PEVs necessários (PAZ *et al.*, 2018). A estimativa

do número de PEVs é calculada de acordo com a Equação 1 e leva em consideração a área de abrangência / distância de transporte:

$$PEVs = \frac{AU}{(\pi \times RC^2)} \quad (1)$$

De acordo com a NBR 15.112/2004, um ponto de Pontos de Entrega Voluntária é formado basicamente pelos seguintes elementos (ABNT, 2004b):

- Terreno com dimensões variáveis, dependendo da capacidade de recepção, podendo variar entre 100 m² e 600 m² de área ocupada pelas instalações;
- Cercamento com portão e cerca viva (desejável);
- Sinalização com placa;
- Guarita de alvenaria, madeira ou fibra e sanitário pequeno;
- Rampa e local para estacionamento de caçambas estacionárias;
- Baias descobertas e cobertas para estoque provisório de resíduos triados;
- Iluminação externa, energia elétrica, água, esgoto;
- Cobertura do piso com pedra convencional ou reciclada.

Um exemplo de layout de um Ponto de Entrega Voluntária foi apresentado por Pinto e Gonzáles (2005) e reproduzido abaixo na Figura 5.

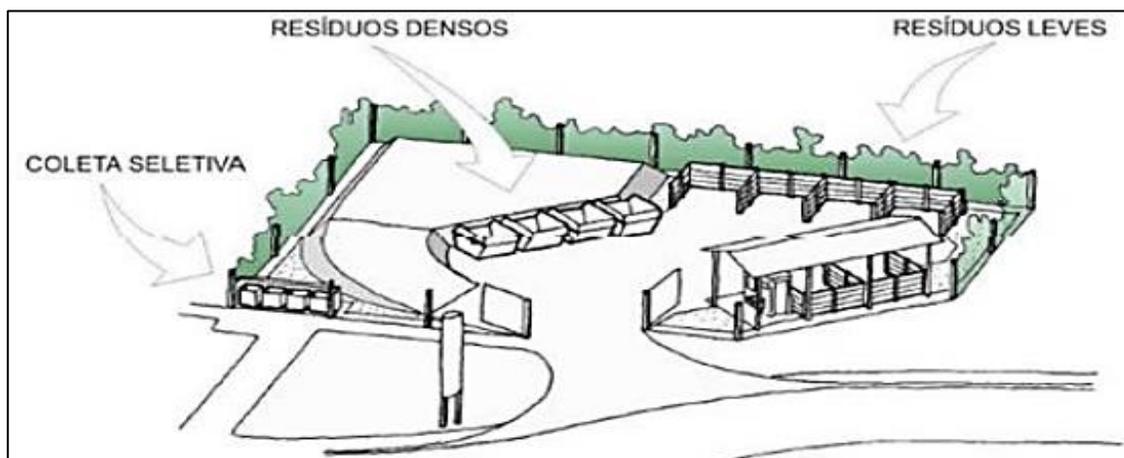


Figura 5: Layout de um Ponto de Entrega Voluntária.
Fonte: Pinto e Gonzáles (2005).

A utilização dos Pontos de Entrega Voluntária trata-se de um grande avanço na gestão dos resíduos sólidos urbanos, visto que permite o descarte ambientalmente adequado por parte de qualquer cidadão (KLEIN e DIAS, 2017). Os municípios possuem a responsabilidade pela implantação e operação dos PEVs, sendo estas infraestruturas presentes nos Planos Municipais de Gestão de Resíduos (LIMA e LIMA, 2009).

Alguns municípios brasileiros já possuem Pontos de Entrega Voluntária, como em Londrina / PR, ou com outros nomes tais como Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes – URPVs em Belo Horizonte / MG, Pontos de Entrega em Guarulhos / SP e Ecopontos em São Paulo / SP. Na Figura 6 é possível ver a fachada de um ecoponto localizado na Rua Inácio Pereira da Rocha, no bairro de Pinheiros (região com bairros de alta renda da cidade de São Paulo), retirada do *Google Maps*.



Figura 6: Ponto de Entrega Voluntária no município de São Paulo / SP.

Na Figura 7 é apresentada a localização e o entorno do ecoponto descrito acima. O ecoponto possui 450 m² de área (delimitados pelo polígono branco) e distância inferior a 1 km para duas importantes avenidas de São Paulo (Av. Brigadeiro Faria Lima e Av. Rebouças). A circunferência com raio de 100 m, gerada no *Google Earth*, possibilitou verificar a presença de edificações residenciais, comércios e um posto de gasolina nas proximidades do ecoponto, além de vias de acesso que permitem o tráfego de caminhões equipados com caçambas.

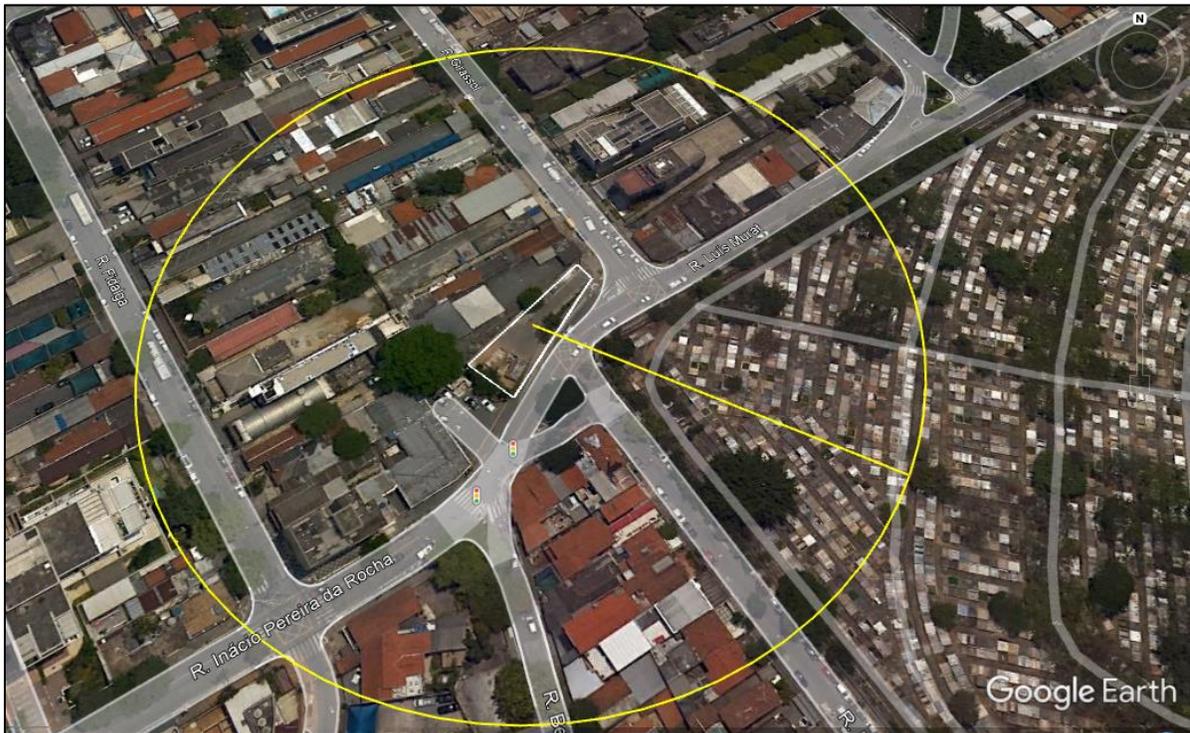


Figura 7: Localização e entorno do ecoponto localizado no bairro de Pinheiros - São Paulo / SP.

De acordo com a Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP, 2022), além do ecoponto apresentado, o município possui outros 120 (cento e vinte) distribuídos nas 32 (trinta e duas) subprefeituras, de modo abranger a maior área de atendimento possível para o pequeno gerador de resíduos. Ainda, segundo a PMSP (2022), cerca de 447,7 mil toneladas de resíduos foram coletadas nos ecopontos, proporcionando o descarte adequado dos mesmos e reduzindo os custos de limpeza de locais com deposição irregular.

Outra infraestrutura que compõem uma rede de gestão de RCD são as Áreas de Transbordo e Triagem (ATT). Barros *et al.* (2017) destacam a importância da operação adequada das ATTs para destinação ambientalmente correta do RCD, e a necessidade da implantação de boas práticas de segregação nas obras, uma vez que é comum o recebimento de resíduos misturados nestes locais. Portanto, ainda de acordo com os autores, a reciclagem do RCD torna-se ineficiente caso os resíduos estejam contaminados e forem de difícil triagem, além de elevar o custo da mesma.

Segundo Carelli e Miranda (2013), as ATTs não possuem estrutura com equipamentos para reciclagem de agregados, sendo realizada apenas a triagem dos resíduos em função da natureza. Os autores complementam afirmando que as ATTs são áreas destinadas ao recebimento dos resíduos de construção e demolição e dos resíduos volumosos, para triagem, armazenamento temporário dos materiais e posterior remoção para destinação adequada.

A Resolução CONAMA nº 307/2002 estabelece que os Planos Municipais de Gestão de Resíduos contemplem em suas diretrizes o cadastramento de áreas públicas e privadas que possuam capacidade de receber, triar e armazenar de forma temporária os RCDs, devendo ser observada a situação de cada município para o seu planejamento (CÓRDOBA, 2010).

De forma análoga aos PEVs, o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2010) também realizou uma modelagem para definição do número de Áreas de Transbordo e Triagem em função do porte das cidades (baseada no número de habitantes), conforme apresentado a seguir:

- 200.000 habitantes - 2 ATTs;
- 100.000 habitantes - 1 ATT;
- 75.000 habitantes - 1 ATT;
- 50.000 a 25.000 habitantes - Não há necessidade de ATTs;
- Abaixo de 25.000 habitantes - Não há necessidade de ATTs.

A localização das ATTs deve ser planejada, considerando os seguintes fatores (PINTO e GONZÁLES, 2005):

- Uso e ocupação do solo, baseado no Plano Diretor do município;
- Localização em áreas com maior concentração de geradores de grandes volumes de RCD;
- Fácil acesso ao local, para favorecer o deslocamento de veículos de carga de maior porte.

De acordo com Lúcio (2013), o aspecto da localização é de grande importância, uma vez que os RCDs são transportados dos grandes geradores para as ATT em caminhões de pequeno porte (caçambas), e posteriormente, das ATT para as áreas de destinação final (Aterros de inertes ou Usina de Reciclagem de RCD).

Outro aspecto relevante na implantação das Áreas de Transbordo e Triagem é a área mínima necessária para instalação da infraestrutura. Pinto e Gonzáles (2005) propuseram a área mínima para implantação de ATTs em função da capacidade demandada (m^3/dia), conforme apresentado na Tabela 4:

Tabela 4: Área mínima necessária para implantação de ATTs.

Capacidade demandada (m^3/dia)	Área mínima necessária (m^2)
70	1.100
135	1.400
270	2.300
540	4.800

Fonte: Pinto e Gonzáles (2005).

Na Figura 8 é possível verificar um exemplo de layout de uma Área de Transbordo e Triagem apresentado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2010).

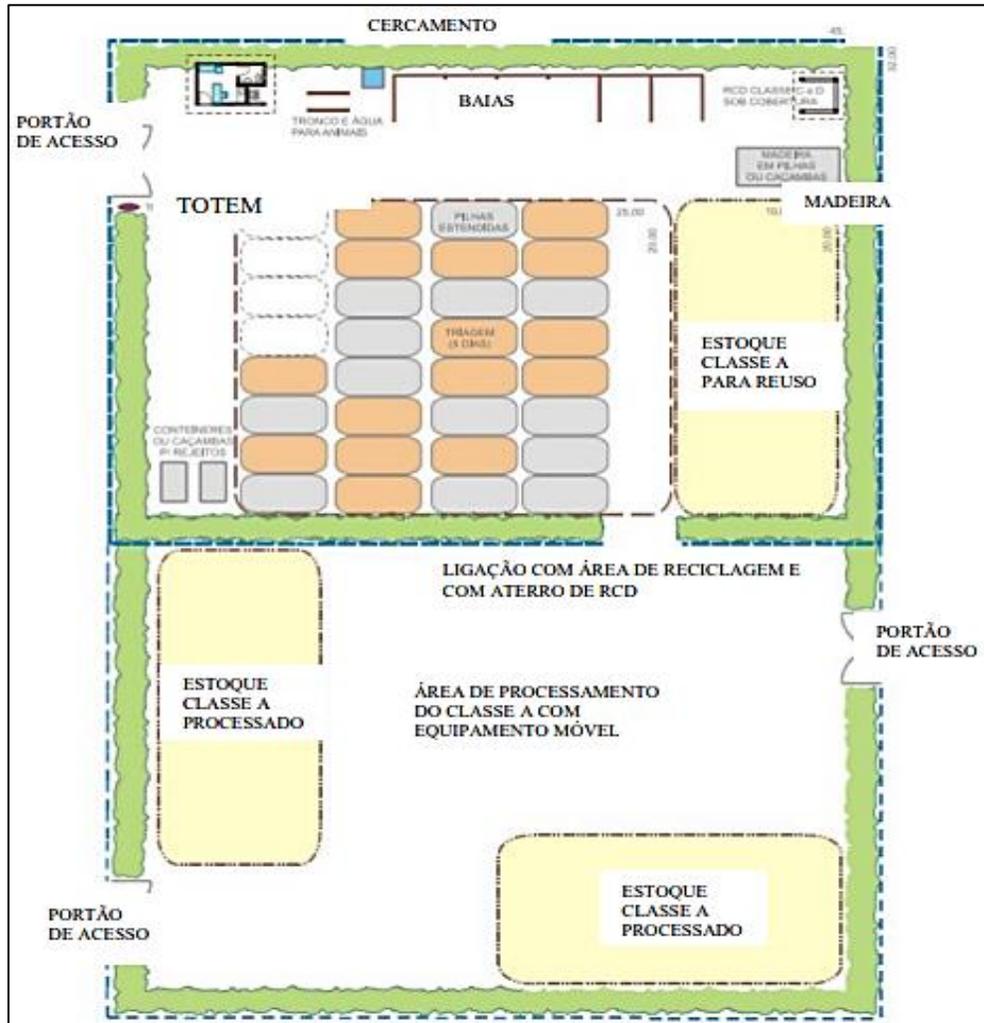


Figura 8: Layout de uma Área de Transbordo e Triagem.
 Fonte: MMA (2010).

Desta forma, a implantação de infraestruturas de tratamento de resíduos adequadas é fundamental para a redução dos locais de deposição irregular, visto que possibilita a destinação correta dos resíduos e também o aumento das taxas de reciclagem de RCD (MMA, 2010; ESA *et al.*, 2017).

Nos Estados Unidos, mais de 70% dos resíduos de construção e demolição são reciclados (TOWNSEND, 2015). Já na Europa, as taxas de reciclagem variam significativamente de acordo com os países, sendo que mais da metade dos Estados-Membros já atingiram a meta estipulada de 70% para o ano de 2020 pela Diretiva-Quadro Resíduos (2008/98 /CE) da União Europeia (EP, 2008). A referida meta já foi

cumprida por alguns países, como Alemanha, Dinamarca, Irlanda e Holanda, que possuem taxas de reciclagem superiores a 90%; todavia, outros como Chipre, Grécia, Eslováquia e Suécia possuem menos de 60% do RCD reciclado (EUROSTAT, 2018). De acordo com Dhir *et al.* (2019), as taxas de reciclagem nos países desenvolvidos são superiores a 60%, como, por exemplo, em Cingapura, na Coreia do Sul e no Japão, países que apresentam taxas superiores a 95%; por outro lado, países em desenvolvimento têm apresentado taxas de reciclagem inferiores a 20%.

Diferentemente do que ocorre nos países europeus, no Brasil não há metas estabelecidas para a reciclagem de RCD, o que dificulta a ampliação da reutilização desses resíduos, embora existam normas técnicas no âmbito nacional e resoluções estaduais e municipais voltadas à gestão do RCD (BOHNENBERGER *et al.*, 2018). Nunes e Mahler (2020) relataram que apenas 8% do RCD coletado no Brasil é destinado a reciclagem, sendo os aterros o destino de grande parcela do RCD nos municípios brasileiros (FERREIRA e MOREIRA, 2013; NETO e CORREIA, 2019). Todavia, espera-se que a recente atualização da norma brasileira NBR15.116 intitulada “Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de Cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaio” (ABNT, 2021) proporcione a ampliação da utilização dos resíduos de construção e demolição no país.

Além da revisão da norma, outras ações e projetos têm sido desenvolvidos nos municípios brasileiros, com o objetivo de corrigir a forma e estrutura adotada para coleta, transporte e disposição final do RCD (ROCHA, 2006). De acordo com Tavares (2007), algumas cidades brasileiras se destacaram pela rede de gestão sustentável do RCD, tornando-se referências para outras cidades. Embora somente a partir dos anos 2000 tenham sido desenvolvidas pesquisas sobre a utilização do RCD como agregados, as primeiras usinas de reciclagem foram instaladas no país nos municípios de São Paulo (1991), Londrina (1993) e Belo Horizonte (1994) (PINTO, 1999). Dados da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2015) indicaram quantitativo de 310 usinas de reciclagem de resíduo de construção e demolição no país, sendo 83% privadas, 10% públicas e 7% de parcerias público-privadas.

A rede de gestão de RCD do município de Belo Horizonte, uma das cidades referência no Brasil, é composta por 34 PEVs (definidos como Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes - URPV), 2 usinas de reciclagem (nomeados como Estações de Reciclagem de Entulho - ERE) e 1 aterro sanitário localizado na região metropolitana. As usinas de reciclagem e o aterro atendem aos grandes geradores que, por meio das empresas transportadoras de RCD, descarregam seus resíduos normalmente acondicionados em caçambas. Já os PEVs são utilizados para atender aos pequenos geradores, com o objetivo de minimizar as deposições irregulares. A rede de gestão do RCD a partir da estrutura de gestão de resíduos existente no município é exibida na Figura 9 (PBH, 2018).

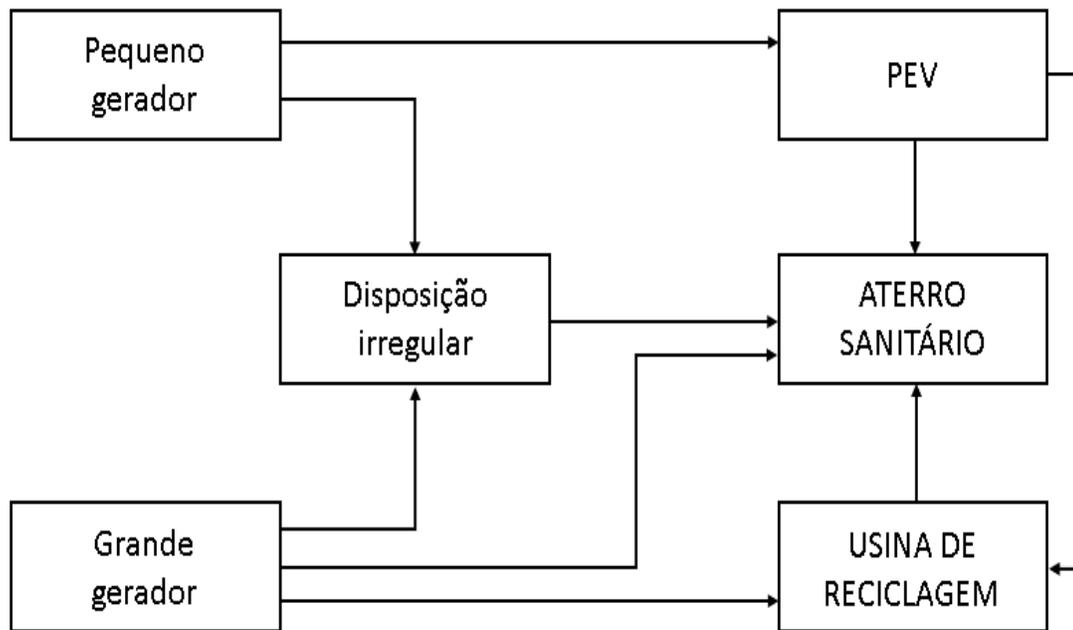


Figura 9: Rede de gestão de RCD em Belo Horizonte.
Fonte: Adaptado de PBH (2018).

A escolha de locais adequados para a implantação das infraestruturas da rede de gestão de RCD é bastante complexa, tendo em vista que é necessário avaliar uma extensa faixa territorial com o objetivo de identificar locais que atendam aos requisitos técnicos, ambientais e econômicos, combinados com uma série de critérios e informações que devem ser considerados nessa seleção (BOHNENBERGER *et al.*, 2018).

O uso de ferramentas para a seleção destas áreas auxilia a tomada de decisão e permite a realização de avaliações complexas e precisas em vastas extensões territoriais, com sensível ganho de tempo e de qualidade nos resultados (SENER *et al.*, 2010; RIBEIRO, 2011; KHAN e SAMADDER, 2014; SILVA, 2014; SPIGOLON, 2015; KHAN *et al.*, 2018).

Neste trabalho, optou-se por utilizar a ferramenta de Sistema de Informações Geográficas (SIG) na indicação das infraestruturas para rede de gestão de RCD. O estado da arte sobre a utilização desta ferramenta será abordado no tópico 2.3.

2.2 Modelos de previsão

O processo de realizar inferências sobre o futuro, com base em dados históricos é chamado de previsão (MONTGOMERY *et al.*, 1990). Modelos de previsão são importantes para a tomada de decisão porque permitem conhecer previsões de fatos e situações futuras, sendo determinante para uma gestão eficiente (RIBEIRO *et al.*, 2008).

Além da gestão de resíduos, diferentes áreas de conhecimento aplicam modelos de previsão, como por exemplo: demanda de energia solar (INMAN *et al.*, 2013), previsões de vendas na indústria da moda (SUN *et al.*, 2008), demandas de turismo (KON e TURNER, 2005), previsão de consumo de energia de edificação (NETO e FIORELLI, 2008) e de demanda por transporte (LOPES, 2005).

Os modelos de previsão dividem-se basicamente em métodos qualitativos e quantitativos (PELLEGRINI, 2000; MENEGHINI *et al.*, 2018). Os modelos qualitativos de previsão dependem da experiência de especialistas para prever a probabilidade do resultado de fatos (ARMSTRONG, 2001; SLACK *et al.*, 2009), todavia estes tipos de modelos podem ser tendenciosos em função da incorporação de opiniões dos especialistas (SPEDDING e CHANN, 2000). Esta é uma das principais desvantagens de um modelo qualitativo em relação a um quantitativo (SPEDDING e CHANN, 2000), portanto estes métodos são mais utilizados quando há ausência ou insuficiência de dados para realizar uma previsão quantitativa

(ARCHER, 1980). Os principais modelos qualitativos são o jogo de representação, a pesquisa de intenção e o método Delphi (LEMOS, 2006; MENEHINI *et al.*, 2018).

Pellegrini (2000) conceitua os modelos quantitativos como os que preveem a demanda futura com a utilização de dados históricos. Ainda de acordo com o autor, é necessária a construção de modelos matemáticos a partir dos dados disponíveis para o desenvolvimento da previsão da demanda futura. Os modelos quantitativos possuem uma lógica clara de definição da demanda por meio de operações matemáticas, podendo ser divididos em duas categorias: séries temporais e métodos causais (DIAS, 2004; SLACK *et al.*, 2009).

De acordo com Davis *et al.* (2005), séries temporais utilizam apenas os dados históricos da demanda para prever o futuro, pressupondo que a tendência da demanda no passado permanecerá inalterada, enquanto que séries causais preveem a demanda tomando como base uma relação de causa e efeito entre as variáveis.

Os principais modelos quantitativos são análise de regressão, média móvel, média móvel ponderada, método Holt-Winters e modelo Box-Jenkins (GUERRINI *et al.*, 2014). Além dos modelos tradicionais citados, métodos não convencionais como redes neurais artificiais (TAFNER, 1998; GOEL *et al.*, 2017) e modelo de Grey (SONG *et al.*, 2015) estão se tornando populares e sendo aplicados em modelos de previsão.

A escolha do modelo de previsão apropriado a ser empregado é uma questão desafiadora e requer uma análise abrangente dos resultados empíricos, sendo a avaliação do desempenho dos modelos de previsão dependente das medidas de precisão adotadas (MEHDIYEV *et al.*, 2016).

Desta forma, com o objetivo de auxiliar na seleção do modelo de previsão mais adequado para este trabalho, serão abordados nos próximos tópicos os principais modelos de previsão qualitativos e quantitativos e os utilizados na gestão de resíduos.

2.2.1 Principais modelos de previsão qualitativos

Serão abordados os principais modelos qualitativos: jogo de representação, pesquisa de intenção e método Delphi.

JOGO DE REPRESENTAÇÃO

Este modelo é utilizado quando há pouca informação existente sobre eventos similares do passado que envolvam a interação de duas ou mais partes (ARMSTRONG, 2001). O autor acrescenta que neste modelo há conflito entre as partes, que pode ser definido como objetivos opostos, diferentes estratégias, ou competição por um determinado recurso. Sua origem é o jogo de mesa, embora o mesmo seja a base para o desenvolvimento de jogos de computador (BITTENCORTH e GIRAFFA, 2003).

Trata-se de um modelo relevante quando há grandes conflitos de opinião entre os especialistas, de forma que as regras pré-estabelecidas serão utilizadas para a avaliação (SANTOS *et al.*, 2015). Métodos participativos são cada vez mais aplicados para envolver indivíduos e comunidades locais na gestão sustentável (JOHNSON *et al.*, 2004).

De acordo com Mayer e Jong (2004), os jogos de representação têm sido utilizados de diferentes maneiras, sendo a principal delas como ferramenta de pesquisa para coletar dados e melhorar a compreensão da realidade local e seus atores (BOISSAU e CASTELLA, 2003). Neste modelo é possível observar o comportamento dos “jogadores” e extrair suas decisões no contexto, além de fornecer uma plataforma para a discussão das consequências de suas ações (CASTELLA *et al.*, 2005). Geralmente é utilizado um tabuleiro de jogo como uma representação estilizada de uma situação da vida real e um mediador para apresentar o raciocínio e as regras da simulação (WESSELOW e KLEEMANN, 2017).

Aplicações eficientes deste método têm sido observadas nas áreas de gestão, militar, jurídica, de psicologia e de negócios (ARMSTRONG, 2001). De acordo com Camargo *et al.* (2007), a maioria das aplicações brasileiras de jogos de representação são

focadas na gestão do uso do solo no contexto da urbanização brasileira e na gestão da água no contexto da urbanização brasileira. Um jogo de representação denominado Estatuto da Cidade foi desenvolvido no trabalho realizado por Camargo *et al.* (2007), com o objetivo de treinar e promover o debate entre os agentes públicos municipais e outras partes interessadas locais em relação às aplicações da Lei nº 10257, denominada Estatuto da Cidade, que estabelece diretrizes gerais da política urbana (BRASIL, 2001). Os autores propuseram três cidades imaginárias diferentes representando a diversidade das cidades brasileiras: uma na praia, uma cidade rural e uma cidade metropolitana; nas quais os “jogadores” representavam papéis diferentes tais como de pessoas relacionadas à gestão urbana, como arquitetos, movimento habitacional, técnicos e lideranças. O mediador do grupo escolhia situações próximas da realidade das cidades reais para que as pessoas pudessem discuti-las utilizando ferramentas de gestão urbana previstas na Lei nº10257, de modo a concluir a previsão apenas quando o grupo concordasse com a solução proposta (CAMARGO *et al.*, 2007).

PESQUISA DE INTENÇÃO

A pesquisa de intenção é utilizada para que indivíduos avaliem planos, metas e expectativas sobre o futuro de uma variável ou evento. São apresentadas perguntas aos entrevistados de situações diferentes sobre uma variável a ser analisada (ARMSTRONG, 2001).

Lemos (2006) ressalta a importância na seleção dos entrevistados para obtenção de respostas mais reais, uma vez que há três fatores que impactam diretamente o modelo: a seleção de pessoas que responderão ao questionário, a resposta que será recebida (há possibilidade de os entrevistados não demonstrarem sua real intenção), e também a ausência de respostas por parte dos indivíduos selecionados.

Este modelo é utilizado com maior frequência para a previsão de demanda de produtos que serão inseridos no mercado (ARMSTRONG, 2001; SANTOS *et al.*, 2015). Em pesquisa realizada por Maund *et al.* (2018) foi possível validar a intenção de diversos atores em aplicar políticas sustentáveis nas práticas de gestão da

construção civil. Os autores tiveram como objetivo comparar o que a regulamentação ambiental exigia e o que de fato era aplicado nas construções. Maund *et al.* (2018) aplicaram entrevistas para verificar a intenção dos atores em relação à performance ambiental das construções, aprovação de projetos, operações e monitoramento das construções e acesso/consulta das informações relacionadas às políticas sustentáveis. Os resultados da aplicação da pesquisa de intenção indicaram que é necessária uma cultura mais colaborativa e respeitosa entre construtores e fiscais ambientais para que a verdadeira intenção das políticas sustentáveis seja compreendida, possibilitando ampliação de ações nas construções para sua efetiva aplicação (MAUND *et al.*, 2018).

MÉTODO DELPHI

Ao contrário dos modelos de jogo de representação e pesquisa de intenção, no método Delphi são consideradas as opiniões de forma coletiva dos especialistas, de modo que o conjunto de julgamentos é mais confiável que o raciocínio individual (LEMOS, 2006). Portanto, este modelo é mais preciso que os outros qualitativos por considerar a opinião do grupo e evitar seguir a tendência de somente um especialista.

O método Delphi é focado na apresentação de questões relativas a um problema de pesquisa a um grupo de especialistas, que posteriormente recebem a síntese das respostas para que apresentem suas análises críticas (SANTOS *et al.*, 2005). Ainda de acordo com os autores, podem ser incluídas novas perguntas com o objetivo de estimular a discussão sobre o problema abordado, sendo finalizadas as interações até que haja um consenso entre os especialistas (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000).

Desta forma, é a partir do conhecimento dos especialistas de uma determinada área que se chega a um consenso sobre as previsões de eventos futuros, possibilitando melhorias na tomada de decisão (GUPTA e CLARKE, 1996; WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000).

Santos *et al.* (2005) concluíram em sua pesquisa que o método Delphi é um importante instrumento de aceleração do processo de aprendizado do problema de pesquisa, tendo em vista que utiliza a opinião consensual de especialistas da área.

Uma pesquisa Delphi foi realizada por Musa *et al.* (2015) para avaliar a sustentabilidade urbana na Malásia, na qual 45 especialistas avaliaram 18 indicadores, tais como: gestão de resíduos, poluição (da água, ar e solo), crescimento urbano, áreas verdes, uso do solo e etc. com o objetivo de hierarquiza-los em relação à sua importância para as cidades. O consenso foi alcançado em 12 dos 18 indicadores avaliados na pesquisa, sendo a poluição do ar o mais importante para os especialistas em relação à sustentabilidade urbana. Desta forma, as doze medidas ambientalmente importantes foram priorizadas pelos participantes como indicadores relevantes de bem-estar ambiental (MUSA *et al.*, 2015).

2.2.2 Principais modelos de previsão quantitativos

A previsão por métodos quantitativos pode ser realizada por meio de diversos modelos matemáticos (PELLEGRINI, 2000). Makridakis *et al.* (2008) relatam que a escolha do modelo de previsão depende do comportamento da série de dados, que pode se apresentar com quatro tipologias diferentes (média, tendência, ciclo e sazonalidade), conforme demonstrado na Figura 10.

- Média: O comportamento de média existe quando os valores da série flutuam em torno de uma média constante;
- Tendência: A característica de tendência ocorre quando a série apresenta comportamento ascendente ou descendente por um longo período de tempo;
- Ciclo: A série possui característica cíclica quando ela exhibe variações ascendentes e descendentes, porém, em intervalos não regulares de tempo;
- Sazonalidade: ocorre quando padrões cíclicos de variação se repetem em intervalos relativamente constantes de tempo.

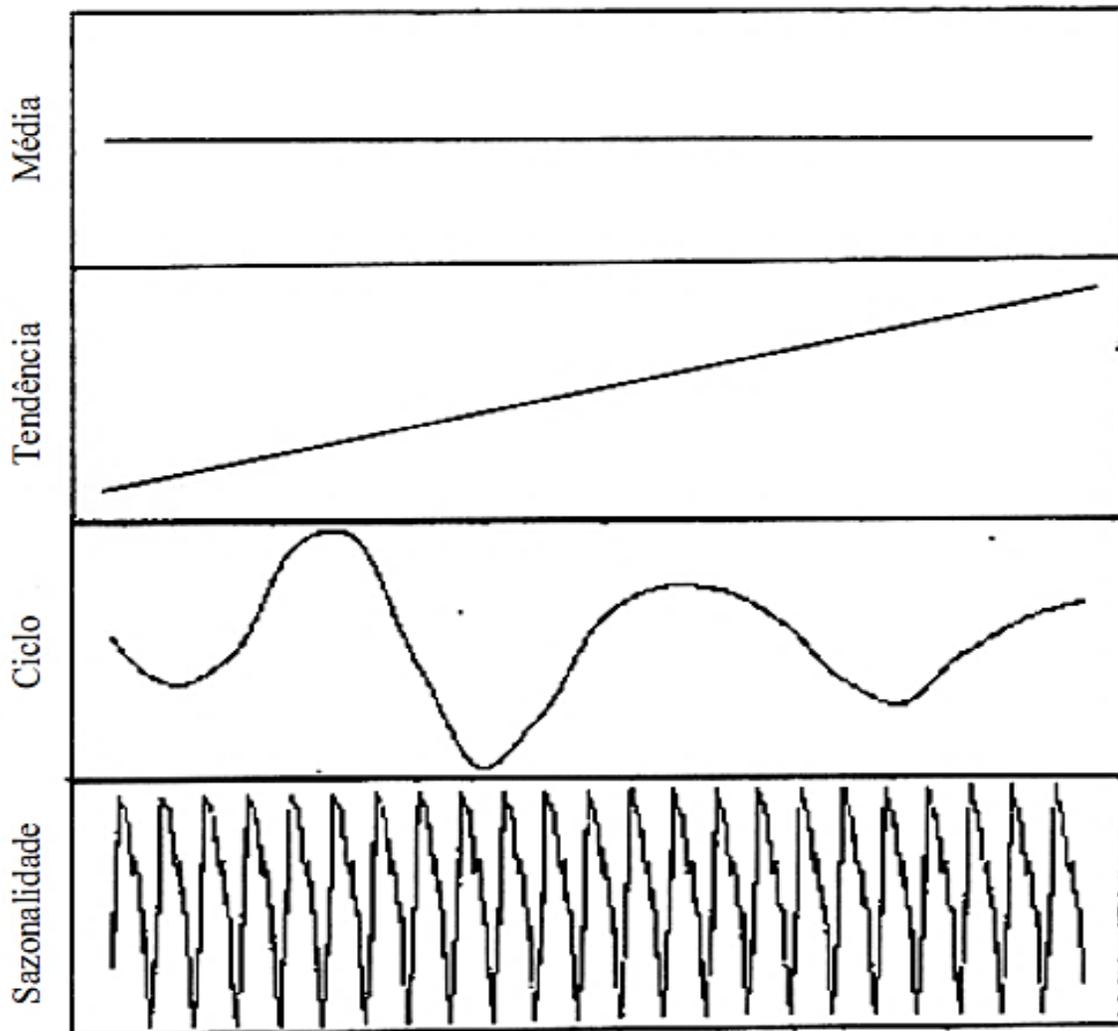


Figura 10: Comportamento das séries dos modelos de previsão quantitativos.
Fonte: Makridakis *et al.* (2008).

Serão abordados os principais modelos quantitativos: análise de regressão, média móvel, média móvel ponderada, modelo Box-Jenkins e método Holt-Winters. E também, os métodos não convencionas de redes neurais artificiais e modelo de Grey.

ANÁLISE DE REGRESSÃO

A análise de regressão é um modelo de previsão quantitativo causal utilizado para ajustar uma reta (ou curva) aos dados históricos utilizando formulação com variáveis independentes (MONTGOMERY *et al.*, 2008). Hoffmann (2016) afirma que é possível, por meio de expressões matemáticas, estimar o valor de uma variável

quando é de conhecimento os valores das demais (sendo estas antecessoras da primeira no tempo). O autor propõe uma relação genérica entre as variáveis, conforme Equação 2:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2)$$

onde Y representa a variável dependente e os X_h ($h = 1, 2, \dots, n$) se referem às variáveis explanatórias.

De acordo com Makridakis *et al.* (2008), este tipo de modelo não necessita de análise muito apurada para desenvolver previsões. Ghinea *et al.* (2016) realizaram análise de regressão para determinar equações para seis frações de resíduos sólidos urbanos (papel, plástico, metal, vidro, biodegradável e outros resíduos) da cidade de Iasi, na Romênia. Indicadores como: número de moradores, idade da população, expectativa de vida urbana, total de resíduos sólidos urbanos foram utilizados como variáveis de entrada nos modelos para prever a quantidade de frações de resíduos sólidos (GHINEA *et al.*, 2016).

MÉDIA MÓVEL e MÉDIA MÓVEL PONDERADA

O modelo de média móvel é utilizado com frequência devido à sua facilidade de implementação e manutenção e também por necessitar de poucas informações da série histórica para sua aplicação (MAKRIDAKIS *et al.*, 2008). Entretanto, este método é apropriado somente para previsões de curto prazo e quando não se observa o comportamento de tendência ou sazonalidade (BALLOU, 2009).

Archer (1980) e Makridakis *et al.* (2008) citam que este método se trata de uma suavização exponencial de séries temporais, que calcula a média aritmética das n observações mais atuais da série, incluindo a observação mais recente e excluindo a mais antiga. Portanto, os efeitos de sazonalidade são eliminados, tendo em vista que o número de observações em cada média permanece constante (MAKRIDAKIS *et al.*, 2008).

Segundo Davis *et al.* (2001), a principal desvantagem de aplicação do modelo de médias móveis está relacionada à falta de acurácia ao lidar com séries históricas que apresentam tendência ou sazonalidade, uma vez que a previsão para o próximo período envolve sempre a adição de novas observações e a desconsideração dos anteriores.

Já a média móvel ponderada se diferencia da média móvel, pois são atribuídos pesos (com somatório igual a 1) para as variáveis (MOREIRA, 2013). Graeml e Peinado (2007) afirmam que os dados mais recentes adicionados no modelo apresentam maior peso, sendo assim, de maior importância para a determinação da previsão.

A escolha dos períodos e dos pesos é arbitrária nos modelos de média móvel ponderada, porém uma vantagem sobre a média móvel é que os valores mais recentes, que podem indicar alguma tendência, recebem um grau mais elevado de importância (MANCUZO, 2003). O autor observa que quanto maior o número de dados inseridos no modelo, maior será a suavização dos comportamentos sazonais.

Davis *et al.* (2001) citam que a utilização das médias móveis ponderadas em substituição às médias móveis é uma alternativa para construção de um modelo mais próximo à realidade, todavia é necessário ter conhecimento satisfatório para a determinação dos pesos utilizados no método.

MODELO BOX-JENKINS

O modelo Box-Jenkins de previsão utiliza um algoritmo matemático complexo, com termos auto regressivos e de média móvel, com o objetivo de identificar o modelo matemático mais adequado para a série temporal analisada com n observações (LEMOS, 2006). Segundo Dias (2004), este modelo explora na série temporal possíveis dependências entre os dados, utilizando métodos de regressão e média móvel para previsão, e por este motivo é mais empregado do que a média móvel e média móvel ponderada de forma individual.

Lemos (2006) relata que é possível realizar junções de modelos por meio de Box-Jenkins e selecionar o modelo combinado mais adequado para a situação problema com o auxílio de análises estatísticas. As combinações utilizam termos de auto regressão (AR – *Auto Regressive*), integração (I - *Integrated*) e média móvel (MA – *Moving-Average*).

As combinações possíveis são (DIAS, 2004):

- AR(p): utiliza técnicas de regressão;
- MA(q): utiliza técnicas de média móvel;
- ARMA (p, q): é uma combinação de AR e MA;
- ARIMA (p, d, q): método que usa técnicas de AR e MA integradas.

Onde p é a ordem máxima dos parâmetros de auto regressão simples, d é o número de diferenciações não sazonais aplicadas para tornar a série temporal estacionária e q é ordem máxima dos parâmetros de média móvel simples (LEMOS, 2006).

De acordo com Makridakis *et al.* (2008), a partir da definição do modelo, o método utiliza as séries históricas entre os dados e as extrapola para períodos futuros, para a realização das previsões.

Adamowski *et al.* (2012) realizaram um estudo para prever a demanda por água nas áreas urbanas da cidade de Montreal, sendo o ARIMA (2, 1, 3), no qual são integradas técnicas de regressão e média móvel, um dos modelos utilizados pelos autores. As principais variáveis utilizadas para desenvolver e validar os modelos foram precipitação total diária, temperatura máxima diária e dados de demanda diária de água entre os anos de 2001 a 2009 (ADAMOWSKI *et al.*, 2012).

MÉTODO HOLT-WINTERS

O método de Holt-Winters é utilizado na modelagem de séries temporais que apresentam padrão de sazonalidade e tendência (CORRAR *et al.*, 2004; (MAKRIDAKIS *et al.*, 2008). De acordo com Makridakis *et al.* (2008), este método

estima a sazonalidade, a tendência e o nível da série temporal analisada utilizando equações de suavização.

O termo suavização é utilizado porque a série apresenta um comportamento mais suave ao ser reduzida a seus componentes estruturais, tendo menor número de variações bruscas (LÚCIO *et al.*, 2010).

Lewis (1997) apresenta os elementos utilizados neste método:

- Nível: não exhibe tendência ou sazonalidade, mas pode apresentar variável aleatória;
- Tendência: em adição ao elemento nível;
- Sazonalidade: pode ter efeito aditivo ou multiplicativo em relação aos elementos de nível e tendência.

É possível verificar através das equações que a diferença entre as formas aditivas (Equação 3) e multiplicativas (Equação 4) do método é que os elementos utilizados para o cálculo da previsão são somados ou subtraídos ao invés de multiplicados ou divididos (MAKRIDAKIS *et al.*, 2008).

$$F_{t+m} = L_t + B_{t-m} + S_{t-s+m} \quad (3)$$

$$F_{t+m} = (L_t + B_{t-m}) S_{t-s+m} \quad (4)$$

onde F_{t+m} representa a previsão para o período m adiante e s o comprimento da sazonalidade, L_t é o nível da série, B_t é a tendência e S_t é o elemento da sazonalidade.

O método Holt-Winters foi utilizado na pesquisa realizada por Almazrouee *et al.* (2020) para estimar o aumento do consumo de energia no Kuwait em função do rápido crescimento populacional e a expansão do desenvolvimento urbano. Dados dos picos de carga elétrica das usinas do Kuwait de 2010 a 2020 foram usados para prever o pico de carga entre 2020 e 2030. Os autores concluíram, por meio da aplicação do modelo Holt-Winters, que a carga máxima de pico prevista deve atingir 19.588 MW até o ano de 2030 no Kuwait.

REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

Como alternativa à utilização de técnicas estatísticas em modelos de previsão, redes neurais artificiais vêm sendo utilizadas em diversas pesquisas (TAFNER, 1998; KOVÁCS, 2002). Segundo Dias (2004), uma rede neural artificial imita a estrutura do cérebro, sendo formada por nós interligados, simulando a organização dos neurônios no cérebro.

A rede neural é formada por várias camadas de nós, sendo a primeira camada (onde a informação é recebida) chamada de camada de entrada. Já a camada de saída é o local onde a solução do problema é apresentado. Camadas de entrada e saída são unidas por camadas intermediárias, denominadas camadas ocultas (ZHANG *et al.*, 1998).

De acordo com Younes *et al.* (2015), a quantidade de neurônios artificiais nas camadas de entrada e saída são iguais à quantidade de variáveis de entrada e saída do conjunto de dados, respectivamente.

Redes neurais artificiais têm apresentado bom desempenho em função de diversos fatores, como: estrutura maciça e distribuída (camadas), possibilidade de resolução de problemas complexos, modelagem de variáveis e suas relações não lineares além da possibilidade de modelagem com variáveis qualitativas e quantitativas numéricas (HAYKIN, 2007). Porém, as desvantagens da aplicação deste método são a necessidade de um número maior de dados observados na série temporal e a compreensão da modelagem, visto que o modelo não é explícito (MAKRIDAKIS *et al.*, 2008).

Um exemplo de uma rede neural artificial pode ser visualizado na Figura 11.

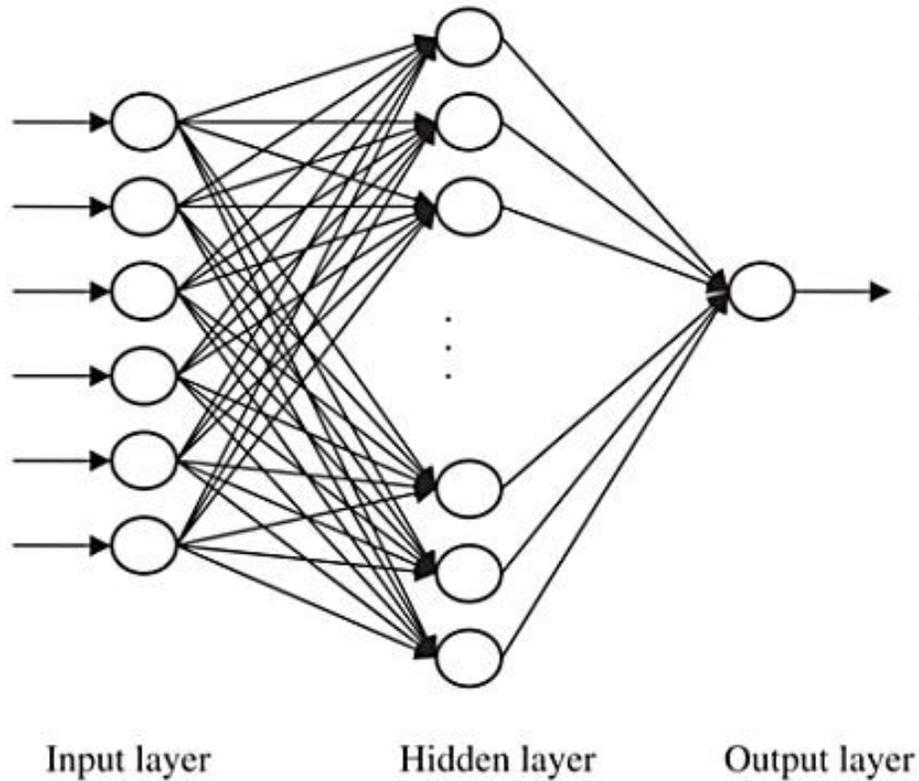


Figura 11: Exemplo de uma rede neural artificial.
Fonte: Ma *et al.* (2011).

Antanasijević *et al.* (2013) desenvolveram modelos aplicando redes neurais artificiais para determinar a geração futura de resíduos sólidos da Bulgária e Sérvia. Os autores utilizaram dados de 26 países europeus no estudo como série de dados para o desenvolvimento de modelos de redes neurais artificiais, todavia focaram em prever o quantitativo gerado de resíduos sólidos nos países que disponham de dados incompletos ou inexistentes. Foram utilizados como dados de entrada (*inputs*) no modelo: o produto interno bruto, consumo interno de materiais e produtividade de recursos para prever a quantidade de resíduos sólidos gerados (*output*) (ANTANASIJEVIĆ *et al.*, 2013). De acordo com Antanasijević *et al.* (2013), a aplicação de redes neurais artificiais para previsão da geração de resíduos sólidos pode utilizar parâmetros que são monitorados continuamente, como: econômicos, industriais, demográficos, etc. A utilização destes parâmetros como entrada possibilita o desenvolvimento de modelos para determinar vários indicadores ambientais e os seus impactos ao meio ambiente.

MODELO DE GREY

A partir da teoria de Grey, desenvolvida por Julong Deng em meados dos anos de 1980, foi definido o modelo de Grey para realização de previsões. O modelo de Grey (EGM - Even Grey Model ou GM - Grey Model), mesmo utilizando um conjunto de dados contendo poucas informações de entrada (apenas quatro), demonstrou ser capaz de realizar eficiente previsão de sistemas (WEI *et al.*, 2015).

GM (N, M) é um modelo cuja ordem é N e o número de variáveis é M . Modelos de Grey do tipo GM (1, 1) têm sido amplamente utilizados devido à sua simplicidade. No entanto, esta tipologia contém apenas um componente exponencial e apenas uma raiz característica; assim, simular a série temporal caracterizada por uma grande oscilação é complexo (LEE e TONG, 2010; LI *et al.*, 2017).

Li *et al.* (2017) afirmam que o modelo de Grey é caracterizado pela utilização da matemática para lidar com a incerteza, empregando os dados conhecidos para encontrar a lei de um sistema. Este modelo possui como principais vantagens a simplicidade de modelagem, a necessidade de menor quantidade de dados históricos e a alta precisão de previsão.

Em função da sua eficiência na previsão de tendências observadas em modelos com poucos dados iniciais, o modelo de Grey apresenta um processo de coleta de dados mais simples e possibilita a realização de previsões com maior facilidade que os métodos tradicionais (WEI *et al.*, 2015).

Intharathirat *et al.* (2015) desenvolveram estudo com o objetivo de prever os resíduos sólidos urbanos coletados na Tailândia utilizando diversos modelos de Grey. Foram propostos 15 modelos na pesquisa, sendo o GM (1, 5), o qual utilizou como as 5 variáveis (as despesas de consumo das famílias, o tamanho da família, as taxas de emprego, a densidade populacional e a urbanização), o que apresentou menor erro percentual absoluto médio e, portanto, melhor modelagem para prever a geração de resíduos sólidos (INTHARATHIRAT *et al.*, 2015). Segundo os autores, o modelo indicou aumento de 1,40% ao ano de resíduo sólido urbano coletado (44.994 t/dia

em 2013 / 49.293 t/dia em 2020 e 56.735 t/dia em 2030) em função dos fatores representativos que foram listados como as 5 variáveis do modelo de Grey desenvolvido.

2.2.3 Aplicação de modelos de previsão em gestão de RCD

De acordo com Menegaki e Damings (2018), diversos estudos já foram realizados buscando desenvolver modelos para prever a geração de RCD em diferentes níveis (local, regional e nacional). Estes modelos de previsão envolvem a utilização de dados históricos da geração dos resíduos de construção para estimar a produção futura de RCD com base nesta série de informações (HUANG *et al.*, 2020; QUIAO *et al.*, 2020). De acordo com Wu *et al.* (2015), é importante conhecer as tendências e variações da geração dos resíduos para aplicação de um modelo de previsão.

Alashwal (2019) cita que, além da divisão em níveis, os modelos de previsão de resíduos podem ser divididos em macro e micro, sendo a modelagem macro utilizada para prever resíduos em uma cidade ou país, enquanto os modelos micro para preverem resíduos gerados durante as fases de construção/demolição de um projeto. Embora a maioria dos modelos de previsão de geração de RCD se concentrem em nível de projeto, a aplicação de modelos em nível regional tem se tornado cada vez mais aplicável (WU *et al.*, 2014). Os autores também concluíram em sua pesquisa que modelos de previsão de geração utilizando regressões de séries históricas podem ser realizados a partir de dados relacionados à geração de RCD.

De acordo com Qiao *et al.* (2020), a previsão da geração de RCD pode ser realizada utilizando diferentes modelos de previsão, como regressão linear, média móvel e Modelo de Grey. Huang *et al.* (2020) afirmam que quando o tamanho da amostra é grande, as previsões podem ser feitas usando vários métodos baseados em dados, como regressão linear múltipla, Modelo de Grey e redes neurais artificiais. Modelos de previsão de geração de resíduos convencionais geralmente utilizam fatores socioeconômicos e demográficos como variáveis independentes para prever o quantitativo de resíduos que serão gerados (KOKELAR *et al.*, 2016).

A Tabela 5 abaixo apresenta os principais estudos desenvolvidos de modelos macros de previsão de resíduos de construção e demolição.

Tabela 5: Estudos de previsão de RCD - modelos macro.

Autores	Modelo de previsão utilizado
Seo e Hwang (1999)	Análise de regressão
Shi e Xu (2006)	
Zhao <i>et al.</i> (2011)	
Liu <i>et al.</i> (2014)	
Menegaki e Damingos (2018)	
Teixeira <i>et al.</i> (2019)	
Zhang <i>et al.</i> (2019)	
Song <i>et al.</i> (2015)	Modelo Box-Jenkins (ARIMA)
Shang <i>et al.</i> (2013)	Modelo de Grey
Song <i>et al.</i> (2017)	

Seo e Hwang (1999) desenvolveram uma análise de regressão linear para estimar a quantidade de resíduo de construção e demolição gerada na cidade de Seul. A metodologia foi composta por cinco etapas: estimativa da vida útil dos edifícios; estimativa da área útil dos edifícios a serem construídos e demolidos; cálculo da geração per capita de RCD e, por fim, a previsão da geração futura de RCD. Os autores estimaram a geração de 25 milhões de toneladas de RCD na capital da Coreia do Sul no ano de 2018, que representa 3,9 vezes o quantitativo de geração em 1994. A partir da previsão de geração de RCD em Seul será possível ampliar a utilização dos materiais reciclados, reduzindo o consumo de materiais naturais e a área necessária para disposição final em aterro (SEO e HWANG, 1999). A publicação desta pesquisa foi de grande importância pois trata-se de um trabalho pioneiro na Ásia relacionado à gestão de RCD (DING e XIAO, 2014), incentivando o desenvolvimento de novas publicações sobre o tema.

Shi e Xu (2006) também realizaram análise de regressão para desenvolver um modelo para estimar a quantidade de resíduos de concreto gerados anualmente na China utilizando correlações com a produção de cimento, áreas de construção e

locais previstos para novas construções. Em sua pesquisa, os autores utilizaram uma série histórica do PIB para estimar a produção futura de cimento e prever o quantitativo de 239 milhões e 638 milhões de toneladas de resíduos de concreto para os anos de 2010 e 2020, respectivamente, gerados na China. A principal limitação deste estudo é a dificuldade na determinação das taxas de demolição em associação à produção de cimento, uma vez que a geração dos resíduos de demolição está relacionada ao tipo dos edifícios, tempo de vida útil, demanda de desenvolvimento entre outros fatores (SHI e XU, 2006).

Uma abordagem utilizando sistema dinâmico foi desenvolvida no estudo de Zhao *et al.* (2011). Os autores realizaram simulações na cidade chinesa de Chongqing para avaliar a implantação de diferentes tipos de infraestrutura de reciclagem de RCD. Um dos dados utilizados nas simulações foi a geração futura de RCD no município. Para prever o quantitativo de RCD gerado, os autores utilizaram regressão linear entre o PIB (série histórica de 1985 a 2007) e a área construída para posteriormente quantificar a geração dos resíduos. A relação proposta pelos autores entre PIB e área construída é apresentada na Equação 5 (coeficiente de determinação $R^2 = 0,849$):

$$\text{Área construída} = 1,611 + 1,66 \times \text{PIB} \quad (5)$$

De acordo com Zhao *et al.* (2011), os resultados simulados indicaram que a geração máxima de resíduos de construção e demolição será de 11,3 milhões de toneladas em 2030, levando em consideração um crescimento de 17,47% do PIB do município até o referido ano.

Liu *et al.* (2014) empregaram em sua pesquisa as ferramentas de regressão linear múltipla e Sistema de Informação Geográfica para investigar 1.750 edifícios demolidos também na cidade de Chongqing (China). Os autores concluíram que a vida útil média dos edifícios demolidos era de apenas 34 anos (muito abaixo da vida útil prevista nos projetos), sendo necessário construir um sistema de tomada de decisão científica de demolição de edifícios que possa ajudar a evitar que a demolição em larga escala seja realizada indiscriminadamente. Além disto, para

promover o desenvolvimento urbano sustentável a longo prazo é fundamental realizar manutenção e reutilização adaptativa dos edifícios existentes (LIU *et al.*, 2014). Embora o foco desta pesquisa não tenha sido prever a geração futura de RCD no município, os autores afirmaram que a integração da regressão e SIG possibilitou estudar os fatores de localização das infraestruturas de gestão de RCD e também o ciclo de vida das edificações.

Menegaki e Damigos (2018) desenvolveram um modelo de regressão utilizando dados de 16 países e do território de Hong Kong do ano referência de 2014 para relacionar a geração de RCD per capita com três variáveis independentes: o produto interno bruto da construção, o PIB per capita e a densidade populacional. Os autores concluíram que o RCD per capita gerado aumenta quando a atividade de construção (expressa por meio do PIB da construção), a riqueza do país (expressa através do PIB per capita) e a densidade populacional aumentam. A Equação 6 ($R^2 = 0,950$) representa o modelo desenvolvido por Menegaki e Damigos (2018):

$$RCD_{hab} = -1,051 + 9,82 \times 10^{-7} \times PIB_c + 3,98 \times 10^{-5} \times PIB_{hab} + 3,28 \times 10^{-4} \times D_{hab} \quad (6)$$

Em que:

RCD_{hab} = quantitativo previsto de RCD gerado per capita (t);
 PIB_c = Produto Interno Bruto da construção civil (US\$ x 10^6);
 PIB_{hab} = Produto Interno Bruto per capita (US\$ / hab);
 D_{hab} = Densidade populacional (habitantes / km^2).

Informações baseadas na análise de 18 canteiros de obras de construção localizados na cidade de Porto Alegre foram utilizadas por Teixeira *et al.* (2019). Os autores estimaram taxa média de geração de 0,151 m^3/m^2 nas obras estudadas para desenvolver dois modelos de regressão. O primeiro modelo ($R^2 = 0,809$) relacionou as características dos projetos, utilizando o número de pavimentos, a área dos pavimentos e um fator de interrupção (percentual do cronograma da obra afetado por problemas operacionais, contribuindo para a geração de resíduos) como variáveis independentes para prever a geração de RCD. Já o segundo modelo de regressão ($R^2 = 0,914$) apresentado pelos autores explorou a influência das etapas construtivas

das 18 edificações, incluindo a variável tempo. No entanto, existem algumas limitações para este estudo. Embora a pesquisa apresente limitações, tais como presença heterogênea de resíduos nas medições (implicando em dificuldade para analisar os principais tipos de resíduos gerados em cada etapa da construção) e evolução da execução das construções em função das vendas (afetando a velocidade de construção que depende da disponibilidade de recursos econômicos que dependem parcialmente das vendas), os modelos apresentaram parâmetros estatísticos satisfatórios e podem ser usados para produzir melhores planos de gerenciamento de resíduos em nível local (TEIXEIRA *et al.*, 2019).

Já Zhang *et al.* (2019) realizaram pesquisa sobre diferentes métodos de quantificação de resíduos de construção e demolição para países em desenvolvimento, utilizando a China como estudo de caso. Um dos métodos apresentados pelos autores utilizou a informação de 11 cidades chinesas para o desenvolvimento de modelo de regressão bivariada, relacionando o PIB per capita com a geração de RCD. Na Equação 7 é possível visualizar a relação entre as variáveis para a previsão da geração de RCD.

$$RCD = 0,0028 \times PIB_{hab} - 7,8697 \quad (7)$$

Com base na regressão desenvolvida, os autores calcularam a geração de RCD per capita que, segundo eles, poderia ser utilizada para estimar a geração nacional de RCD, uma vez que os dados históricos de cidades de pequeno e médio porte populacional são limitados e os únicos disponíveis vêm dos 11 principais municípios utilizados na pesquisa. Desta forma, a aplicação de regressões é apropriada para muitos países em desenvolvimento, que em muitos casos não dispõem de estatísticas nacionais, mas possuem dados demográficos e econômicos básicos para serem relacionados com a geração de RCD, possibilitando então prever o quantitativo de resíduo gerado em nível regional (ZHANG *et al.*, 2019).

Song *et al.* (2015) utilizaram dados relacionados às construções e demolições da cidade chinesa de Haikou para aplicar um Modelo Box-Jenkins (ARIMA) com o objetivo de prever a expansão da área construída do município. A partir da estimativa da evolução da área construída entre 2015 e 2020, os autores aplicaram coeficientes que relacionavam a produção de resíduo por área (1,05 toneladas/m² e 0,15 toneladas/m², respectivamente para demolição e construção), obtendo estimativa da quantidade de RCD que seria produzida na cidade para os anos citados. Os resultados indicaram que os resíduos de construção e demolição de Haikou são formados de forma majoritária por resíduos oriundos de atividades de demolição (70% do quantitativo de resíduos previstos), sendo a tipologia de produção maior contendo principalmente concreto e blocos quebrados (SONG *et al.*, 2015). Os autores reconhecem a dificuldade de prever a produção do RCD com a ausência de dados confiáveis, todavia, observa-se que nesta pesquisa foram utilizados apenas informações relacionadas às áreas das construções e demolições de um período curto (6 anos).

Shang *et al.* (2013) realizaram estudo também em Haikou (China) para mensurar a quantidade prevista de geração de um tipo específico de RCD (denominado pelos autores como resíduos de decoração, que se referem aos tipos de resíduos produzidos ao decorar edifícios). Modelo de Grey do Tipo GM (1, 1) foi desenvolvido para estimar a massa do RCD por área de construção e assim obter o quantitativo de resíduo de decoração gerado. Os autores concluíram que a massa média de resíduos de decoração é de 50 kg/m² e que o quantitativo de resíduo gerado no município crescerá de forma constante a uma taxa média anual de 2,70% entre 2012 e 2016. Tendo em vista o crescimento do PIB do município (sendo 10,13% a parcela da construção civil em 2011) e das atividades de construção (aumento médio anual de 15,6% entre 2006 e 2011, é necessário realizar pesquisas com o objetivo de prever os resíduos gerados por atividades de decoração de edifícios novos (SHANG *et al.*, 2013). Neste contexto, observa-se que embora os autores tenham definido uma tipologia de resíduo que apresenta crescimento de geração, há limitações na pesquisa por não considerarem outros tipos de resíduos de construção e demolição.

A partir da verificação de uma grande lacuna na literatura sobre estimativas da geração futura de RCD, Song *et al.* (2017) desenvolveram um modelo de previsão de RCD na China para prever a quantidade de cada componente em tais resíduos. Com o objetivo de fornecer, aos tomadores de decisão, informações sobre a previsão dos resíduos de construção e demolição gerados nas 31 províncias da China, foi realizada pesquisa utilizando o Modelo de Grey. A partir dos resultados do modelo desenvolvido, foi possível estimar quais as províncias com maior quantitativo de RCD previsto (SONG *et al.*, 2017). Para melhorar o sistema de gestão de resíduos existente na China, é fundamental resolver o problema de falta de dados para controlar e gerenciar adequadamente os resíduos, sendo estimar com precisão a possível deposição do RCD um dos principais desafios, de modo a possibilitar adoção de medidas de gestão de prevenção e não apenas contramedidas (SONG *et al.*, 2017).

Conforme pode ser observado neste item, a grande maioria das publicações relacionadas aos modelos de previsão em gestão de RCD foram aplicados em países em desenvolvimento. Isto ocorre porque estes países não possuem estatísticas apropriadas sobre a geração de RCD que permitam serem utilizadas buscando a promoção de uma gestão adequada dos resíduos de construção e demolição (LU *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2019), o que também é visto no Brasil (JACOBI e BESEN, 2011; MAIELLO *et al.*, 2018).

Desta forma, observou-se que os autores utilizaram estatísticas confiáveis que estavam disponíveis, tais como: PIB, PIB per capita, PIB da construção civil e densidade populacional para desenvolver os modelos de previsão de geração de RCD. Estas variáveis apresentam uma relação direta com a geração de resíduos sólidos, e conseqüentemente com a geração de RCD nos países em desenvolvimento (ZHAO *et al.*, 2011; KAZA *et al.*, 2018; MENEGAKI e DAMINGOS, 2018; ZHANG *et al.*, 2019), sendo, portanto, apropriadas para serem utilizadas em modelos de previsão em gestão de RCD.

2.3 Sistema de informação geográfica na gestão de RCD

Lozano *et al.* (2013) definem um Sistema de Informação Geográfica (SIG) como uma ferramenta computacional utilizada para consulta, análise, edição de dados e de mapas e informações espaciais. Trata-se de um sistema automatizado composto por um conjunto de ferramentas utilizadas para coletar, armazenar, recuperar, transformar, combinar, visualizar e plotar dados geográficos (BURROUGH *et al.*, 2015). Segundo Rocha (2016), o SIG apresenta um conjunto de ferramentas aplicadas no gerenciamento e análise de informações, de qualquer natureza, dependentes da localização, seja espacial ou geográfica. A localização é uma informação fundamental e indispensável para a análise das representações de objetos e fenômenos (NETO, 2009).

Os SIGs favorecem a realização de análises mais criteriosas, cruzamento e superposição de informações e, principalmente, a apresentação dos resultados por meio de mapas, imagens, gráficos, símbolos, textos, representações matemáticas e estatísticas (AUGUSTO, 2013). Desta forma, um Sistema de Informação Geográfica é utilizado como ferramenta de apoio à decisão, por integrar imagens orbitais, manipular grandes volumes de dados e possuir potencial para realizar grande diversidade de análises com eficiência (NETO, 2009). De acordo com Pinheiro *et al.* (2009), os SIGs são utilizados como ferramentas de análise espacial, na modelagem e simulação de cenários, para subsidiar a elaboração de políticas públicas. Esta tecnologia permite integrar informações de dados cartográficos de diferentes naturezas (como demográficos, viários, econômicos, hidrológicos, variáveis ambientais, entre outras) em um banco de dados unificado, o que reflete a multiplicidade de usos e a interdisciplinaridade permitida.

Silva (2014), em sua pesquisa, aborda diferentes definições para um SIG, indicando a multiplicidade do uso desta ferramenta e sua interdisciplinaridade de utilização. Essas definições divergentes apresentam enfoque em dois aspectos: solução de problemas e/ou tecnologia. O uso do SIG no apoio à decisão em problemas espaciais é realçado pela abordagem de solução de problemas. Já a abordagem tecnológica

define o SIG como um conjunto de ferramentas para entrada, armazenamento, gestão, análise e, finalmente, saída de dados com fortes componentes espaciais (MALCZEWSKI, 2004).

Um Sistema de Informação Geográfica pode ser subdividido em quatro subsistemas, conforme indicado a seguir (MALCZEWSKI, 1999):

- Entrada de dados (*data input*);
- Armazenamento e gestão de dados;
- Análise e manipulação de dados
- Apresentação dos resultados (*data output*).

A entrada de dados é uma etapa na qual são identificadas e agrupadas as informações requeridas para uma aplicação específica. A aquisição, reformatação, georreferenciamento, compilação e documentação dos dados fazem parte desta etapa. Os componentes da entrada de dados convertem as informações a partir da sua raiz ou formas existentes para serem utilizadas no SIG (MALCZEWSKI, 1999). Conforme relata Silva (2014), é importante distinguir nessa etapa a entidade geográfica e um objeto geográfico. A primeira é um elemento do mundo real, enquanto o segundo é uma representação da entidade geográfica num SIG.

De acordo com Malczewski (1999), no subsistema de armazenamento e gestão de dados, os componentes de armazenamento de dados do SIG incluem as funções para armazenar e recuperar os dados que se encontram em uma coleção de dados não redundantes, organizada de forma computacional (*database*). Os usuários podem expandir, atualizar, reutilizar e compartilhar essa *database*. Silva (2014) cita que, nesta etapa, ocorre a manipulação e análise dos dados para obtenção de informações úteis para uma determinada aplicação, normalmente organizados em camadas ou planos de informação (denominados *layers*), que são mapas cujos atributos são divididos. Para a resolução de um problema utilizando SIG, em geral é inserido uma base cartográfica, seguida de outros *layers* com informações específicas sobre o problema que se deseja solucionar, como uso e ocupação do

solo, tipos de solo, hidrografia, distribuição populacional, rede de transportes, malha viária entre outros (SILVA, 2014).

Existem basicamente dois modos de representação de dados espaciais: raster (ou matricial) e vetorial (SILVA, 2014; BIJU, 2015). O raster (ou matricial) baseia-se na representação por uma malha retangular de mesmo tamanho (BIJU, 2015). Os dados espaciais são organizados por meio de células, denominada pixel, sendo a característica espacial representada por uma matriz. De acordo com Silva (2014), esse modo de representação é contínuo, ou seja, cada pixel apresenta para cada atributo, numa fração de terreno, um valor constante. Em função desta estrutura, é possível armazenar os dados espaciais em vários planos de informação e realizar operações de sobreposição das camadas. A Figura 12 apresenta um exemplo de representação matricial.

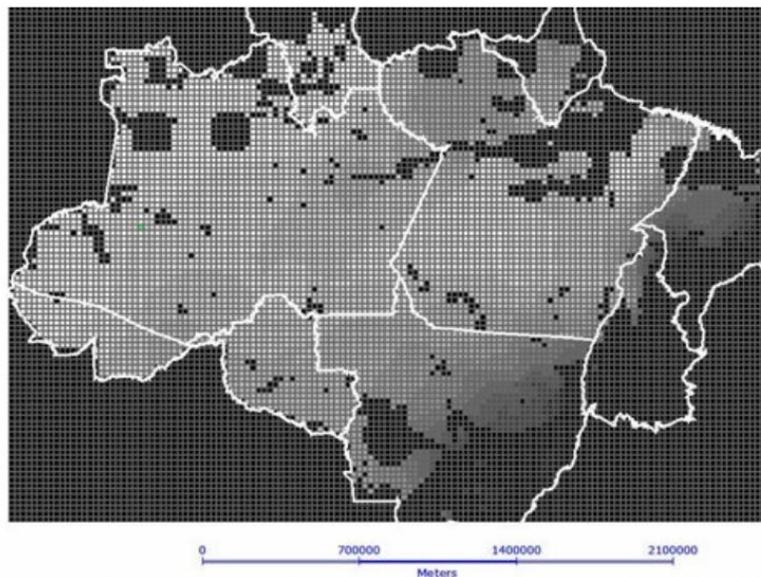


Figura 12: Exemplo de representação raster (ou matricial).
Fonte: Câmara (2005).

Já no modo vetorial, as características geométricas da figura são mantidas pelos vetores, que são utilizados para definir seus limites (BIJU, 2015). Silva (2014) define os elementos presentes no modo vetorial por meio das primitivas geométricas:

- Pontos: definem a localização de objetos que não apresentam área nem forma. São representados por pares de coordenadas;

- Linhas poligonais: representados por dois ou mais pontos ligados, gerando polígonos abertos que expressam elementos que não formam área, mas que possuem uma forma;
- Polígonos: elemento formado por, no mínimo, três vértices ligados, gerando polígonos fechados que definem elementos geográficos, nos quais são definidos a forma e a área.

Exemplos de representação vetorial por pontos, linhas poligonais e polígonos podem ser visualizados na Figura 13.

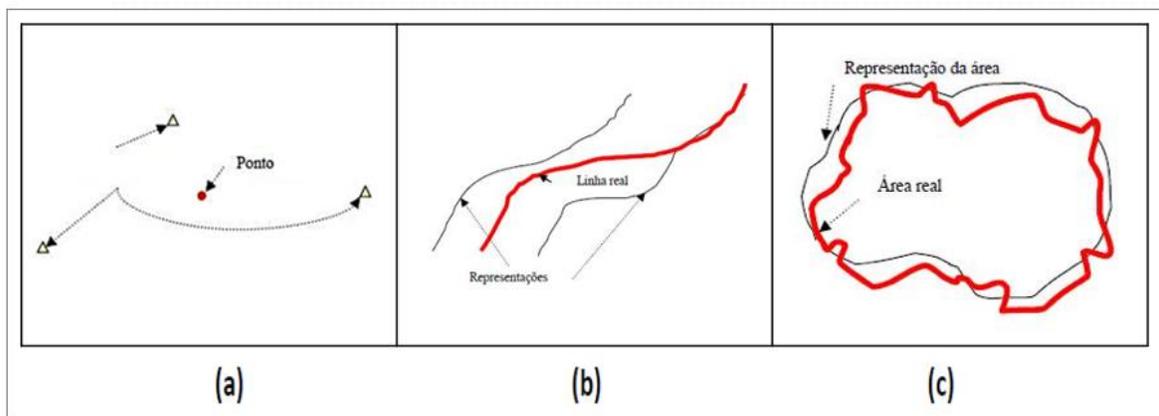


Figura 13: Representação vetorial: (a) pontos, (b) linhas poligonais, (c) polígonos.
Fonte: Adaptado de Vinhas (2006).

Embora recorra a objetos discretos, o modo de representação vetorial pode ser utilizado para representar informações espaciais com variações contínuas, por exemplo as curvas de nível. Isso é possível pelas relações espaciais definidas e armazenadas (inclusão, adjacência, interseção, entre outras) pelos pontos, linhas e polígonos.

Ambos os métodos são utilizados para reduzir os fenômenos geográficos a formas que possam ser codificadas em base de dados (CASCALES *et al.*, 2013; LONGLEY *et al.*, 2013). A Figura 14 demonstra um comparativo entre os modos de representação para as entidades espaciais.

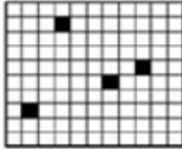
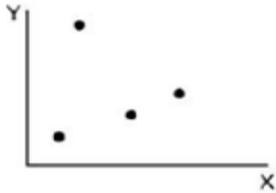
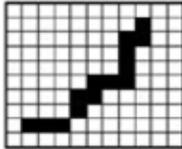
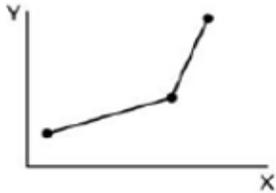
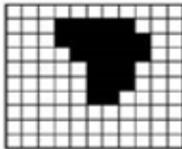
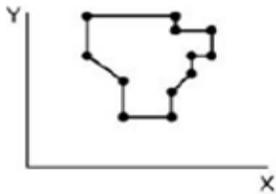
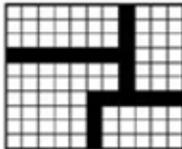
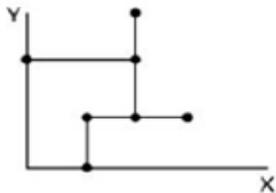
Raster	Vetorial	Espacial
		 Pontos: Hotéis
		 Linhas: Linhas de transmissão
		 Áreas: Florestas
		 Conexões: Estradas

Figura 14: Modos de representação de um SIG.

Fonte: Adaptado de Evans (2010).

A análise e manipulação de dados é classificada conforme a tipologia dos dados manipulados, em: análise espacial, processamento de imagens, modelação de terreno, análise de redes, geodesia e fotogrametria, produção cartográfica (SILVA, 2014). Segundo Biju (2015), uma distinção do SIG é a sua capacidade de efetuar uma análise integrada de atributos e dados espaciais. Duas categorias de funções do SIG podem ser distinguidas em funções fundamentais, ou básicas, e avançadas. Essa distinção é baseada na extensão para cada uma destas funções e podem ser utilizadas numa variedade de análises espaciais.

Na apresentação dos resultados (*data output*), são mostrados os resultados do processamento e das análises de um problema por meio de um SIG aos usuários (MALCZEWSKI, 2004). De acordo com Biju (2015), os dados de saída do SIG são

representados na forma de mapas, tabelas, diagramas e assim por diante. Ainda segundo a autora, os *outputs* dos subsistemas permitem aos usuários verificar os resultados da análise e processos dos dados espaciais, por meio de impressões e/ou no formato eletrônico. Há a possibilidade de melhorar os resultados apresentados, através de funções de composição de mapas cartográficos com adição de elementos, como: legendas, títulos, rosa dos ventos, barras de escala, modificação de cores e ajustes de simbologia (SILVA, 2014).

Um sistema de informação geográfica possui a interface do usuário, as ferramentas e o sistema de gerenciamento de dados como partes fundamentais. Por meio da interface do usuário, há a interação com o sistema, permitindo o acesso às ferramentas do SIG e a definição dos recursos e funções que serão utilizados para o processamento de dados geográficos no *software* SIG (BIJU, 2015).

Longley *et al.* (2013) citam que os dados geográficos são organizados por programas de gerenciamento de dados e armazenados em arquivos, na WEB ou em bancos de dados. Desta forma, é fundamental a utilização de um *software* para analisar, processar e visualizar os dados. A Figura 15 apresenta uma visão geral de um SIG.

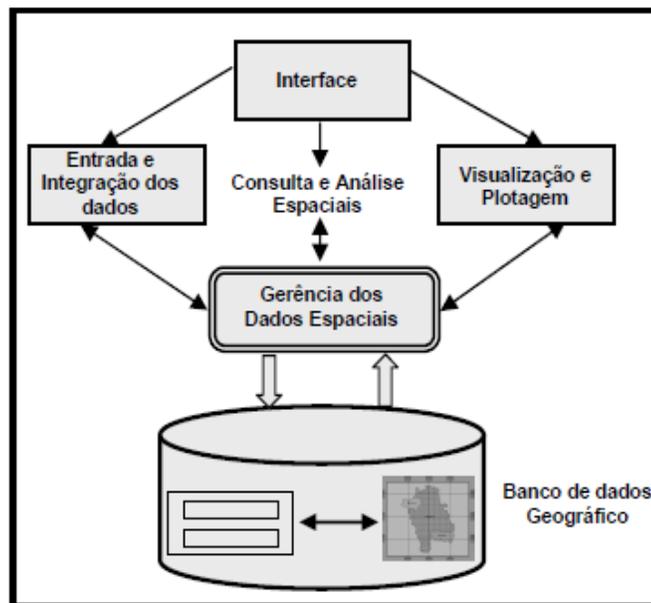


Figura 15: Visão geral de um SIG.
Fonte: Assad e Sano (1998).

Silva (2014) indica como principais *softwares* SIG (sendo os em destaque os principais):

- ArcGIS (comercial)
- GeoMedia (comercial)
- GRASS - *Geographic Resources Analysis Support System* (livre)
- ILWIS - *Integrated Land and Water Information System* (livre)
- Quantum GIS (livre)

O *software* ArcGIS é um pacote de aplicações da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), de elaboração e manipulação de informação em formato vetorial e matricial para o uso e gestão de bases temáticas (SILVA, 2014). O ArcGIS é uma ferramenta para analisar a adequação do uso do solo, armazenar e manipular dados espaciais e combinar diferentes tipos de valores numéricos e descritivos com dados espaciais (AL-HANBALI *et al.*, 2011).

O *software* Quantum Gis (QGIS) é um programa gratuito, licenciado pela GNU (*General Public License*), que apresenta interface simples e de fácil manuseio. O programa possui ferramentas que possibilitam visualizar, gerenciar, editar, analisar os dados e compor mapas impressos (TORCHETTO *et al.*, 2014). O QGIS é capaz de se integrar com outros programas SIGs e com diversas bases de dados; proporcionando o rápido desenvolvimento de novos complementos (GUIMARÃES *et al.*, 2012; NANNI *et al.*, 2019).

De acordo com Calijuri *et al.* (2007), há muito tempo os sistemas de informações geográficas são utilizados como ferramentas de apoio à decisão em função da sua possibilidade de manipular grande quantidade de dados e de realizar análises de forma eficiente (custos baixos e curto espaço de tempo). Essas vantagens potenciais foram verificadas na aplicação de SIG para resíduos sólidos (GHOSE *et al.*, 2006; TAVARES *et al.*, 2009; RADA *et al.*, 2013). Desta forma, conclui-se que para uma análise espacial envolvendo dados de captura, armazenagem, análise e geração de informação geográfica é imprescindível a utilização de um SIG (COSIC *et al.*, 2014).

Os sistemas de informações geográficas são utilizados por diversas áreas para solucionar problemas de localização. Na Tabela 6 são apresentados diversos estudos que utilizaram o SIG como ferramenta para solução de problemas de gestão de resíduos.

Tabela 6: Estudos realizados com SIG para solução de problemas de gestão de resíduos.

Autores	Título original	Título traduzido
Lorena <i>et al.</i> (2001)	Integração de modelos de localização a sistemas de informações geográficas	-
Naruo (2003)	O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando sistema de informações geográficas	-
Li <i>et al.</i> (2005)	<i>Application of integrated GPS and GIS technology for reducing construction waste and improving construction efficiency</i>	Aplicação de tecnologia integrada de GPS e SIG para redução dos resíduos e melhoria da eficiência da construção
Silvestri e Omri (2008)	<i>A method for the remote sensing identification of uncontrolled landfills: formulation and validation</i>	Um método para identificação por sensoriamento remoto de aterros não controlados: formulação e validação
Murray (2010)	<i>Advances in location modeling: GIS linkages and contributions</i>	Avanços na modelagem de localização: ligações e contribuições do SIG
De Feo <i>et al.</i> (2014)	<i>Definition of a multi-criteria, web-based approach to managing the illegal dumping of solid waste in Italian villages</i>	Definição de uma abordagem de rede multicritério para gerenciamento da deposição ilegal de resíduos sólidos em distritos italianos
Wu <i>et al.</i> (2015)	<i>An innovative approach to managing demolition waste via GIS: a case study in Shenzhen city, China</i>	Uma abordagem inovadora para a gestão de resíduos de demolição via SIG: um estudo de caso na cidade de Shenzhen, China
Yazdani <i>et al.</i> (2015)	<i>Landfill site suitability assessment by means of geographic information system analysis</i>	Avaliação da adequação de aterro por meio de análise de sistema de informações geográficas
Zainun <i>et al.</i> (2016)	<i>Mapping of Construction Waste Illegal Dumping Using Geographical Information System (GIS)</i>	Mapeamento da deposição ilegal de resíduos da construção utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG)
Kleemann <i>et al.</i> (2017)	<i>Using change detection data to assess amount and composition of demolition waste from buildings in Vienna</i>	Usando dados de detecção de alterações para avaliar a quantidade e a composição dos resíduos de demolição de edifícios em Viena
Seror e Portnov (2018)	<i>Identifying areas under potential risk of illegal construction and demolition waste dumping using GIS tools</i>	Identificação de áreas sob risco potencial de deposição ilegal de resíduos de construção e demolição usando ferramentas SIG
Paz <i>et al.</i> (2018)	<i>GIS-based planning system for managing the flow of construction and demolition waste in Brazil</i>	Sistema de planejamento baseado em SIG para gestão do fluxo de RCD no Brasil
Alzagrini <i>et al.</i> (2019)	<i>Using GIS and optimization to manage construction and demolition waste: The case of abandoned quarries in Lebanon</i>	Usando SIG e otimização para gerenciar resíduos de construção e demolição: o caso de pedreiras abandonadas no Líbano

Lorena *et al.* (2001) utilizaram um Sistema de Informação Geográfica integrado com modelagem matemática empregando dados do município de São José dos Campos/SP para solucionar problemas de localização de instalações da rede de gestão de resíduos. Os autores desenvolveram uma rede com o objetivo de minimizar a soma de todas as distâncias de cada ponto de demanda a sua mediana mais próxima. Os testes computacionais desenvolvidos na pesquisa demonstraram a efetividade do algoritmo proposto para utilização em sistemas de apoio à decisão usando SIG, de modo que a combinação destas ferramentas facilitou a definição de soluções ótimas (LORENA *et al.*, 2001).

A utilização de um sistema de informação geográfica serviu como ferramenta de apoio a decisão espacial para analisar sistema de destinação de resíduos sólidos urbanos de municípios de pequeno porte em pesquisa realizada por Naruo (2003). O autor utilizou um *software* SIG denominado TransCAD para propor diferentes localizações dos aterros sanitários, obedecendo as restrições impostas na modelagem do estudo, com o objetivo de selecionar o local de implantação que representasse o menor custo logístico. Para alcançar o objetivo da pesquisa, diferentes redes de gestão foram consideradas, variando-se também o número de aterros sanitários que atenderiam aos municípios e também à necessidade ou não de estações de transferência de resíduos (NARUO, 2003).

O estudo desenvolvido por Li *et al.* (2005) apresentou um método que utilizava um SIG integrado com sistema de posicionamento global (GPS) como ferramentas na gestão de resíduos de construção e demolição. Os autores desenvolveram um protótipo a partir de um sistema de captura automática de dados, utilizando códigos de barras para realizar o gerenciamento de materiais e equipamentos de construção em obras. Com base no estudo de caso realizado, os resultados experimentais indicaram que o sistema proposto pode auxiliar na redução do RCD gerado no local, uma vez que melhora os processos construtivos e reduz a quantidade de material desperdiçado (LI *et al.*, 2005).

Silvestri e Omri (2008) empregaram SIG com informações de sensoriamento remoto para identificar aterros desconhecidos em uma área de estudo localizada no nordeste da Itália (parte da bacia hidrográfica de Veneza), usando dados do satélite IKONOS. Informações geográficas distribuídas, como a posição da rede de estradas, a densidade populacional e fotografias aéreas históricas foram utilizadas para selecionar os locais mais indicados entre os candidatos selecionados por sensoriamento remoto (SILVESTRI e OMRI, 2008). Ainda de acordo com os autores, a integração de um SIG com o sensoriamento remoto foi de extrema importância, porque representou um instrumento chave para a gestão ambiental e para a caracterização espacial dos possíveis locais para implantação de aterros.

Murray (2010) desenvolveu um artigo de revisão bibliográfica focado na análise da evolução da utilização do Sistema de Informação Geográfica em problemas de localização. A utilização de um SIG em conjunto com as informações espaciais representa um grande avanço tecnológico, porém o potencial para realizar análises estatísticas de localização, transporte e espaço no contexto de planejamento, gestão e tomada de decisão permanece um desafio, segundo o autor. Murray (2010) listou quatro áreas (entrada, visualização, solução de problemas e avanço da teoria) de apoio da utilização de um SIG em problemas de localização; nas quais foram identificadas funções e processos que contribuem para a ciência da localização, como análise de adequação, sobreposição e álgebra de mapas, centroides, agregação, zonas espaciais e pesquisa espacial. O SIG é importante na compreensão das relações espaciais, assim como possibilita a exploração do conhecimento para estruturar técnicas de solução e novos modelos de localização (MURRAY, 2010).

Uma abordagem SIG simplificada baseada na WEB com o objetivo de gerenciar os locais de deposição irregulares em um município italiano de pequeno porte foi desenvolvida por De Feo *et al.* (2014). Os autores utilizaram uma técnica multicritério para estabelecer as prioridades de intervenção nos locais de deposição irregular, dividida em sete etapas: (1) construção da matriz de alternativas, (2) atribuição de valores qualitativos para cada lixão individual e a todos os critérios, (3) atribuição de

valores numéricos para cada valor qualitativo, (4) cálculo do Índice de Perigo Médio (IPM), (5) ordenação dos lixões de cada matriz de alternativas, conforme o IPM, (6) comparação dos primeiros 50% dos lixões, com o objetivo de avaliar quais tiveram prioridades de intervenção e (7) realização de uma análise de sensibilidade, atribuindo prioridades diferentes aos quatro critérios adotados (quantidade relativa de resíduos, solo nível de permeabilidade, metas de poluição e tipos de resíduos sólidos). A pesquisa desenvolvida permitiu minimizar o custo social total da poluição, a reabilitação de lixões e o monitoramento dos locais de deposição irregular; podendo ser adaptada para uso em outros municípios da Itália ou em outros países (DE FEO *et al.*, 2014).

Uma metodologia inovadora foi desenvolvida por Wu *et al.* (2015) utilizando o software ArcGIS para avaliar a demanda por aterros sanitários e planejar instalações de reciclagem de RCD. A abordagem utilizada consistiu na quantificação dos resíduos de construção e demolição para a formulação de estratégias para a gestão dos referidos resíduos, utilizando as dimensões espaciais e temporais em um SIG. Os autores concluíram, ao aplicar o modelo desenvolvido no distrito de Nan Shan (China), que mais de 135 milhões de toneladas serão geradas entre os anos de 2015 e 2060, conforme Figura 16; e previram um potencial de reciclagem em torno de 6.072 milhões de dólares.

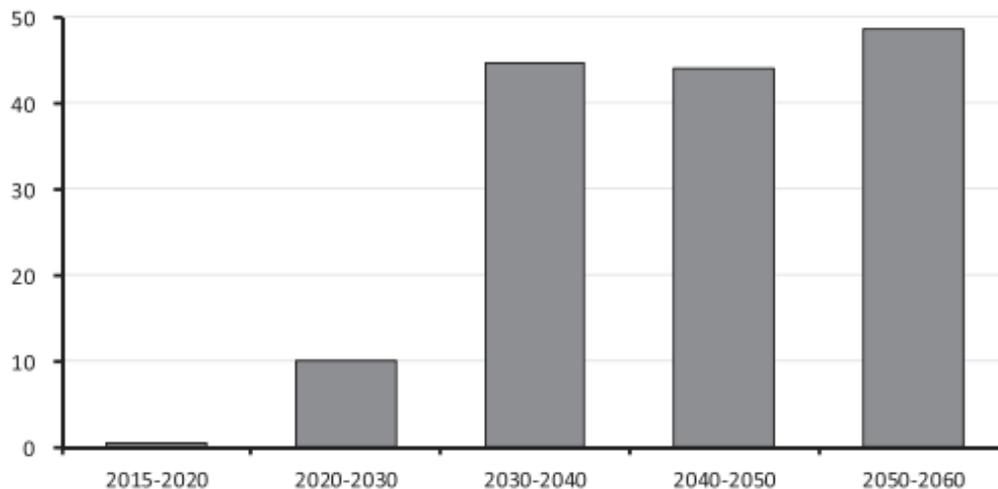


Figura 16: Geração de RCD entre 2015-2060 em Nan Shan (milhões de toneladas).

Fonte: Wu *et al.* (2015).

Ainda de acordo com Wu *et al.* (2015), os resultados obtidos no estudo forneceram referências valiosas para a melhoria da gestão dos resíduos, como, a seleção de empresas de coleta, gerenciamento de transporte e o projeto de instalações de reciclagem de resíduos e aterros sanitários. As conclusões da pesquisa poderão auxiliar os governos a desenvolverem instrumentos de política baseados em evidências para minimizar os resíduos de construção e demolição, levando em consideração as implicações no planejamento urbano (WU *et al.*, 2015).

Yazdani *et al.* (2015) realizaram a análise por meio de um SIG para investigar a adequação de locais alternativos para aterros municipais, utilizando a cidade de Tonekabon (Irã) como estudo de caso; além de mapear a contaminação da água e do solo e avaliar os riscos à saúde associados à proximidade de aterros e locais de disposição de resíduos. A metodologia proposta pelos autores utilizou duas diretrizes para realizar a avaliação: Minnesota *Pollution Control Agency* (MPCA) e diretrizes regionais de seleção.

Enquanto que o método MPCA possuía 6 critérios, o regional apresentava 11 critérios para seleção dos locais aptos a receberem aterros sanitários. Os critérios estabelecidos no MPCA eram: 1. distância mínima de 305 metros de qualquer lago ou piscina, 2. distância mínima de 92 metros de qualquer rio ou canal, 3. distância da área com inundação de 100 períodos de retenção, 4. evitar zonas úmidas, 5. evitar áreas sensíveis ao redor do aeroporto e 6. respeitar distância de áreas com cavernas de calcário. Já o método regional se mostrou mais criterioso do que o MPCA por apresentar critérios relacionados às condições naturais, uso do solo e também de fatores econômicos. Em relação ao método regional, citam-se os critérios utilizados: 1. distância mínima de 61 metros da água superficial, 2. distância mínima de 300 metros de qualquer recurso hídrico subterrâneo, 3. distância mínima de 80 metros de área industrial, 4. distância mínima de 150 metros de centros populacionais, 5. distância mínima de 61 metros de falhas geológicas, 6. evitar regiões com potencial de deslizamento, 7. respeitar distância de áreas com rochas de calcário, 8. distância mínima de 3000 metros do aeroporto, 9. profundidade mínima de 15 metros do solo no local de implantação do aterro, 10. evitar locais com solo argiloso, 11. evitar locais

com nível elevado de águas subterrâneas. Desta forma, foram utilizados os critérios relatados acima para o desenvolvimento de mapas com as áreas sustentáveis (valor 1) e não sustentáveis (valor 0) para implantação de aterros por meio dos métodos MPCA e diretrizes regionais.

Adotando o método regional, apenas 58,2% da área total de estudo é adequada para implantação de aterro sanitário, enquanto que pelo método MPCA este valor é de 95,32%, conforme indicado na Figura 17.

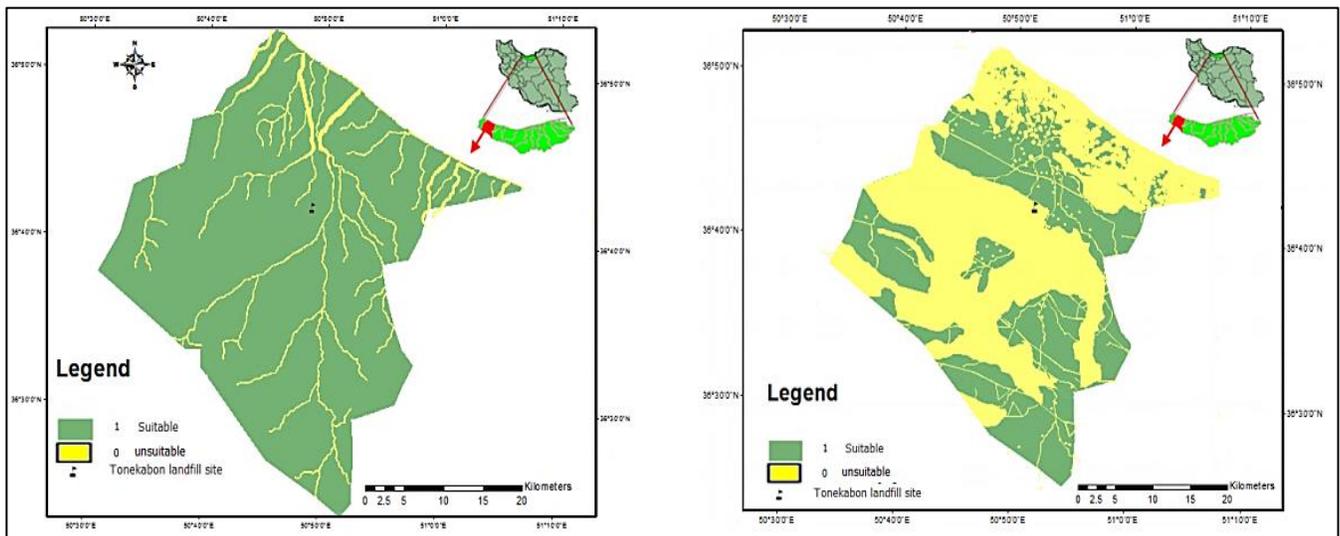


Figura 17: Áreas para implantação de aterro sanitário. (a) MPCA, (b) Método regional.
Fonte: Yazdani *et al.* (2015).

Outro ponto de conflito entre os dois métodos foi constatado pelos autores ao verificar a localização atual do aterro sanitário. De acordo com o método regional, o local atual do aterro sanitário do município não é adequado, enquanto que a aplicação do método MPCA indica que a localização do aterro sanitário é aceitável (YAZDANI *et al.*, 2015).

A deposição irregular de resíduos de construção e demolição foi mapeada por meio de SIG no estudo realizado por Zainun *et al.* (2016). Os autores realizaram um mapeamento do despejo ilegal de RCD no distrito de Kluang (Malásia) contendo informações como coordenadas, tipologia e quantidade dos resíduos gerados e relatório fotográfico por um período de três meses. Os resultados indicaram um total

de 12 tipos de RCD (sendo o maior percentual de resíduos de concreto) localizados em 64 pontos de deposição irregular com volume total calculado de 427,26 m³ de resíduos. O sistema desenvolvido será capaz de auxiliar as autoridades locais no monitoramento de despejos ilegais (ZAINUN *et al.*, 2016).

Kleemann *et al.* (2017) utilizaram SIG para quantificar a geração de RCD oriundo das demolições em Viena (Áustria). Os resultados indicaram que as estatísticas da cidade apontavam para valores inferiores de RCD gerado em comparação com os dados levantados por meio da ferramenta de análise espacial utilizada na pesquisa, sendo o volume anual dos dados oficiais de 1,7 milhões de m³ e o obtido na pesquisa de 2,8 milhões de m³ (KLEEMANN *et al.*, 2017). Desta forma, segundo os autores, os números de geração de RCD baseados exclusivamente em dados estatísticos provavelmente subestimam a geração total de resíduos, o que pode ter consequências significativas para a estimativa do espaço do aterro e da capacidade necessária da planta de reciclagem. Portanto, a abordagem apresentada não é apenas uma ferramenta útil para validar dados existentes sobre estatísticas de demolição e geração de RCD, mas também pode ser utilizada quando esses conjuntos de dados não existem (KLEEMANN *et al.*, 2017).

Estudo realizado em Israel por Seror e Portnov (2018) utilizou Sistema de Informação Geográfica e modelagem geo-estatística para identificar as áreas sob risco de deposição irregular de RCD. Foram relacionados fatores de localização e a quantidade de resíduos nos locais de disposições ilegais de RCD, incluindo a distância até a estrada principal mais próxima, profundidade da ravina presente no local e proximidade da floresta (SEROR e PORTNOV, 2018). Os autores consideraram estes fatores como determinantes para a deposição irregular, uma vez que os RCDs frequentemente são volumosos, pesados e precisam de locais acessíveis para despejo; sendo, muitas vezes, despejados pelos infratores em ravinas que podem conter uma grande quantidade de resíduos de forma não visível, a fim de reduzir despesas, minimizar o transporte e o risco de detecção. A partir desta modelagem, foi gerado o mapa, apresentado na Figura 18, contendo os locais com

maior risco de deposição irregular de RCD para monitoramento futuro (SEROR e PORTNOV, 2018).

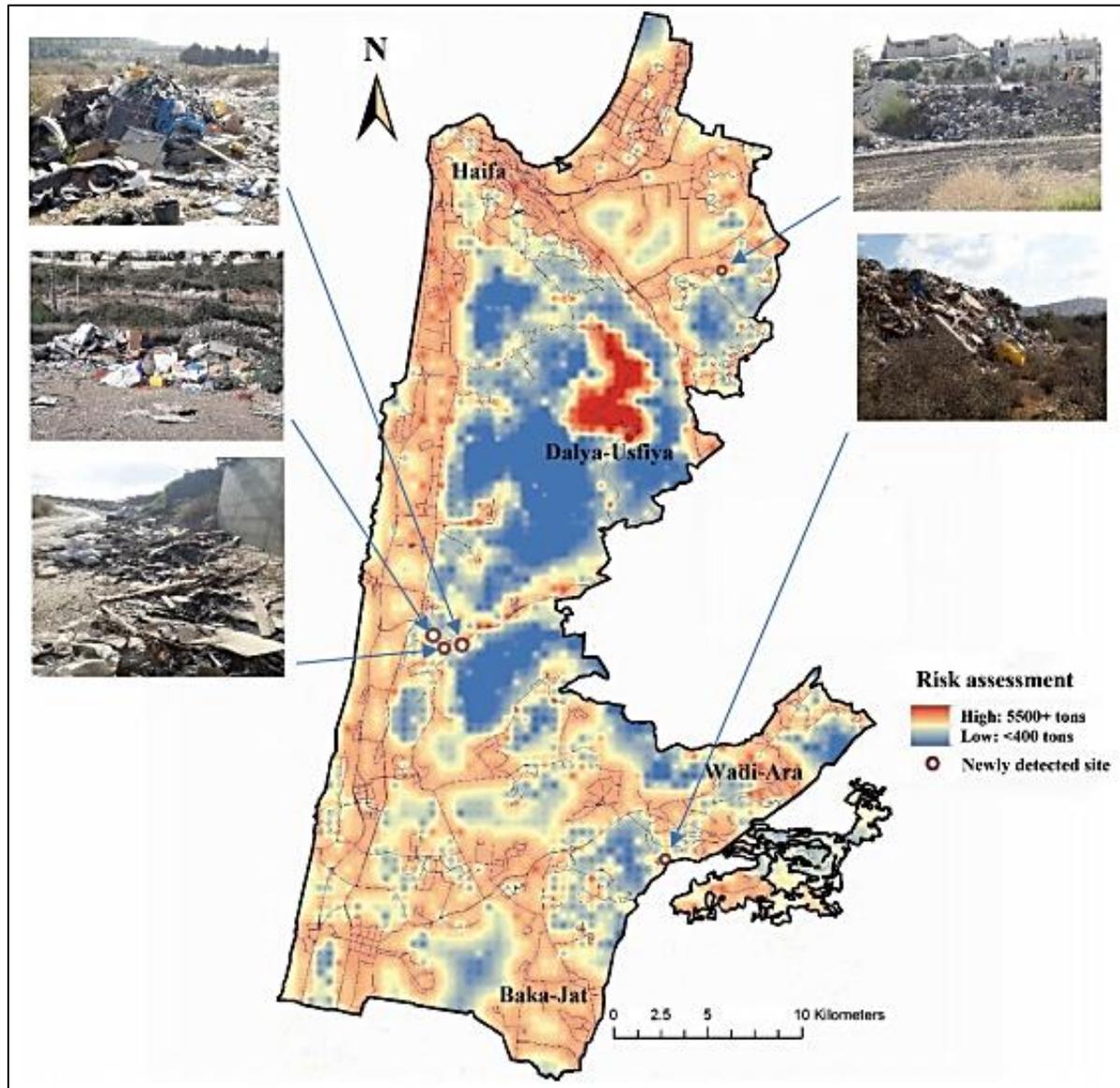


Figura 18: Locais com risco de deposição irregular.
Fonte: Seror e Portnov (2018).

Segundo Seror e Portnov (2018), a abordagem proposta pode ser útil para as autoridades ambientais responsáveis pela aplicação da lei, ajudando-as a se concentrar em locais específicos para inspeção, economizar recursos e agir de forma mais eficiente contra os infratores.

Paz *et al.* (2018) utilizaram o Quantum GIS para planejar uma rede de gestão de RCD no município de Recife / PE. O método aplicado pelos autores consistiu em três etapas: A primeira foi o mapeamento dos pontos de disposição irregular de resíduos, a segunda uma metodologia baseada em densidade de Kernel para indicação de áreas adequadas para instalação de Pontos de Entrega Voluntária para pequenos geradores de resíduos; e por fim, um método para indicação de áreas apropriadas para implantação de Áreas de Transbordo e Triagem de resíduos, desenvolvido para grandes geradores.

A primeira etapa foi executada entre os meses de agosto e outubro de 2016, na qual foi realizado levantamento dos locais de deposição irregular de RCD em Recife / PE, sendo mapeados 565 pontos, número suficiente para analisar o fluxo de disposição de resíduos na cidade, com a verificação dos bairros mais críticos e os tipos de resíduos mais descartados (PAZ *et al.*, 2018).

Os autores utilizaram as informações deste mapeamento para realizar o segundo passo da pesquisa: proposição de locais para a implantação de Pontos de Entrega Voluntária. Para determinar o número necessário de PEVs, eles utilizaram a fórmula que divide a área urbana por π (π) multiplicado pelo raio de cobertura (que varia entre 1,5 km e 2,5 km a depender da topografia, sendo considerado 1,5 km nesta pesquisa).

Segundo Paz *et al.* (2018), após a definição da quantidade mínima, ferramentas de geoprocessamento foram utilizadas para escolher as áreas mais adequadas para a implantação dos PEVs, empregando a metodologia adaptada de Ornelas (2011). Para a determinação dos pontos de implantação dos PEVs propostos, foi utilizada densidade de Kernel, utilizando *buffer* (área de influência circular) de 200m de raio nos pontos de deposição irregular, para dividir as áreas em cinco classes: nula, baixa, média, alta e muito alta (PAZ *et al.*, 2018). Mohaymany *et al.* (2013) citam que a densidade de Kernel é uma abordagem não paramétrica para eventos distribuídos em um espaço unidimensional que facilita a estimativa da densidade em qualquer local da região de estudo e não apenas no local onde o evento ocorre. Bonnier *et al.*

(2019) complementam afirmando que a partir da densidade de Kernel é possível produzir uma distribuição de mapa de calor entre áreas centrais (classe muito alta) e áreas vizinhas, sendo esta ferramenta utilizada em um SIG por uma entrada de raio através da qual os vários níveis de densidade são calculados.

De acordo com Paz *et al.* (2018), os locais de instalação dos PEVs devem ser dentro do perímetro urbano do município e o mais próximo possível dos locais de disposição irregular de RCD, conforme representado na Figura 19.

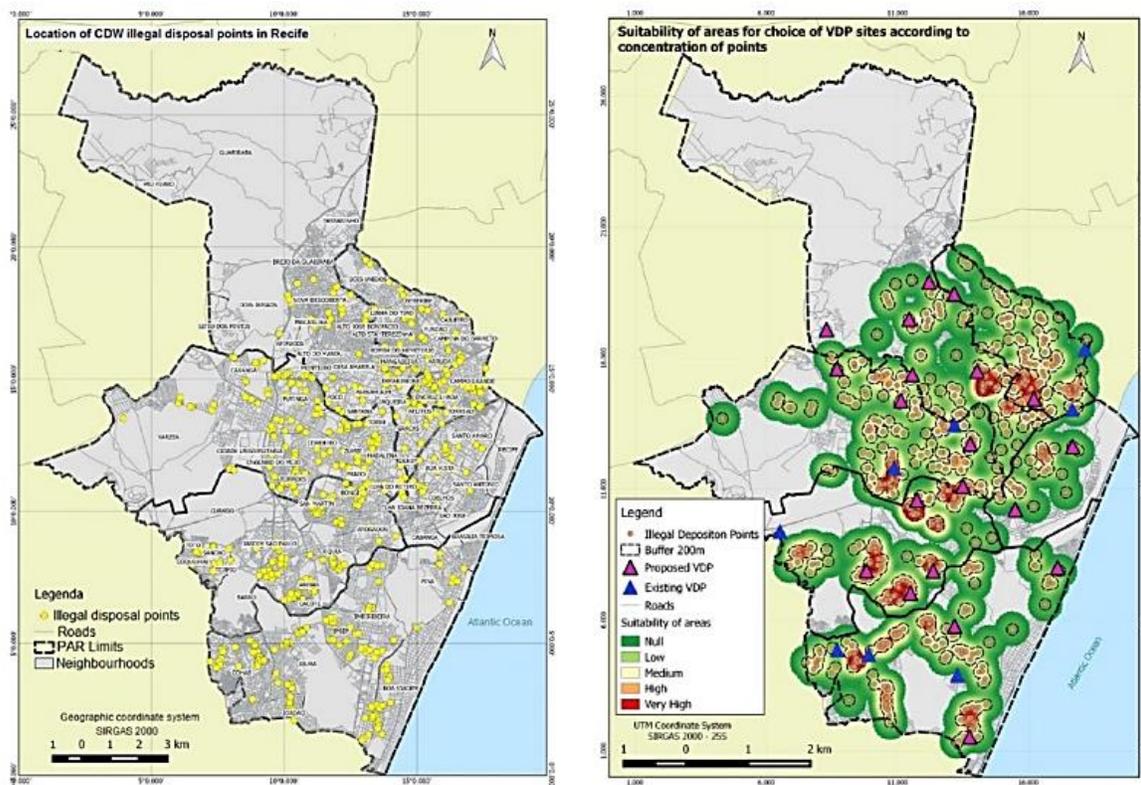


Figura 19: (a) Pontos de deposição irregular, (b) Aplicação da densidade de Kernel para proposição da implantação de PEVs. Fonte: Adaptado de Paz *et al.* (2018).

Com o objetivo de atender também aos grandes geradores, os autores propuseram a determinação de pontos para a implantação de Áreas de Transbordo e Triagem. Ainda, segundo os autores, para definir a quantidade e os locais de instalação das ATTs, foram mapeados 94 canteiros de obras em andamento em Recife, localizados principalmente nas áreas norte e sul da cidade. Desta forma, as duas Áreas de Transbordo e Triagem foram propostas nestas regiões utilizando um *buffer* de 3 km,

suficientes para contemplar 84% dos canteiros de obras localizados na área de coleta (PAZ *et al.*, 2018).

Com base na análise da rede de gestão proposta, concluiu-se que há necessidade de ampliar e remanejar os PEVs para que ocorra redução na deposição irregular e consequentemente aumento da reciclagem (PAZ *et al.*, 2018). Na Figura 20 é possível verificar os resultados obtidos na pesquisa por meio da ferramenta SIG.

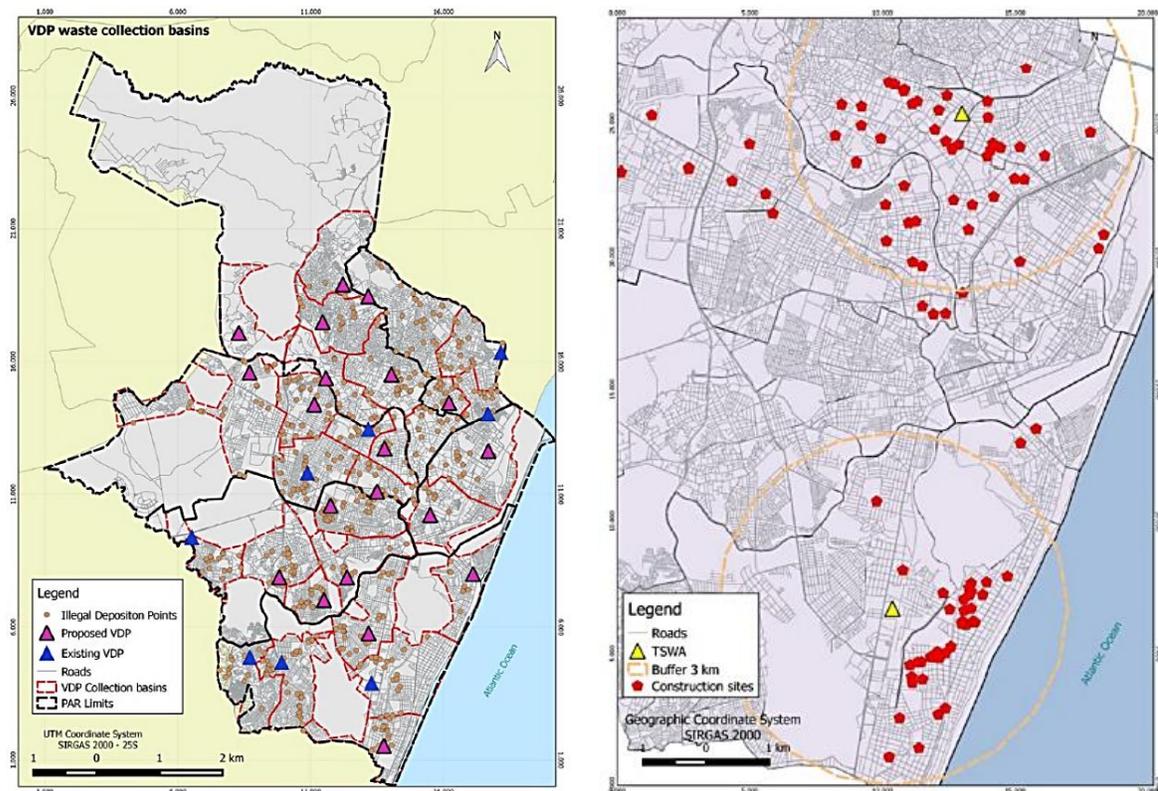


Figura 20:(a) PEVs propostos, (b) ATTs propostas.

Fonte: Adaptado de Paz *et al.* (2018).

Alzaghri *et al.* (2019) realizaram estudo utilizando a ferramenta SIG para identificar e avaliar a viabilidade da recuperação de pedreiras para implantação de infraestruturas a serem utilizadas na gestão de RCD. O estudo desenvolvido pelos autores fornece apoio à decisão baseada em otimização para selecionar um conjunto de pedreiras abandonadas para servir como aterros sanitários e instalações de processamento. Um estudo de caso foi realizado no Líbano para validar o modelo desenvolvido, utilizando SIG para avaliar a adequação ambiental das pedreiras

candidatas com base em cinco grupos temáticos: socioeconômico, topografia, geologia, hidrologia e infraestrutura (ALZAGHRINI *et al.*, 2019).

Segundo os autores, foram selecionadas as pedreiras mais adequadas dentre as 148 mapeadas para serem incluídas no modelo de otimização. Entre as pedreiras escolhidas, os autores consideraram 2 como mais adequadas para a recuperação e implantação de infraestrutura de gestão de RCD, e calcularam um lucro de 125 milhões de dólares em um período de 20 anos após a implantação das mesmas. A utilização de um Sistema de Informação Geográfica foi essencial para a eficiência no levantamento de dados e análise do resultado (ALZAGHRINI *et al.*, 2019).

Conforme pode ser verificado, a utilização de SIG está presente em diversas aplicações, sendo possível identificar temas em comum, como os relacionados ao governo e serviços públicos, planejamento de comércios/serviços, logísticas de transporte e meio ambiente (LONGLY *et al.*, 2013). Ainda de acordo com os autores, as principais aplicações voltadas para o meio ambiente estão relacionadas com expansão urbana descontrolada, desmatamento, diminuição dos impactos ambientais e também uso e ocupação do solo.

Portanto, o SIG oferece várias vantagens na coleta de dados, armazenamento, integração, processamento, análise e apresentação em forma espacial (GALLARDO *et al.*, 2014). Isso permite que os usuários desenvolvam análises abrangentes, apresentem tendências de desenvolvimento e resultados do problema, dependendo de diferentes fontes de informação (MALCZEWSKI, 2004).

Desta forma, é factível e eficiente desenvolver uma metodologia que utilize a ferramenta de SIG para modelagem de uma rede de gestão de RCD contendo a proposição de infraestruturas que contemplem os pequenos (PEVs) e grandes (ATTs) geradores de resíduos de construção e demolição, levando em consideração os resultados satisfatórios relatados nos estudos citados na revisão bibliográfica do emprego desta ferramenta.

Sob a perspectiva dos municípios de médio porte, a gestão dos resíduos de construção e demolição deve considerar a disponibilidade de áreas para implantação das infraestruturas que compõem a rede de gestão (inclusive no longo prazo), a quantidade de RCD gerado para avaliação da escala dos processos de gestão (principalmente a reciclagem) e o panorama de expansão dos municípios.

Sendo assim, o que difere esta pesquisa das demais apresentadas nas referências bibliográficas é a proposição de uma rede de gestão de RCD para municípios de médio porte populacional, que possuem alta incidência em relação ao número de cidades no Brasil e também alta taxa de crescimento populacional. Além disto, esta tese considerou a expansão do município, o qual foi aplicado o modelo desenvolvido, para proposição de alterações da rede de gestão de RCD desenvolvida para o cenário atual.

2.4 Planejamento da expansão urbana e a gestão de resíduos

O processo de expansão urbana, que envolve o aumento do tamanho da população, a extensão espacial da cobertura do solo e a intensificação da atividade econômica, desempenha um papel substancial nas mudanças ambientais antropogênicas (MA *et al.*, 2012). Trata-se de um processo constante, de maior ou menor intensidade, pelo qual as cidades passam desde o momento de sua existência (GROSTEIN, 2001; COPQUE *et al.*, 2011; SANTORO, 2012; GONZÁLEZ, 2020).

A urbanização é um importante fator para a modernização e crescimento econômico, além de ser considerada a tendência inevitável para o desenvolvimento social humano (BAI *et al.*, 2014). De acordo com Bhatta (2010) e Abdullahi e Pradhan (2016), diversos aspectos influenciam a expansão urbana, entre eles: geográficos, demográficos, econômicos, sociais, ambientais e culturais.

A expansão urbana e o crescimento populacional promovem maiores demandas por habitação, infraestrutura, saneamento entre outras; causando diversos problemas ambientais e de gestão (LIMA *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2019; MEIRELLES *et al.*, 2021), como por exemplo a deterioração do ambiente natural (YUAN *et al.*, 2018;

HUANG *et al.*, 2021; LIU e LI, 2021) e o aumento da geração de resíduos sólidos (SHAMSHIRY *et al.*, 2011, MARRERO *et al.*, 2017; CHEN, 2018), principalmente em regiões em desenvolvimento.

Devido ao crescimento populacional, a urbanização vem ocorrendo em todo o mundo (ALSHARIF e PRADHAN, 2014; PRAMANIK e STATHAKIS, 2016), sendo esperado que todas as regiões se tornem mais urbanizadas nos próximos 10 anos, principalmente as menos desenvolvidas do leste asiático, sul da Ásia e África, com três países (Índia, China e Nigéria) representando 35% do aumento total da população urbana global de 2018 a 2050, conforme exposto pela Habitat em seu relatório “*World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization*” (ZHONGMING *et al.*, 2020).

Este processo de urbanização ocorreu mais rápido no Brasil do que em algumas outras partes do mundo (BRITO e SOUZA, 2005; NETO, 2014), evoluindo de 31,2% de área urbanas em 1940 para 84,4% no ano de 2010, de acordo com o estudo realizado por Stamm *et al.* (2012). No relatório do Banco Mundial (*World Bank Group - WBG*), intitulado “*Demographic trends and urbanization*”, consta informação que a América Latina está entre as regiões mais urbanizadas do mundo, tendo atingido maior população urbana do que rural em 1960 - um marco alcançado globalmente apenas em 2008 (WBG, 2020). Ainda, de acordo com o Banco Mundial (WBG, 2020), o Brasil e os países do Cone Sul (Argentina, Chile e Uruguai), apresentam atualmente taxas de crescimento populacional mais baixas e mais estáveis do que os países do Caribe e da América Central por já se apresentarem bastante urbanizados. Desta forma, a expansão urbana está migrando e ocorrendo com maior intensidade nas cidades pequenas e intermediárias (menos urbanizadas) nestes países (WBG, 2020).

O crescimento da população urbana (urbanização) ocorre em função da busca por melhores condições de vida (emprego, educação, saneamento e etc.), sendo necessário controlar este processo para um desenvolvimento sustentável, por meio das informações sobre os padrões da expansão urbana (BEZERRA, 2013; WU *et al.*,

2013). De acordo com Meentemeyer *et al.* (2013) e Fang *et al.* (2019), embora a urbanização promova efeitos econômicos positivos, sobretudo relacionados ao aumento do PIB; ela também traz efeitos negativos para a população e meio ambiente, sendo o planejamento da expansão urbana a chave para sustentar o desenvolvimento regional.

Han *et al.* (2009) citam que, no contexto da rápida urbanização, a avaliação precisa do crescimento urbano tornou-se cada vez mais necessária para compreender os impactos ambientais e apoiar o planejamento urbano visando o desenvolvimento sustentável. O planejamento urbano consiste na junção de instrumentos que possibilitam a avaliação das alternativas para a construção de ações que possuem o objetivo de aprimorar a qualidade de vida (atual e futura) dos residentes (FONTOURA, 2013; COLANTONI *et al.*, 2016).

De acordo com Mondal *et al.* (2016), para a realização de um planejamento da expansão urbana futuro é necessário conhecer os padrões de uso do solo passados, a forma atual do padrão de uso do solo, a natureza da transformação do padrão de uso do solo e o impacto de fatores locais no padrão de crescimento urbano. Nos últimos anos, estudos tentam simular a expansão urbana em termos de informações sociodemográficas, uso do solo, dados de infraestrutura e ambiente natural, e política espacial (por meio da análise dos planos diretores locais) (GUO *et al.*, 2021; LIANG *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2022). Os planos diretores são um instrumento utilizado para estruturar o planejamento do uso do solo, orientando para a expansão urbana e sustentável das cidades (LO e YANG, 2002; ALRAWASHDEH e SALEH, 2006; GUMEL *et al.*, 2020).

Diversos modelos tem sido aplicados para analisar e prever a expansão urbana utilizando, principalmente, ferramentas de Sistema de Informação Geográfica integradas com sensoriamento remoto (NUGROHO e ALSANJARY, 2018; LIANG *et al.*, 2021). Modelagens de expansão urbana foram desenvolvidas utilizando redes neurais artificiais (DAI *et al.*, 2005; PIJANOWSKI *et al.*, 2005; MAITHANI, 2009; LIN *et al.*, 2011), análise de regressões (SETO e KAUFMANN, 2003; ALSHARIF e

PRADHAN, 2014; MONDAL *et al.*, 2015) e ARIMA (MALARVIZHI *et al.*, 2021). Além dos modelos citados, Liang *et al.* (2018) realizaram estudo para simular a expansão urbana na província de Guangdong utilizando autômatos celulares e incorporando informações sobre as políticas de planejamento (presentes no plano diretor da região). Outros autores também utilizaram planos diretores em pesquisas relacionadas ao planejamento da expansão urbana (DUTTA, 2012; GONG *et al.*, 2014; SOFESKA, 2016; BAGAEEN *et al.*, 2019; LEI *et al.*, 2021). As informações contidas no plano diretor são importantes e influenciam a expansão urbana, uma vez que ela é impactada pelas políticas de planejamento urbano (SCHWEIGERT, 2006; LIMA, 2012; LIANG *et al.*, 2018; MESQUITA e REZENDE, 2019; MENZORI *et al.*, 2021).

Neste contexto, para regulamentar o planejamento urbano e o desenvolvimento sustentável dos municípios, no Brasil foi publicado o Estatuto da Cidade, por meio da Lei nº 10257 (BRASIL, 2001), que em seu artigo 1º, regulamenta a execução da política urbana, descrita nos artigos 182 e 183 da Constituição Federal (BRASIL, 1988). Nesta lei, no parágrafo único do art. 1º, há o estabelecimento de normas de ordem pública e interesse social para regulamentação da propriedade urbana em benefício do bem coletivo, do bem-estar e da segurança dos cidadãos, e ainda do equilíbrio ambiental.

Como diretrizes gerais presentes no Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001) para assegurar a qualidade ambiental urbana, constam:

I – Garantia do direito a ciudades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações;

II – Gestão democrática por meio da participação da população e de associações representativas dos vários segmentos da comunidade na formulação, execução e acompanhamento de planos, programas e projetos de desenvolvimento urbano;

III – Cooperação entre os governos, a iniciativa privada e os demais setores da sociedade no processo de urbanização, em atendimento ao interesse social;

IV – Planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente;

V – Oferta de equipamentos urbanos e comunitários, transporte e serviços públicos adequados aos interesses e necessidades da população e às características locais;

VI – Ordenação e controle do uso do solo. (BRASIL, 2001). Grifo do autor.

O plano diretor é um documento obrigatório nos municípios brasileiros com mais de 20.000 (vinte mil) habitantes, conforme Lei nº 10257 (BRASIL, 2001). Ainda de acordo com o Estatuto da Cidade, o plano diretor deve ser aprovado por lei municipal e revisto, pelo menos, a cada 10 (dez) anos, sendo o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, devendo as indicações orçamentárias e o orçamento anual dos municípios incorporarem as prioridades e as diretrizes nele contidas.

De acordo com Tonetti (2011) e Menzori *et al.* (2021) estabelecer os limites de crescimento e densidade dos municípios é complexo, sendo necessário identificar as formas de crescimento urbano (ZAMBON *et al.*, 2019). As formas de expansão urbana caracterizaram-se por uma interação contínua entre o crescimento vertical (promovendo a concentração da população e da atividade econômica em locais centrais, e o conseqüente aumento da densidade populacional) e a expansão horizontal, com adição de novos assentamentos - muitas vezes com um perfil vertical modesto - para localidades urbanas mais periféricas (CUBERES, 2011; MOHAJERI *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2018; ZAMBON *et al.*, 2019).

Na Figura 21 é possível verificar um esquema dos crescimentos vertical e horizontal das cidades.

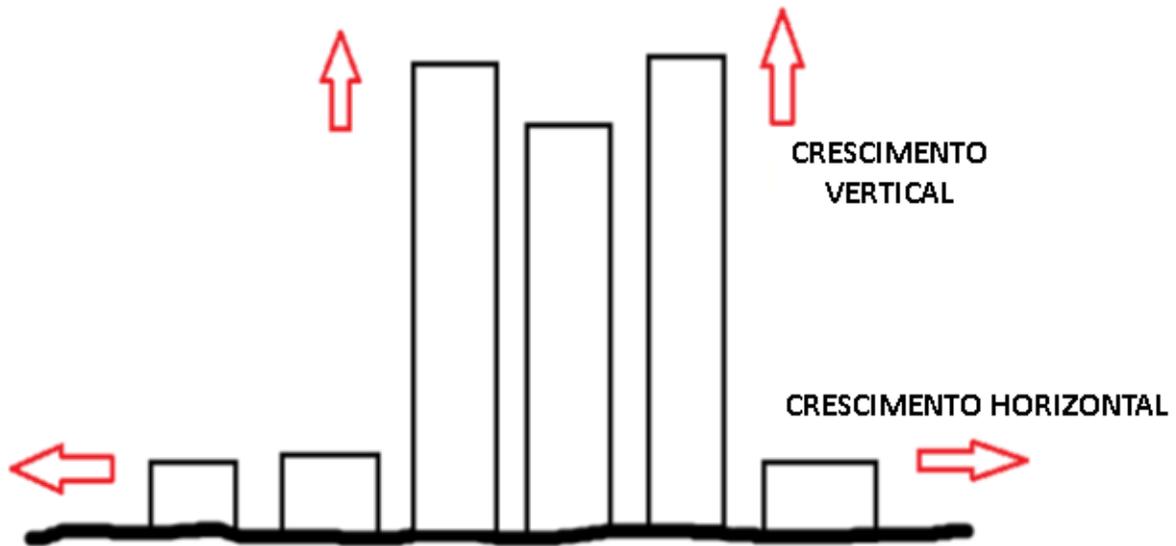


Figura 21: Esquema de crescimento vertical e horizontal.
Fonte: Adaptado de Japiassú e Lins (2014).

No crescimento urbano horizontal há cada vez mais utilização de espaços (baixa densidade populacional), tendo como resultado áreas cada vez mais dilatadas (ALVES *et al.*, 2008; YAN *et al.*, 2018). É possível dividir o crescimento horizontal em contínuo e extensivo, sendo o primeiro quando ocorre a expansão incorporada e conurbada com o tecido urbano das cidades (LIMONAD, 2007). Já o crescimento urbano extensivo é caracterizado pela descontinuidade, resultado da fragmentação social e espacial do tecido urbano (PEIXOTO, 2005).

Em oposição ao crescimento horizontal, há a expansão urbana por verticalização; que, de acordo com Corrêa (2000), trata-se da ampliação dos gabaritos das edificações, proporcionando a utilização de menor área para abrigar maior quantidade de pessoas ou atividades. Galster *et al.* (2001) afirmam que há uma melhoria na eficiência do uso do solo com o aumento da altura dos edifícios (expansão vertical) para controlar a expansão urbana horizontal. Portanto, a principal característica do crescimento vertical é a intensificação da ocupação do solo (alta densidade) (CORRÊA, 2000; GALSTER *et al.*, 2001).

Há controvérsias em relação à priorização de determinada forma de expansão (horizontal ou vertical) das cidades no contexto do planejamento urbano. Enquanto

algumas pesquisas defendem a priorização da verticalização, argumentando que é recomendado, sempre que possível, esgotar as possibilidades de urbanização dentro do quadro urbano, e promover o crescimento vertical ao invés do crescimento horizontal para reduzir o consumo de recursos do solo (HE *et al.*, 2019; CRIADO *et al.*, 2020); outras criticam a expansão vertical, afirmando que este processo altera a paisagem urbana e o estilo de vida nas cidades, promovendo o aumento do adensamento da população e do número de veículos; gerando também conflitos nas áreas de circulação, aumento da concentração de poluentes e sobrecarga das infraestruturas (NUNES, 2011; TOWS e MENDES, 2011; MONTEIRO e OLIVEIRA, 2013).

Independente da forma de expansão urbana, ressalta-se que a urbanização apresenta uma relação direta com o crescimento econômico (medido por meio do PIB) e a população residente (BIRCH e WACHTER, 2011; LIU *et al.*, 2016; BAI *et al.*, 2019; ANSER *et al.*, 2020). Desta forma, o crescimento econômico e populacional gera a expansão de áreas industriais e residenciais, promovendo uma demanda expressiva por construções, estimulando o desenvolvimento de mais obras (LIU *et al.*, 2016; AVTAR *et al.*, 2019). Além disto, conforme exposto em tópicos anteriores, a expansão urbana é um dos principais fatores que contribuem para o aumento da geração de RCD (PIRES *et al.*, 2011; GAO *et al.*, 2018), tendo sido utilizada como variável por diferentes pesquisadores (LEBERSORGER e BEIGL, 2011; WEI *et al.*, 2013; GRAZHDANI, 2015) em estudos de previsão de geração de resíduos.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Procedimentos metodológicos

O desenvolvimento de modelos de previsão do quantitativo de resíduos gerados para proposição de redes de gestão de resíduos de construção e demolição é complexo, sobretudo devido à limitação de dados de séries históricas disponíveis em países em desenvolvimento sobre a quantidade de resíduos gerados anualmente. Além disto, aspectos relacionados à seleção do método de quantificação dos resíduos gerados, aos inúmeros fatores que devem ser considerados na elaboração do modelo de previsão de geração, e também aos critérios utilizados na seleção de áreas aptas à implantação das infraestruturas que compõem a rede de gestão (PEVs e ATTs) dos RCDs ampliam a complexidade de aplicação destes modelos.

Todavia, embora exista esta complexidade, observa-se que os modelos de previsão em gestão de RCD estão sendo aprimorados nos últimos anos, principalmente nos países em desenvolvimento, os quais apresentam a grande maioria das publicações relacionadas ao tema.

Sendo assim, para satisfazer os objetivos desta pesquisa, sua estruturação e desenvolvimento foram fundamentados em aspectos conceituais, históricos, aplicativos tecnológicos e princípios relacionados aos resíduos de construção e demolição e sua gestão; além do desenvolvimento de modelo de previsão de geração para estimar a quantidade de RCD gerada atualmente e em um cenário futuro (ano 2040), com aplicação da ferramenta de Sistema de Informação Geográfica no mapeamento dos pontos de deposição irregular e principais obras, e também na seleção dos locais a serem implantados as infraestruturas que compõem a rede de gestão de RCD.

Desta forma, a metodologia proposta envolve cinco etapas:

- Na primeira etapa foi verificada a consistência dos dados disponíveis referentes à série histórica de geração de RCD do município selecionado para a definição de método quantitativo da geração anual de RCD (variável

- dependente); e posteriormente, definidas as variáveis independentes (fatores que se relacionam com a produção de resíduos) para o desenvolvimento do modelo de previsão de geração de RCD dos municípios;
- Na etapa seguinte, as variáveis independentes selecionadas anteriormente foram coletadas e aplicadas no modelo de previsão com o objetivo de antever a geração do RCD nos municípios de médio porte populacional;
 - O plano diretor do município de Varginha foi utilizado na terceira etapa para verificação do planejamento urbano em relação à expansão urbana (verticalização e crescimento horizontal) e indicação das prováveis áreas de crescimento urbano da cidade em um cenário futuro;
 - Na quarta etapa foi utilizado o SIG para proposição da rede de gestão de RCD, contemplando a indicação de locais adequados para instalação de PEVs e ATTs com base no cenário atual do município e no seu crescimento por meio de aplicação do modelo de previsão de geração e do plano de expansão da cidade;
 - Na última etapa foram analisadas as redes de gestão de RCD propostas (para o cenário atual e futuro), verificando suas possíveis alterações em função do aumento da geração de RCD e expansão do município.

Na Figura 22 é apresentado o detalhamento das etapas da pesquisa.

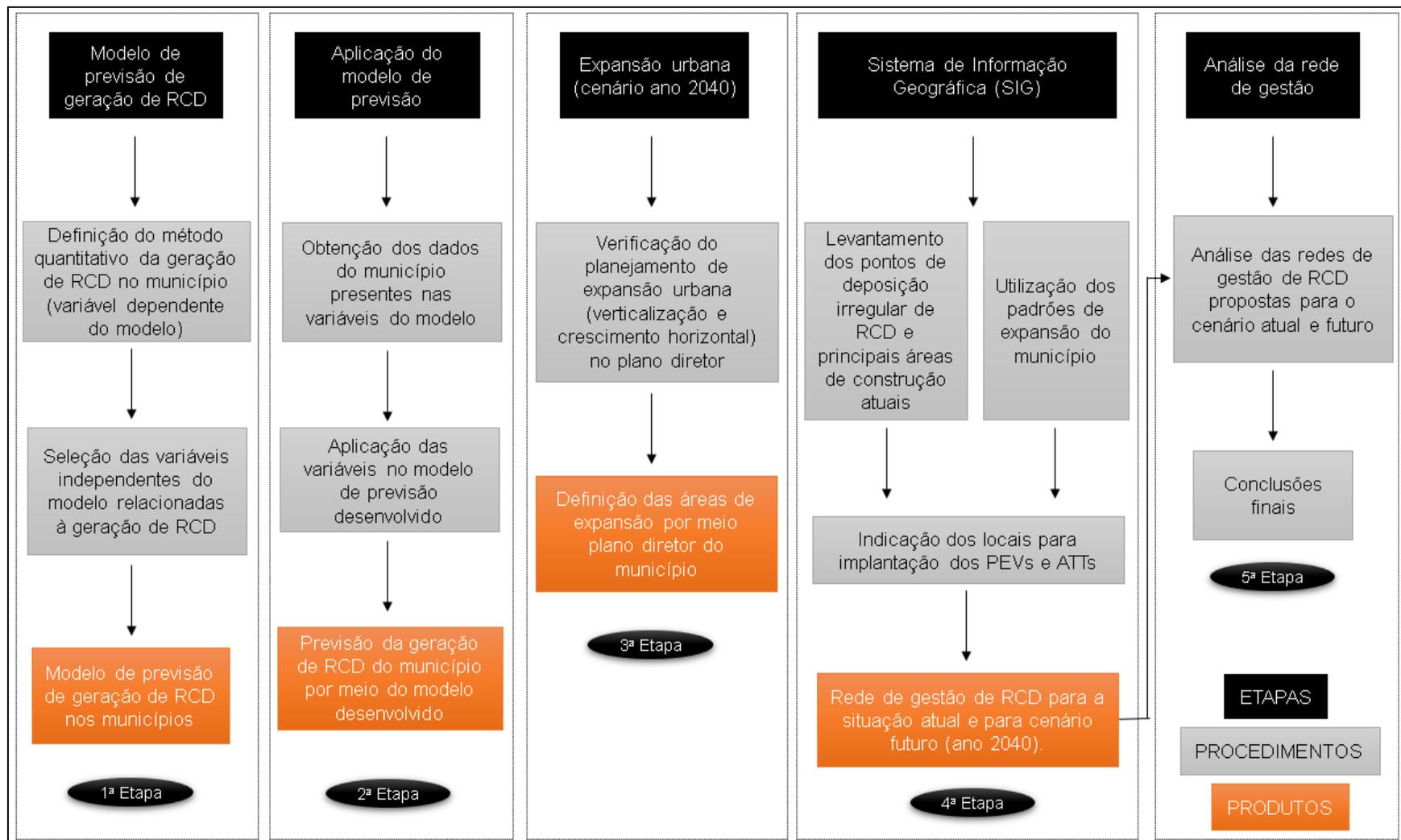


Figura 22: Representação gráfica da metodologia adotada no estudo.

Procedimentos preliminares

Os procedimentos preliminares abrangeram a pesquisa bibliográfica contemplando os principais temas da pesquisa, a definição da área de estudo, e também a elaboração das perguntas, hipóteses e objetivos da pesquisa.

A aplicação do modelo de previsão de geração desenvolvido em um município de médio porte populacional permite a verificação da eficiência e empregabilidade do mesmo em outras cidades de mesmo porte. Desta forma, foi selecionado o município de Varginha, localizado na região sul do Estado de Minas Gerais.

A escolha da área de estudo é justificada por se tratar de uma cidade de médio porte populacional, que possui grande taxa de crescimento populacional (IBGE, 2000), e conseqüentemente alta demanda por habitação, promovendo aumento do número de construções e também do volume de RCD gerado.

Além disso, houve disponibilidade e acesso facilitado aos dados do município, por meio do contato com as secretarias especializadas.

1ª Etapa – Modelo de previsão de geração de RCD

Para desenvolver o modelo de previsão de geração dos resíduos de construção e demolição é necessário dispor de dados históricos relacionados à geração anual dos resíduos oriundos da construção civil (variável independente). Em função da ausência de série histórica anual de geração de RCD do município, algo recorrente nos países em desenvolvimento conforme a literatura indica, foi necessário definir um método de quantificação da geração dos RCDs.

Foram analisados diferentes métodos de quantificação nesta tese para a definição de uma metodologia que fornecesse dados adequados para a desenvolvimento do modelo de previsão de geração.

Entre as tentativas realizadas e descartadas, em função da inconsistência dos dados e/ou ausência de informações suficientes para o desenvolvimento de série histórica, destacam-se:

- Utilização dos relatórios de geração de RCD no SINIR (Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos) e SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento);
- Uso do relatório de geração de RSU no SNIS com aplicação de taxa de proporção de RCD no RSU;
- Emprego de dados do RCD enviado à usina de reciclagem pela Prefeitura de Varginha;
- Uso de dados do RSU enviado ao aterro sanitário da COPASA com aplicação de taxa de proporção de RCD no RSU;
- Utilização de mapas com evolução da área urbana/área de demolição com aplicação de taxa de geração de RCD por metro quadrado (m²);
- Emprego dos alvarás de construção, reforma e demolição com aplicação de taxa de geração de RCD por metro quadrado (m²).

Sendo assim, dentre as metodologias presentes na literatura e factíveis de serem aplicadas nesta pesquisa, conforme disponibilidade e consistência de dados, optou-se por utilizar os métodos de visita local e cálculo da taxa de geração para quantificação da geração de RCD, de forma combinada, conforme recomendação de Zhang *et al.* (2019), ambos em nível regional, uma vez que era necessário estimar o total de RCD gerado no município. Ressalta-se que alguns dos métodos de quantificação de geração de resíduos (abordados no item 2.1.2) não puderam ser empregados nesta pesquisa em função das limitações dos dados, conforme descrito nos tópicos acima.

Desta forma, para a aplicação do método de visita local foi utilizada uma adaptação do modelo desenvolvido por Pinto (1999) que relaciona o quantitativo de RCD gerado ao número de caçambas coletadas mensalmente, considerando seus respectivos volumes. A tese de doutorado de Pinto (1999), intitulada “Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana” possui mais de 500 citações (comprovando a relevância e contribuição da pesquisa), sendo o modelo proposto pelo autor adaptado para o desenvolvimento de outros modelos de quantificação de

geração de resíduos, inclusive em pesquisas mais recentes (KARTAM *et al.*, 2004; POON *et al.*, 2004; PINTO e GONZÁLES, 2005; ANGULO *et al.*, 2011; CAETANO *et al.*, 2018; TEIXEIRA *et al.*, 2019).

Portanto, para o cálculo do quantitativo de RCD gerado, foi consultado o responsável pela usina de reciclagem implantada e em funcionamento no município, que forneceu dados de que foram coletados diariamente nas caçambas em média 150m³ de RCD ao longo do ano de 2020. Desta forma, foi desenvolvida a Equação 8 para obtenção da massa total de RCD gerada em Varginha / MG no referido ano.

$$RCD_{2020} = V \times D \times M \times m \quad (8)$$

Em que:

RCD₂₀₂₀ = quantitativo de RCD gerado no ano de 2020 (t);

V = volume de RCD coletado diariamente (m³);

D = média do número de dias de operação em um mês;

M = número de meses de um ano;

m = massa específica do RCD (t.m⁻³).

O valor do parâmetro “m” foi definido com base no estudo realizado por Angulo *et al.* (2011). Estes autores obtiveram valor de 1,0 t.m⁻³ para massa específica do RCD. Para quantificar a geração de resíduos por habitante, o total de resíduos gerados foi dividido pela população estimada pelo IBGE (2020) para o ano de 2020, conforme Equação 9.

$$RCD_{hab} = \frac{RCD_{2020}}{hab_{2020}} \quad (9)$$

Em que:

RCD_{hab} = quantitativo de RCD gerado por cada habitante no ano de 2020 (t/hab.ano);

RCD₂₀₂₀ = quantitativo de RCD gerado no ano de 2020 (t);

hab₂₀₂₀ = população estimada do município em 2020 (hab).

Após o cálculo da geração de RCD por habitante em 2020, foi possível desenvolver série histórica da geração do RCD do município, a partir do ano 2000, por meio da aplicação do cálculo da taxa de geração, especificamente pelo método de massa per capita. Trata-se de uma metodologia inicialmente aplicada no plano nacional de detritos de construção e demolição da Espanha (ZHANG *et al.*, 2019), em que se calcula o total de RCD gerado pelo produto aritmético das quantidades de RCD gerado por habitante no ano e da população. Cochran e Townsend (2010) e Hu *et al.* (2010) também utilizaram este método, combinado com outras abordagens, para estimar a geração de RCD em seus estudos.

Nesta pesquisa, a quantidade de RCD por habitante foi calculada pela Equação 9 e os dados relativos à população foram obtidos por meio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Desta forma, obteve-se a variável dependente (quantitativo de RCD gerado) para o desenvolvimento de série histórica do RCD gerado no município entre os anos de 2000 e 2020.

Após a obtenção dos dados da variável dependente, partiu-se para definição das variáveis independentes do modelo. Seguindo as recomendações abordadas na pesquisa realizada por Kolekar *et al.* (2016), foram consideradas variáveis econômicas e demográficas que apresentaram dados públicos e consistentes. Optou-se por limitar o número de variáveis em três, pois a consideração de um elevado número de variáveis pode impactar o estudo devido à necessidade de grande número de amostras e longa base de dados (NOORI *et al.*, 2009).

Entre as variáveis econômicas e demográficas analisadas, buscou-se selecionar as que apresentavam uma correlação direta com a geração de resíduos. Entre elas, destacaram-se as 3 (três) apresentadas a seguir:

- A expansão urbana tem relação direta com o aumento na quantidade de resíduos (GAO *et al.*, 2018; PIRES *et al.*, 2011);
- O crescimento do PIB pode ser considerado um dos fatores que mais influencia a geração de resíduos (SOKKA *et al.*, 2007). Zhao *et al.* (2011)

afirmam que um aumento nas áreas de construção, e conseqüentemente da geração de RCD, é provocada pela aceleração do PIB;

- O aumento do PIB per capita promoveu maior geração dos resíduos de construção e demolição (MENEGAKI e DAMIGOS, 2018; ZHANG *et al.*, 2019).

Deste modo, foram consideradas como variáveis independentes do modelo de previsão de geração dos RCDs a expansão urbana, o PIB e o PIB per capita. As variáveis de expansão urbana (GRAZHDANI, 2015; LEBERSORGER e BEIGL, 2011; WEI *et al.*, 2013), PIB (CHUNG, 2010; SHI e XU, 2006) e PIB per capita (HU *et al.*, 2010; MENEGAKI e DAMIGOS, 2018; ZHANG *et al.*, 2019) já foram utilizadas em outros estudos de previsão de geração de resíduos.

2ª Etapa – Aplicação do modelo de previsão

Nesta etapa foram utilizadas as variáveis selecionadas do município de Varginha / MG, o qual apresenta crescimento urbano radial horizontal e verticalização na área central, para a aplicação do modelo de previsão de geração dos resíduos de construção e demolição.

As informações de área urbana foram obtidas no portal Mapa Biomas (<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>). Já o PIB e o PIB per capita foram obtidos no site do IBGE (<https://cidades.ibge.gov.br/>). De posse dos valores das variáveis, buscou-se uma correlação entre os parâmetros do modelo por meio da regressão, feita no *software* Microsoft Excel.

Foram considerados os dados entre 2000 e 2018 em função da disponibilidade de informações sobre o PIB e PIB per capita. Regressões lineares foram utilizadas para prever os valores das variáveis independentes nos anos de 2020 e 2040 e, assim, obter o quantitativo de RCD previsto para os referidos anos por meio da aplicação do modelo.

Com o objetivo de verificar a aplicabilidade do modelo desenvolvido em outros municípios de porte médio, foi realizada consulta na literatura por pesquisas que

quantificaram a geração de RCD em municípios com população entre 100 mil e 500 mil habitantes, cuja as características se assemelhavam a tipicidade do município de Varginha / MG, em variados anos de referência. A quantidade de resíduos de construção e demolição levantada nestas pesquisas foi comparada com a aplicação do modelo para o mesmo ano, utilizando as variáveis independentes. Os dados de área urbana também foram consultados no Mapa Biomas e a população, PIB e o PIB per capita no site do IBGE.

3ª Etapa – Expansão urbana de Varginha / MG

Um dos objetivos do plano diretor é planejar o crescimento do município de acordo com a leitura conjunta e sistêmica das condições resultantes de relações socioeconômicas, culturais e políticas.

Desta forma, nesta etapa o plano diretor de Varginha / MG foi consultado com o objetivo de verificar o planejamento de expansão urbana do município. A partir desta análise foi possível determinar as áreas mais propícias à verticalização e ao crescimento horizontal, e indicar os prováveis locais de crescimento urbano da cidade em um cenário futuro.

Estas informações são de extrema importância e foram utilizadas no desenvolvimento da rede de gestão de RCD para cenário futuro.

4ª Etapa – Proposição da rede de gestão de RCD utilizando SIG

Na quarta etapa foi utilizado o *software* livre QGIS versão 3.10.14 para a determinação de locais adequados das infraestruturas que compõem a rede de gestão de RCD: Pontos de Entrega Voluntária (PEV) para atendimento dos pequenos geradores de RCD e Áreas de Transbordo e Triagem (ATT) destinadas aos grandes produtores de RCD. A integração dos PEVs e ATTs com a usina de reciclagem de RCD e aterro sanitário, já implantados no município, compõem a rede de gestão de RCD para a situação atual e cenário futuro.

O primeiro passo para a definição dos PEVs na rede de gestão do cenário atual foi realizar levantamento dos pontos de deposição irregular de RCD. Este levantamento foi realizado no mês de setembro de 2019 com o suporte da vigilância sanitária do município. Os locais de deposição irregular foram fotografados, referenciados (Apêndice) e mapeados no QGis. Da mesma forma, para auxiliar na definição dos locais adequados para implantação de ATTs, foram mapeadas as principais obras do município no SIG. Após este levantamento, foi gerado um mapa contemplando os pontos de deposição irregular e as principais obras do município.

Em um segundo momento, após a inclusão dos pontos no SIG, foi utilizada a densidade de Kernel, assim como no trabalho realizado por Paz *et al.* (2018), como ferramenta para estabelecer cinco classes de aptidão (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta) para implantação dos PEVs e ATTs, levando-se em consideração que a aptidão para instalação das infraestruturas é diretamente proporcional à densidade dos pontos de deposição irregular (no caso dos PEVs) e das principais obras (para as ATTs). Foram determinadas áreas de contorno circular (*buffer*) com raio de 200 m e 3000 m para cada ponto de deposição irregular e principais obras, respectivamente. Estas grandezas de áreas de contorno também foram adotadas na pesquisa desenvolvida por Paz *et al.* (2018).

Já para a proposição da rede de gestão de RCD em um cenário futuro, após a consulta ao plano diretor, foram mapeados os principais vetores de expansão do município. Da mesma forma que na proposição das infraestruturas da situação atual, foram gerados *buffers*, neste caso, com raio de 2000 m para cada região prevista para expansão urbana por meio de verticalização e de crescimento horizontal.

Posteriormente, após o mapeamento dos pontos no QGis, foi utilizada a densidade de Kernel novamente para propor cinco classes de aptidão (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta) para implantação dos PEVs e ATTs. Os locais com maior possibilidade de verticalização foram considerados mais propícios para a implantação de ATTs (em função de apresentarem a construção de grandes obras e, conseqüentemente, maior geração de RCD). Já os locais no qual o crescimento

horizontal foi atribuído, a aptidão à implantação de PEVs foi considerada mais apropriada para atendimento dos pequenos geradores.

Para determinação do número de PEVs, foi desenvolvida fórmula adaptada a partir da proposta de Paz *et al.* (2018). Todavia, diferentemente dos autores citados, a Equação 10, apresentada abaixo, relaciona o RCD anual gerado ao número de PEVs propostos para o município em 2020 (situação atual) e 2040 (cenário futuro), utilizando o modelo de previsão de geração de RCD desenvolvido na pesquisa.

$$PEVs = \frac{0,0013 \times RCD_{ano} - 22,31}{(2,25 \times \pi)} \quad (10)$$

Também foi proposto cálculo para a determinação do número de ATTs, de acordo com a geração de RCD anual, conforme pode ser visualizado na Equação 11:

$$ATTs = \frac{0,0013 \times RCD_{ano} - 22,31}{(9,00 \times \pi)} \quad (11)$$

Após a definição do quantitativo de infraestruturas (PEVs e ATTs) a partir da aplicação das Equações 10 e 11, o manual para implantação de sistema de gestão de resíduos de construção civil em consórcios públicos, desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2010), foi consultado para comparação do número de PEVs e ATTs propostos em relação ao número de habitantes do município. Os resultados obtidos nas Equações 10 e 11 foram arredondados para obtenção de números inteiros de PEVs e ATTs.

A localização dos PEVs e ATTs foi desenvolvida atendendo ao número de infraestruturas calculadas e priorizando as classes de aptidão muito altas. Foram verificados terrenos que respeitavam as áreas mínimas para implantação dos PEVs e ATTs dentro das classes de aptidão muito altas.

Desta forma, somado ao aterro sanitário e usina de reciclagem, foram propostas redes de gestão de RCD para a situação atual e cenário futuro.

5ª Etapa – Análise das redes de gestão de RCD propostas

Para finalizar, na última etapa foram analisadas as redes de gestão de RCD propostas, verificando as possíveis alterações da rede de gestão desenvolvida para o cenário atual em relação à rede futura, considerando aspectos relacionados à expansão do município e ao aumento do quantitativo de RCD a partir da aplicação do modelo de previsão de geração.

Os principais fatores analisados nas redes de gestão de RCD foram:

- Quantidade de RCD gerado nos anos referência: 2020 (atual) e 2040 (futuro);
- Número de PEVs propostos;
- Número de ATTs propostos;
- Somatório das distâncias (km) dos PEVs à usina de reciclagem;
- Somatório das distâncias (km) das ATTs à usina de reciclagem;
- Somatório das distâncias (km) dos PEVs ao aterro sanitário;
- Somatório das distâncias (km) das ATTs ao aterro sanitário.

Com base nesta análise, foram realizadas as conclusões finais sobre o tema desenvolvido nesta tese.

3.2 Estudo de caso

Para a aplicação da metodologia proposta, foi selecionado o município de Varginha / MG como área de estudo por ser classificado como de médio porte populacional, apresentar crescimento radial (tipicidade apresentada em outras cidades de médio porte), possuir usina de reciclagem de RCD privada em funcionamento e, ainda, por ter gestores públicos, interessados em ampliar a reciclagem de RCD no município.

Conforme indicado no mapa desenvolvido pelo autor no QGis e apresentado na Figura 23, o município de Varginha / MG localiza-se na região sul do Estado de Minas Gerais, possui população estimada de 136.602 habitantes, distribuídos em área de 395,40 km², o que representa densidade demográfica de aproximadamente 344 hab/km² (IBGE, 2020).

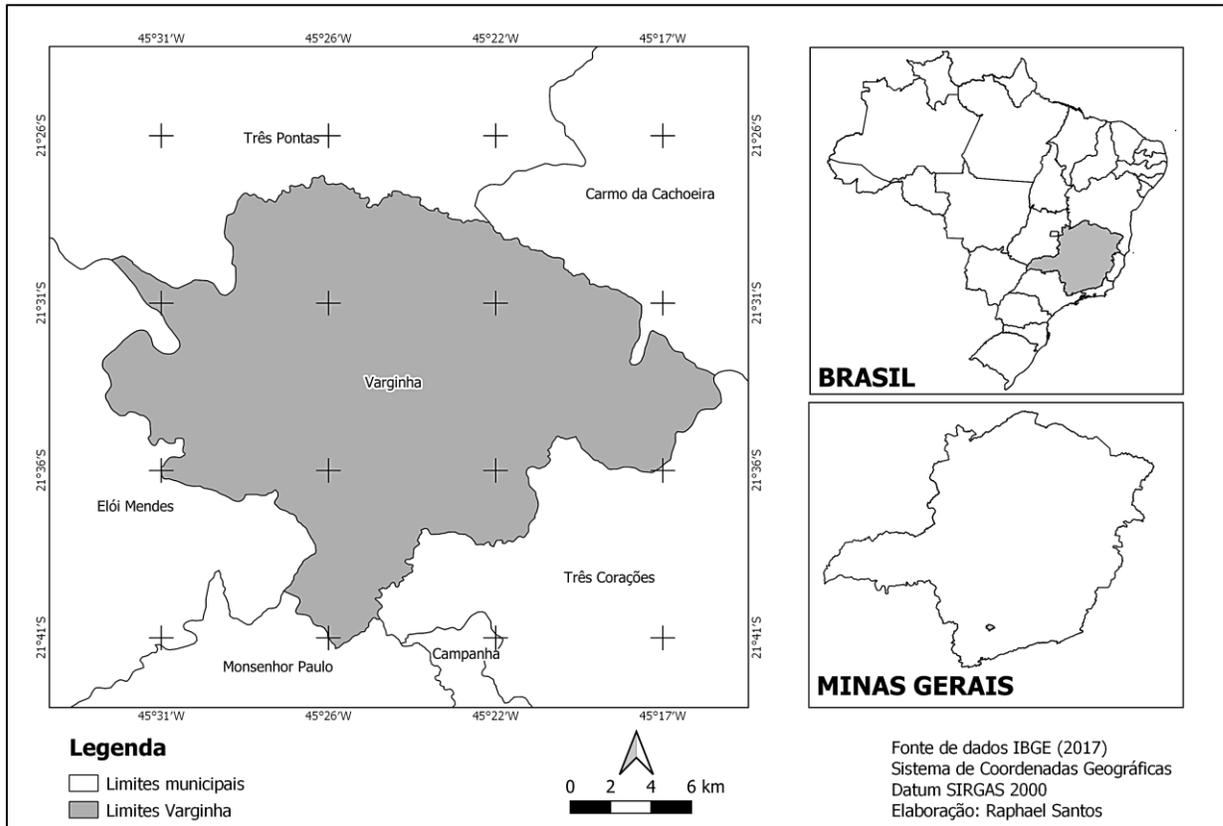


Figura 23: Mapa de localização do município de Varginha / MG.

Em relação ao último censo realizado pelo IBGE (2010), que indicou população de 123 mil pessoas, houve um aumento de 10,57% dos habitantes. Portanto, trata-se de uma cidade de médio porte populacional, que apresenta alta taxa de crescimento (IBGE, 2000). A evolução da população do município, o número de habitantes da área urbana e rural e a taxa de urbanização podem ser vistos na Tabela 7. Nota-se que, entre os anos de 1990 e 2010, houve crescimento da população urbana e redução da população rural, demonstrando a expansão urbana do município.

Tabela 7: Distribuição da população de Varginha.

Ano	População	População urbana	População rural	Urbanização
1970	43.628	-	-	-
1980	64.904	-	-	-
1990	88.022	82.242	5.780	93,43%
2000	108.998	104.165	4.833	95,57%
2010	123.081	119.061	4.020	96,73%

Fonte: IBGE (2017).

Segundo a Prefeitura Municipal de Varginha (2018), o município faz divisa com cidades importantes na produção de café, sendo a principal responsável pela distribuição e armazenamento do produto na região. Em função de ter se tornado sede do Centro Administrativo da Região do Sul de Minas no ano de 2010, Varginha possui diversos órgãos estaduais e federais, o que favorece o atendimento das demandas da população na própria cidade e não mais nas capitais, o que atrai desenvolvimento e investimentos para a região do Sul de Minas (PMV, 2018). Esse é um outro fator que demonstra a alta taxa de crescimento populacional da cidade.

O município de Varginha é dividido por macrozoneamento (4 zonas) e zoneamento (12 zonas), conforme apresentado na Tabela 8. A divisão territorial por zonas pode ser visualizada na Figura 24. Além disto, é possível consultar os mapas de macrozoneamento e zoneamento desenvolvido pela Prefeitura no Anexo A.

Tabela 8: Macrozoneamento e zoneamento do município de Varginha.

Divisão territorial	Zonas
Macrozoneamento	ZR - Zona Rural
	ZUC - Zona Urbana Consolidada
	ZUE - Zona Urbana Especial
	ZUNC - Zona Urbana Não Consolidada
Zoneamento	ZAC - Zona de Adensamento Controlado
	ZAP - Zona de Adensamento Preferencial
	ZAR - Zona de Adensamento Restrito
	ZCA - Zona Consolidada Adensada
	ZE - Zona Econômica
	ZEIS - Zona de Interesse Social
	ZEP - Zona Econômica de Porte
	ZIA - Zona de Interesse Aeroportuário
	ZICT - Zona de Interesse Cultural e Turístico
	ZPAM - Zona de Proteção Ambiental
	ZR - Zona Rural
	ZUE - Zona Urbana Especial

Fonte: Plano diretor de Varginha (2017).

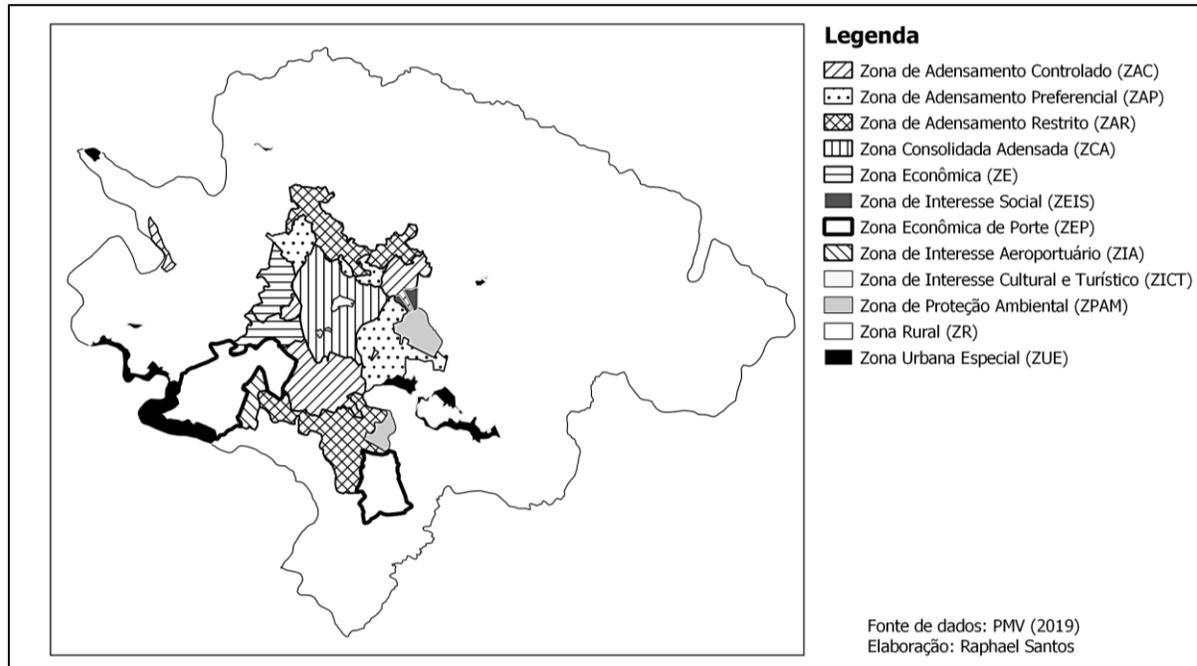


Figura 24: Zoneamento do município de Varginha / MG.

Em relação à gestão dos resíduos sólidos, observa-se dois decretos:

- Decreto nº 6.560 de 29 de agosto de 2013: Dispõe sobre a aprovação do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Varginha (PMV, 2013a);
- Decreto nº 6.613 de 03 de outubro de 2013: Institui o Plano de Gestão de Resíduos Sólidos da Construção Civil do Município de Varginha, estabelece as diretrizes, os critérios e os procedimentos para a gestão dos resíduos sólidos oriundos das atividades da construção civil e dá outras providências (PMV, 2013b).

Cabe às secretarias de Meio Ambiente e a de Obras e Serviços Urbanos (SEMEA e SOSUB, respectivamente) o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos provenientes dos domicílios, de pequenos comércios e de locais públicos gerados no município (PMV, 2018). A gestão dos demais resíduos é de responsabilidade do gerador, cabendo à prefeitura sua fiscalização.

Já em relação aos resíduos de construção e demolição, a Prefeitura Municipal de Varginha normatizou em seu Decreto nº 6.613 (PMV, 2013b) que a destinação final ambientalmente correta será realizada em locais previamente determinados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMEA) ou destinados para empresas recicladoras devidamente cadastradas e licenciadas por órgãos competentes.

No seu plano diretor (PMV, 2018), consta a disponibilização, pela prefeitura, de um local para implantação de usina de reciclagem de RCD em função do crescimento do município. Trata-se da usina instalada no município no ano de 2015 e administrada por empresa privada ECOVIA – Reciclagem de Resíduos da Construção Civil (www.ecoviareciclagem.com.br). Localiza-se no limite da área urbana do município, distante 5,3 km do centro e ocupa uma área de aproximadamente 17.000 m². Na Figura 25 é apresentada a localização da usina de reciclagem em relação ao centro da cidade (parte inferior da imagem), na qual também é possível verificar a projeção da área ocupada pela usina (polígono branco).

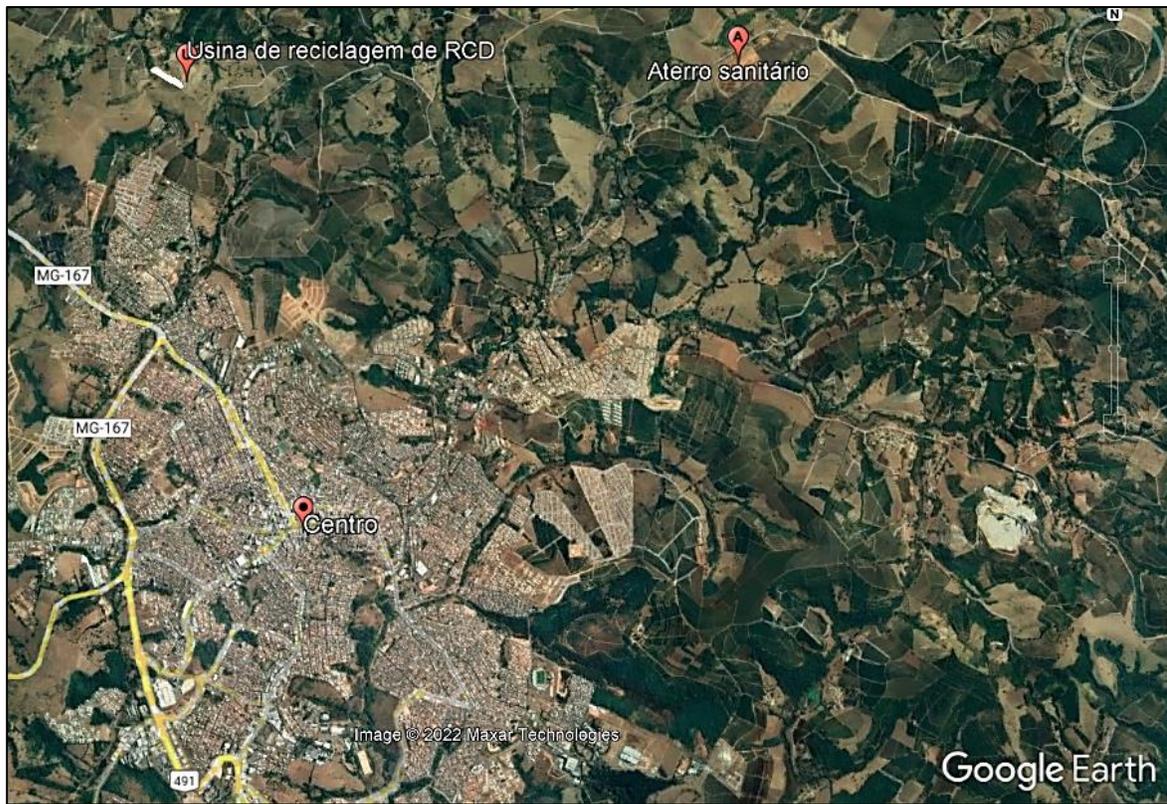


Figura 25: Localização da usina de reciclagem de RCD em Varginha / MG.

A ECOVIA recebe caçambas contendo entulhos da cidade Varginha e municípios próximos, realiza a separação do material que pode ser reciclado, além de separar o material de matriz cimentícia e cerâmica para realizar o processo de reciclagem (Figura 26). A capacidade atual da usina é de cerca de 20 toneladas por hora para produção de produtos como areia reciclada, brita reciclada e pedrisco reciclado. Esses produtos podem ser utilizados após a realização de ensaios e verificação da capacidade técnica, para execução de camadas de sub-base e base na pavimentação e também na fabricação de tijolos com função não-estrutural (ABNT, 2004c).



Figura 26: Área de recebimento dos resíduos na usina de reciclagem.

Em seu Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), a Prefeitura informa que há 5 empresas responsáveis pela coleta de resíduo de construção e demolição na cidade, e também indica que não há levantamento do volume ou massa de RCD coletado por mês (PMV, 2013a). Todavia, a Prefeitura Municipal de Varginha (2013a) cita que foram coletados cerca de 10.920 e 11.000 toneladas de RCD na cidade nos anos de 2010 e 2011, respectivamente. Ressalta-se que não foi possível coletar informações recentes sobre o RCD gerado no município de Varginha por meio do Sistema Nacional de Informações Sobre

Saneamento (SNIS), em função da ausência de dados no Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos a partir do ano de 2013, e também no Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR). O que justifica a necessidade do desenvolvimento e aplicação de um modelo de quantificação da geração dos RCDs.

Todavia, verifica-se a preocupação dos tomadores de decisão do município em relação à destinação adequada e reciclagem do resíduo de construção civil gerado, uma vez que a implantação da usina de reciclagem (prevista como meta para o ano de 2014) foi realizada (PMV, 2013a). Destacam-se também as ações para a inoperância dos aterros de resíduos da construção civil constante do plano de contingencia do PMGIRS da Prefeitura Municipal (2013a).

Nesse contexto, para a gestão adequada do RCD, buscando a redução da destinação irregular (ambientalmente incorreta) dos resíduos, e um maior reaproveitamento por meio de reciclagem; é necessária uma rede de gestão de RCD eficiente no município de Varginha / MG, contendo as infraestruturas de pontos de entrega voluntária (PEV) e área de transbordo e triagem (ATT). Tendo em vista que a cidade não possui PEVs e ATTs implantados, esta pesquisa possui como principal objetivo a determinação destas infraestruturas para a proposição de redes de gestão para a situação atual e cenário de projeção de expansão do município a partir do desenvolvimento de modelo de previsão de geração dos resíduos de construção e demolição.

4. RESULTADOS

4.1 Modelo de previsão de geração de RCD

A partir da aplicação da Equação 8 foi possível estimar em 39.600 toneladas o quantitativo de RCD gerado no município de Varginha / MG no ano de 2020. O valor do parâmetro m foi definido com base no estudo realizado por Angulo *et al.* (2011). Estes autores obtiveram valor de $1,0 \text{ t.m}^{-3}$ para massa específica do RCD. Além disto, foram considerados 22 dias como a média de dias de operação da usina para cada um dos 12 meses do ano.

A partir do total de resíduos gerados (39.600 t) e da população estimada (136.602 hab) para o ano de 2020, foi possível calcular a geração per capita de RCD. Por meio da aplicação da Equação 9, calculou-se a geração de 0,29 t/hab.ano de RCD, valor de geração de resíduos por habitante dentro da faixa, entre 0,23 e 0,76 t/hab.ano, apresentada no estudo desenvolvido por Pinto (1999) e próximo ao valor de 0,28 t/hab.ano para taxa de RCD coletado para a região sudeste na pesquisa publicada da ALBREPE (2020) para o referido ano. A comparação dos resultados obtidos nesta pesquisa com os citados acima é importante, uma vez que não há informações consistentes sobre o RCD gerado no município por parte da Prefeitura e em outros sistemas como SNIS e SINIR.

Embora a população do município tenha relação direta com o quantitativo de RCD gerado, optou-se por não a utilizar como variável independente neste modelo, uma vez que os dados sobre a população foram empregados no desenvolvimento da série histórica da geração de RCD (informação que o município não possui). Deste modo, ao invés de utilizar uma variável com uma correlação perfeita positiva ($R = 1$), que seria o caso da variável população; optou-se por substituí-la pela variável PIB per capita. Sendo assim, pode-se utilizar, ainda que indiretamente, a variável população no modelo de previsão de geração de RCD. Modelagem similar foi desenvolvida nos estudos de Menegaki e Damigos (2018), que utilizaram duas variáveis com correlação forte em sua pesquisa: o PIB da construção civil e o PIB per capita.

Na Tabela 9 é possível visualizar os dados obtidos relacionados à área urbana, PIB e PIB per capita do município de Varginha / MG utilizados no modelo de geração dos resíduos de construção e demolição.

Tabela 9: Dados das variáveis utilizadas no modelo de geração de RCD.

Ano	Área urbana (km ²)	PIB (R\$ x 1000)	PIB per capita (R\$ / hab)	RCD (t)
2000	18,86	1026550	9418,06	31609
2001	19,73	1039480	9348,83	32329
2002	20,19	1052409	9279,60	32889
2003	20,37	1190417	10310,21	33483
2004	20,58	1413418	11802,09	34730
2005	20,72	1743855	14277,51	35421
2006	21,40	1900975	15268,63	36106
2007	21,77	2460065	19394,87	36784
2008	21,76	2479261	20542,22	35000
2009	22,52	2694418	22123,84	35319
2010	22,95	3234145	26276,56	35693
2011	23,51	3547542	28571,88	36007
2012	24,22	3685867	29437,95	36310
2013	25,25	4064743	31233,86	37740
2014	25,91	4559730	34735,77	38068
2015	26,63	4609287	34825,71	38382
2016	27,11	4493128	33685,66	38681
2017	27,12	5444355	40519,45	38966
2018	28,77	5512853	40994,76	38998

A relação entre a geração dos resíduos de construção e demolição e as variáveis independentes, com a aplicação de um modelo linear, pode ser vista na Tabela 10.

Tabela 10: Relação entre a geração de RCD e as variáveis independentes.

Variável independente (x)	Modelo linear $y = \text{RCD} (t) = ax + b$	Coefficiente de determinação (R ²)	Coefficiente de correlação de Pearson (R)
Expansão urbana (km ²)	$y = 710,59x + 19490$	0,861	0,928
Produto Interno Bruto (R\$ x 1000)	$y = 0,0014x + 31920$	0,853	0,923
PIB per capita (R\$ / hab)	$y = 0,1867x + 31578$	0,834	0,913

Nas figuras a seguir, também é possível verificar a relação das variáveis independentes com a geração de RCD, pela aplicação do modelo linear utilizando dados entre 2000 e 2018 (conforme descrito na metodologia).

A relação com a expansão urbana é apresentada na Figura 27, o PIB na Figura 28 e por fim, o PIB per capita na Figura 29.

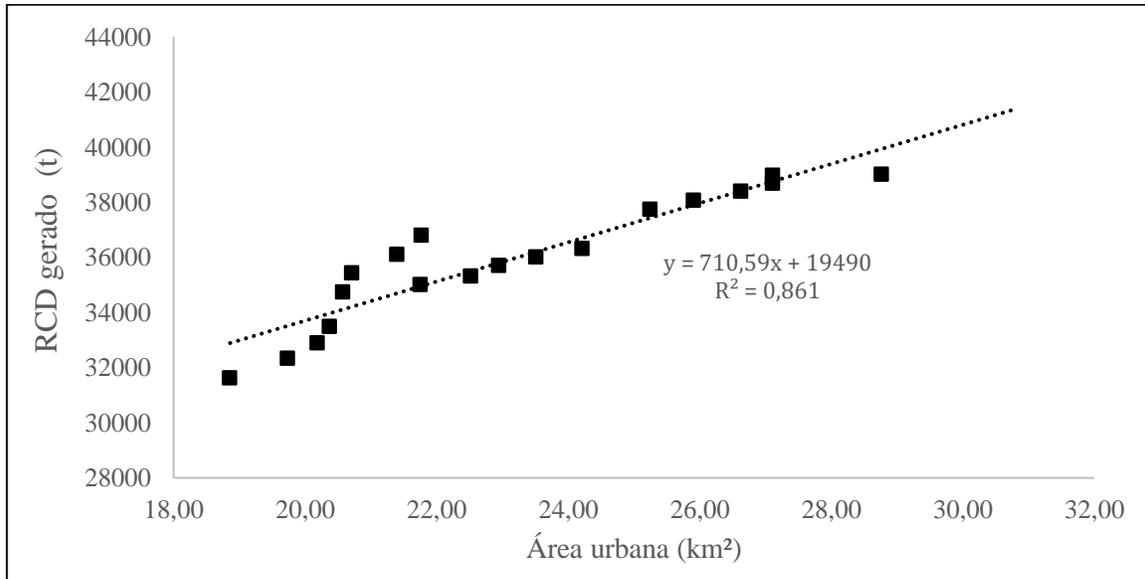


Figura 27: Relação da geração de RCD e expansão urbana.

O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,861, indicando 86,1% de variância da geração de RCD a partir da expansão urbana em um modelo linear. O coeficiente de correlação de Pearson (R) foi de 0,928, indicando uma correlação positiva muito forte entre as variáveis.

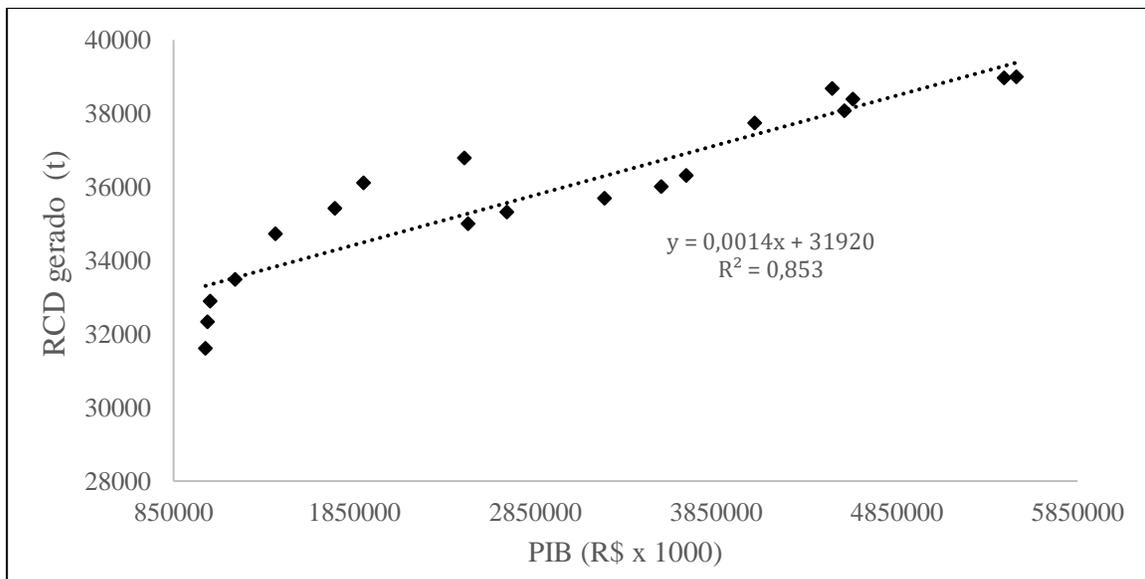


Figura 28: Relação da geração de RCD e PIB.

Já a relação entre a geração de RCD e o PIB apresentou R^2 de 0,853 e R igual a 0,923, também indicando uma relação linear satisfatória entre as variáveis.

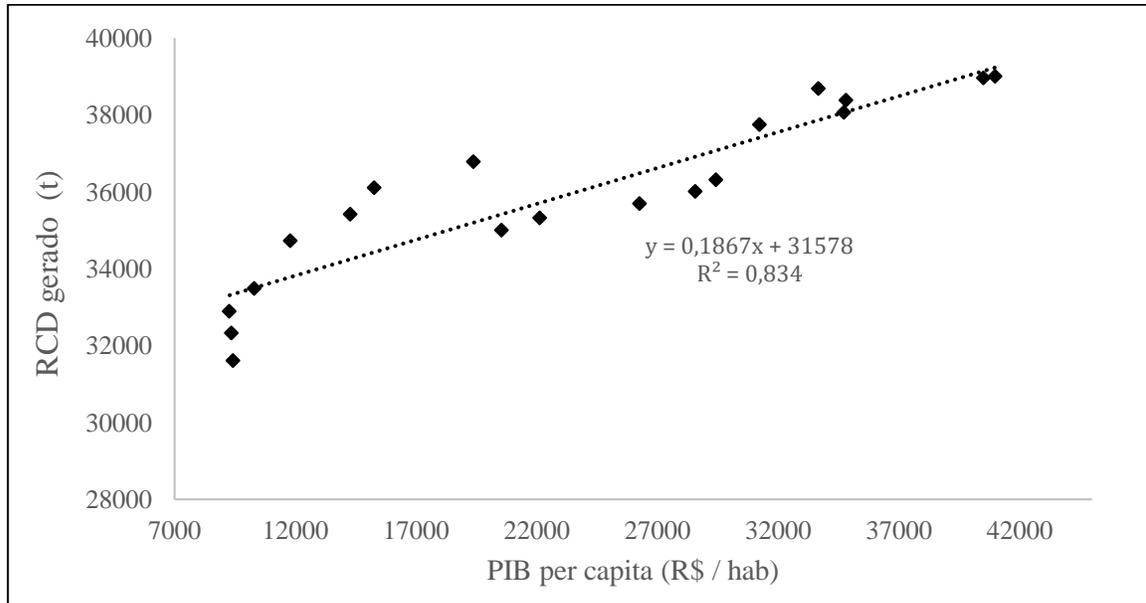


Figura 29: Relação da geração de RCD e PIB per capita.

Foi obtido valor de 0,834 para o coeficiente R^2 e de 0,913 para R na análise da relação linear entre a geração de RCD e o PIB per capita.

Analisando as correlações entre as variáveis independentes e a geração de RCD (abordadas nas Figuras 27, 28 e 29), é possível observar que haveria maior linearidade se fossem considerados apenas os dados de 2010 até 2018 (apresentando $R^2 = 0,923$; $0,875$; $0,863$; respectivamente para área urbana, PIB e o PIB per capita), ainda que a série histórica tenha sido desenvolvida utilizando os mesmos métodos ao longo de todo o período relatado pelas fontes utilizadas nesta pesquisa (Mapa Biomas e IBGE). Sendo assim, apesar desta análise, optou-se por empregar uma maior quantidade de dados (entre os anos de 2000 e 2018), e manter a utilização da série de dados definida na metodologia para o desenvolvimento do modelo de geração de RCD.

Ressalta-se que as variáveis independentes selecionadas (área urbana, PIB e PIB per capita) apresentaram correlação adequada com a geração de RCD (variável dependente) para o desenvolvimento do modelo proposto nesta pesquisa.

Desta forma, o modelo de geração de RCD para municípios de porte médio, desenvolvido por meio de uma regressão linear múltipla, utilizando as três variáveis independentes, apresentou valores 0,880 e 0,938 para coeficiente de determinação e de Person, respectivamente (o resultado estatístico completo consta no Apêndice). A expressão matemática obtida é apresentada na Equação 12.

$$RCD_{prev} = 32012,37 + 66,98 \times AU + 0,005573 \times PIB - 0,606481 \times PIB_{hab} \quad (12)$$

Em que:

RCD_{prev} = quantitativo previsto de RCD gerado (t);

AU = Área urbana (km²);

PIB = Produto Interno Bruto (R\$ x 1000)

PIB_{hab} = Produto Interno Bruto per capita (R\$ / hab).

Para aplicar a Equação 12 e estimar a quantidade de RCD gerado no município nos anos de 2020 e 2040, foi necessário realizar regressões lineares das variáveis em função do tempo (em anos). Desta forma, as regressões lineares utilizadas para estimar as variáveis área urbana, PIB e PIB per capita nos anos de 2020 e 2040 apresentaram coeficientes de determinação (R²) iguais a 0,971; 0,979 e 0,980, respectivamente. Na Tabela 11 são apresentadas as variáveis independentes e o RCD gerado previsto para os anos de 2000, 2020 e 2040; por meio da aplicação do modelo de geração de RCD apresentado na Equação 12.

Tabela 11: Previsão de geração de RCD a partir do modelo desenvolvido.

Ano	Área urbana (km ²)	PIB (R\$ x 1000)	PIB per capita (R\$ / hab)	RCD (t)
2000	18,86	1026550	9418,06	33.285
2020	28,86	5917932	44498,02	39.940
2040	39,32	11304375	83114,82	47.238

O modelo de previsão da geração de RCD aplicado ao município de Varginha / MG estimou que serão geradas 47.238 toneladas de resíduos no ano de 2040, representando um aumento de 18,27% em relação ao ano de 2020 e de 41,92% em

relação a 2000. Verificou-se, ainda, variação de 5,03% e 0,81% em relação ao quantitativo de RCD gerado calculado pelo método direto (multiplicando a população pela taxa de geração per capita de 0,29 t/hab.ano de RCD gerado) e pela aplicação do modelo para os anos de 2000 e 2020, respectivamente.

4.2 Aplicação do modelo de previsão de geração de RCD em outros municípios de médio porte populacional

Para demonstrar a aplicabilidade em outras cidades de médio porte populacional, foi realizada consulta à literatura por pesquisas que tiverem como objetivo quantificar a geração de RCD em municípios desta tipologia e que as características se assemelhassem a tipicidade de Varginha / MG. Esta pesquisa analisou trabalhos realizados entre 2008 e 2020 de seis diferentes cidades brasileiras, contemplando quase todas as regiões do país, exceto a centro-oeste.

Na Figura 30 é possível verificar o crescimento populacional dos referidos municípios entre 2010 e 2020 por meio da variação do número de habitantes. As taxas de crescimento variaram entre 9,82% e 23,02% (média de 13,44% para as 6 cidades nas quais as pesquisas foram realizadas) quando comparada a população de 2010 e 2020. Demonstrando que se tratam de municípios com alta taxa de crescimento populacional, assim como Varginha / MG, que apresentou aumento de 10,57% dos habitantes no mesmo período. Também foi verificado que todos os municípios, exceto Guarapuava / PR (9,82%), apresentaram percentual superior ao de Varginha. Apenas as cidades de Criciúma / SC (14,08%) e Ariquemes / RO (23,02%) tiveram variações altas, com 33,25% e 117,74% respectivamente, em relação ao município objeto desta pesquisa quando comparadas as taxas de crescimento da população.

Uma possível causa para Ariquemes / RO ter apresentado maior taxa de crescimento da população para o período, é a transição da cidade de pequeno (população inferior a 100.000 habitantes) para médio porte populacional. Além disto, houve expansão do número de postos de trabalho e criação de vagas na educação, como as abertas pela Universidade Federal de Rondônia no município (IBGE, 2020), promovendo um crescimento superior à média dos seis municípios listados.

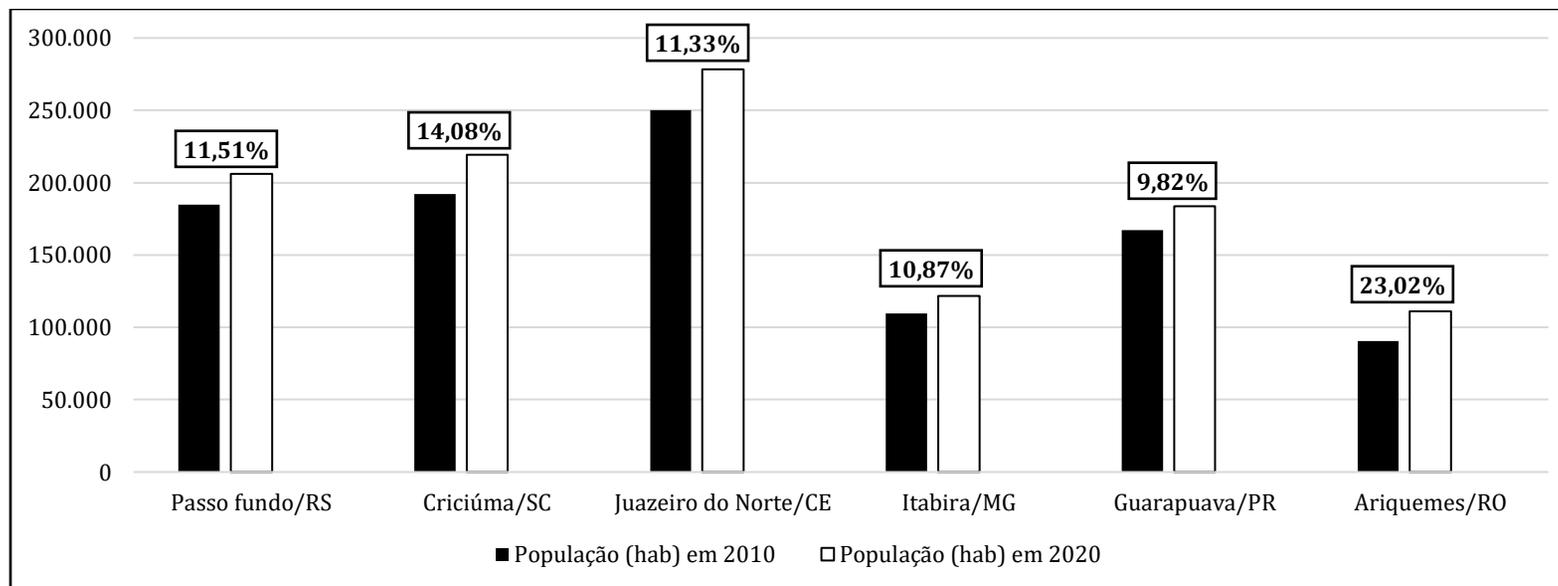


Figura 30: Crescimento da população entre 2010 e 2020 dos municípios de médio porte populacional. Fonte: IBGE (2010, 2020).

Tabela 12: Comparação do RCD gerado previsto nas pesquisas e no modelo desenvolvido.

Referência (1)	Cidade (2)	População (hab) no ano da pesquisa (3)	RCD referência (t/ano) (4)	RCD modelo (t/ano) (5)	Variação (%) (6)	Taxa referência (t/hab.ano) (7)	Taxa modelo (t/hab.ano) (8)	Variação (%) (9)
Bernardes <i>et al.</i> (2008)	Passo fundo/RS	185.279	37.194	41.613	-10,6%	0,20	0,22	-9,1%
Cardoso (2011)	Criciúma/SC	192.200	53.162	47.279	12,4%	0,28	0,25	12,0%
Silva e Marinho (2012)	Juazeiro do Norte/CE	201.499	36.500	39.055	-6,5%	0,18	0,19	-5,3%
Rodrigues e Damasceno (2019)	Itabira/MG	119.285	36.500	37.136	-1,7%	0,31	0,31	0,0%
Silva (2019)	Guarapuava/PR	180.364	41.852	47.332	-11,6%	0,23	0,26	-11,5%
Lopes (2020)	Ariquemes/RO	107.345	29.789	34.211	-12,9%	0,28	0,32	-12,5%

Já a Tabela 12 apresenta as pesquisas selecionadas e seus respectivos municípios que tiveram a quantificação de RCD realizada. Além destas informações, também foram incluídas na referida tabela a população utilizada pelos pesquisadores, e ainda, o comparativo entre o quantitativo total e a taxa de geração por habitante levantados pelos autores e o previsto pelo modelo desenvolvido nesta pesquisa.

Pode-se observar, por meio da Tabela 12, que todos os municípios possuíam população entre 100.000 e 500.000 habitantes, sendo, portanto, classificados como de médio porte populacional, no momento em que foram realizadas as pesquisas (coluna 1) para quantificar a geração de RCD. Comparando os valores quantificados pelos autores (RCD referência - coluna 4) com os obtidos por meio da aplicação do modelo (RCD modelo - coluna 5) observou-se uma variação (coluna 6) inferior a 13%. Os resultados indicaram que o quantitativo de RCD gerado foi maior quando aplicado o modelo de previsão de geração proposto nesta pesquisa do que os valores indicados pelos pesquisadores citados na referência, exceto na cidade de Criciúma, na pesquisa desenvolvida por Cardoso (2011).

O município que apresentou a menor variação (1,7%) entre o quantitativo do RCD referência e a aplicação do modelo foi Itabira, localizado também no Estado de Minas Gerais. Já o maior percentual de variação (12,9%) foi o do estudo realizado por Lopes (2020) em Ariquemes / RO, porém, acredita-se que dentro de uma margem aceitável, visto a dificuldade de prever a geração de RCD nos países em desenvolvimento, conforme relatado por Ram e Kalidindi (2017) e Zhang *et al.* (2019).

Uma vez que os métodos utilizados pelos pesquisadores foram diferentes, era esperado que os valores do RCD referência e RCD modelo fossem diferentes, conforme relatam John e Agopyan (2003). As possíveis causas destas variações no quantitativo de RCD gerado são descritas abaixo:

- Bernardes *et al.* (2008) - Passo fundo / RS: os autores realizaram levantamento do quantitativo de RCD coletado por 4 empresas em um período de 3 meses. Os caminhões que não estavam cheios não eram inseridos no cálculo. Além disto, não foi contabilizado o RCD de deposições irregulares;

- Cardoso (2011) - Criciúma / SC: foram utilizados dados de áreas licenciadas pelo município em um período de 10 anos para quantificar a geração de RCD. O próprio autor citou que há construções que podem ter sido licenciadas e não construídas de fato. Este aspecto pode justificar o fato de o RCD modelo ser inferior em 12,4% em relação ao RCD referência;
- Silva e Marinho (2012) - Juazeiro do Norte / CE: os autores utilizaram informações de 2 empresas sobre o RCD coletado para prever o total de resíduo gerado no município. Todavia, embora tenham identificado 8 pontos de deposição irregular na cidade, eles não foram considerados;
- Rodrigues e Damasceno (2019) - Itabira / MG: com o objetivo de dimensionar uma usina de reciclagem de RCD, os autores estimaram o RCD gerado no município, incluindo a deposição irregular;
- Silva (2019) - Guarapuava / PR: o método utilizado foi similar ao desenvolvido por Cardoso (2011), ou seja, utilizando dados de áreas licenciadas do Departamento de Aprovação de Projetos (DEAPRO) da Prefeitura Municipal de Guarapuava. Também é válido destacar que não foi contabilizado o RCD de deposições irregulares;
- Lopes (2020) - Ariquemes / RO: após a verificação da inexistência de um banco de dados específico sobre os resíduos no município, o autor prevê o quantitativo de RCD gerado. Foi utilizado método direto, com contabilização do número de caçambas retiradas de uma obra, em conjunto com métodos indiretos (RCD coletado por empresas). Por se tratar do município com maior crescimento populacional e de uma região ainda não urbanizada, possivelmente a geração de RCD extrapola o que foi quantificado no RCD referência, o que explica a variação de 12,9% em relação ao RCD modelo.

Outro aspecto verificado foi a taxa de geração per capita dos municípios de médio porte populacional. Diferente do que foi visto pela aplicação do modelo em Varginha, há municípios com taxas de geração de RCD per capita com valores fora do intervalo que foi apresentado por Pinto (1999), caso de Passo fundo / RS (0,20 t/hab.ano) e Juazeiro do Norte / CE (0,18 t/hab.ano). As outras cidades estão dentro da margem,

entre 0,23 e 0,76 t/hab.ano, sendo a maior delas de 0,31 t/hab.ano no município de Itabira / MG (RODRIGUES e DAMASCENO, 2019).

Por fim, após a verificação de que as variáveis independentes tiveram um crescimento linear nos municípios de médio porte populacional (exceto em Itabira / MG, possivelmente pela variação das atividades de mineração ao longo dos anos – conforme consta no Apêndice), com o objetivo de verificar a previsão de geração de RCD para 2020, foram utilizadas informações sobre a população, área urbana, PIB e PIB per capita dos municípios de médio porte populacional. Desta forma, foi possível aplicar o modelo de previsão de geração dos RCDs e estimar o quantitativo total e a taxa per capita de resíduo gerado de todos os municípios para o mesmo ano de referência (2020), conforme pode ser visualizado na Tabela 13.

Tabela 13: Previsão do quantitativo e taxa de geração do RCD dos municípios de médio porte populacional para o ano de 2020.

Cidade	População (hab)	Área urbana (km ²)	PIB (R\$ x 1000)	PIB per capita (R\$ / hab)	RCD (t)	Taxa (t/hab.ano)
Varginha/MG	136.602	28,86	5917932	44498,02	39.940	0,29
Passo fundo/RS	206.103	48,57	9829386	48355,12	60.720	0,29
Criciúma/SC	219.393	70,67	8229743	38244,79	59.417	0,27
Juazeiro do Norte/CE	278.264	50,46	4873357	17772,55	51.773	0,19
Itabira/MG	121.717	28,70	7253712	60417,39	37.719	0,31
Guarapuava/PR	183.755	53,33	6105775	33639,89	49.211	0,27
Ariquemes/RO	111.148	36,00	2578830	23908,38	34.296	0,31

Observa-se, a partir da análise da Tabela 13, que o município de Ariquemes / RO, localizado na região Norte, apresentou o menor quantitativo de geração de RCD (34.296 toneladas) para o ano de 2020 entre as cidades de médio porte populacional em que o modelo de previsão de geração de RCD foi aplicado. Os quantitativos de RCD previsto cresceram conforme a população aumentava quando analisados os municípios de Itabira / MG (localizado na região Sudeste), Varginha / MG (Sudeste) e Guarapuava / PR (Sul). Este comportamento não foi observado ao compararmos a relação da população com o quantitativo previsto de RCD gerado para as cidades de Passo Fundo / RS (Sul), Criciúma / SC (Sul) e Juazeiro do Norte / CE (Nordeste).

Uma possível explicação para esta mudança no comportamento da previsão do RCD gerado são as variabilidades das variáveis independentes utilizadas no modelo, conforme pode ser observado na comparação entre Passo Fundo com Criciúma, na qual a primeira apresenta maior PIB e PIB per capita, mas uma área urbana menor. Sendo assim, o município que apresentou maior quantitativo previsto de geração de RCD foi Passo Fundo / RS, seguido por Criciúma / SC, Juazeiro do Norte / CE, Guarapuava / PR, Varginha / MG, Itabira / MG e Ariquemes / RO.

A partir dos valores calculados das estimativas das taxas de geração per capita dos RCDs dos municípios de médio porte populacional, foi possível desenvolver o gráfico (Figura 31) que apresenta as taxas de cada município pesquisado em comparação com os valores relatados na pesquisa de Pinto (1999) e no relatório desenvolvido pela ABRELPE (2020) sobre os RCDs coletados em cada região do país.

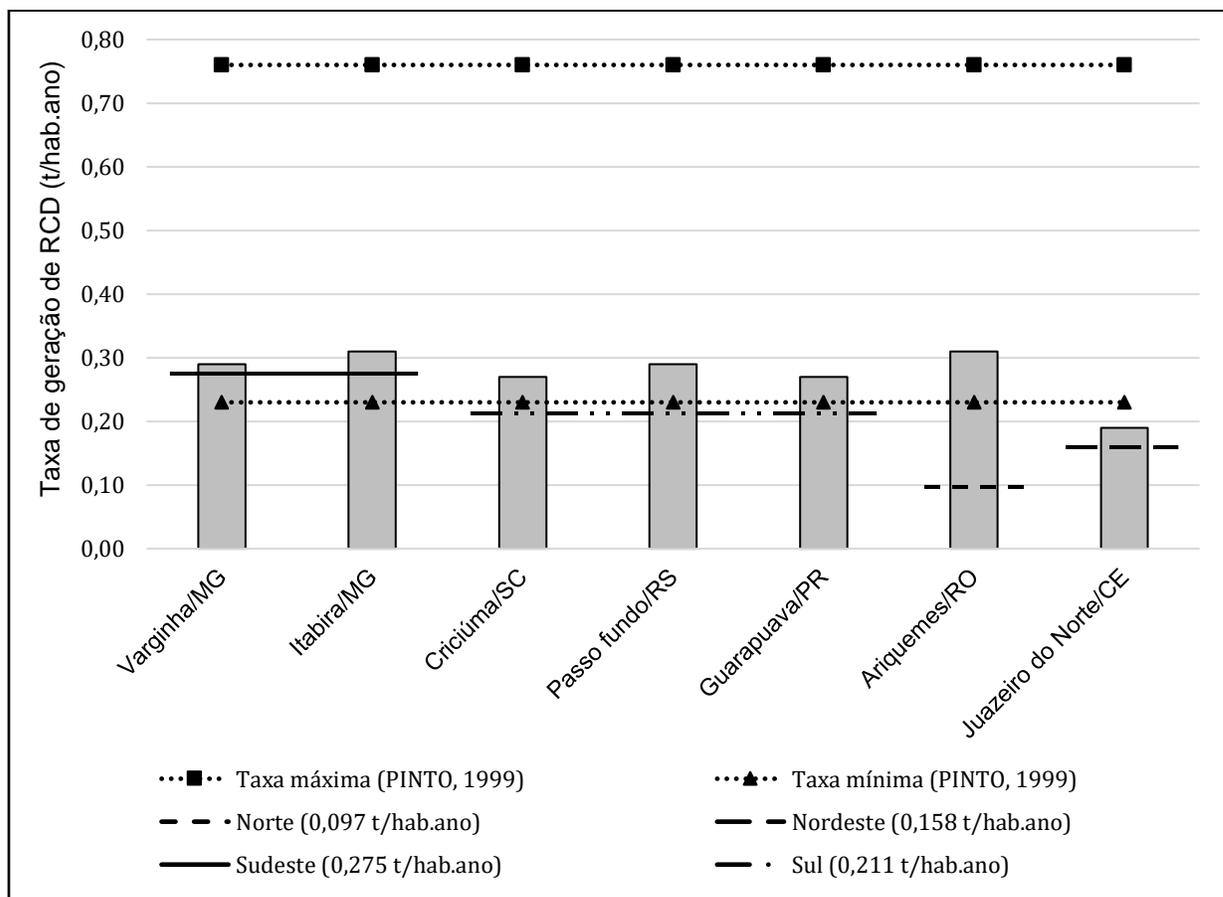


Figura 31: Taxa de geração de RCD per capita dos municípios de médio porte populacional.

É possível observar que todos os municípios, exceto Juazeiro do Norte / CE, se enquadram nas taxas de geração de RCD per capita (0,23 - 0,76 t/hab.ano), apresentada na pesquisa de Pinto (1999). Além disto, visualiza-se que todas as cidades apresentaram taxas de geração de RCD per capita acima das apresentadas pela ABRELPE (2020) para as suas regiões, algo que era esperado, uma vez que o relatório considerava apenas os resíduos coletados e não o quantitativo gerado.

O município de Ariquemes / RO apresentou uma taxa de geração de RCD per capita acima do esperado para a região Norte, entretanto, esta taxa pode ser justificada pela alta taxa de crescimento populacional entre 2010 e 2020 (23,02%) e pela transição de cidade de pequeno para médio porte populacional. Ressalta-se que Lopes (2020) também apresentou uma taxa de geração de RCD per capita (0,28 t/hab.ano) acima do esperado para o município.

Algo que também ocorre com a cidade de Juazeiro do Norte / CE, que apresentou taxa de geração per capita abaixo dos valores apresentados por Pinto (1999), mas acima dos valores indicados no relatório da ABRELPE (2020). Para este município, Silva e Marinho (2012) apresentaram uma taxa de geração de RCD per capita de 0,18 t/hab.ano, muito próxima ao valor de 0,19 t/hab.ano apresentado nesta pesquisa quando utilizados os dados de 2020 para prever a geração de RCD no referido ano.

4.3 Expansão urbana de Varginha / MG

O município de Varginha / MG, assim como outras cidades de porte médio, apresenta grande crescimento nos últimos anos. Este desenvolvimento pode ser verificado em função do aumento da população, da urbanização e da expansão da área urbana.

Com base em informações do Mapa Biomas (<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>), foi possível desenvolver o mapa representado na Figura 32, que aborda o crescimento urbano da cidade entre os anos de 2000 e 2019 (último ano com dados disponíveis no portal).

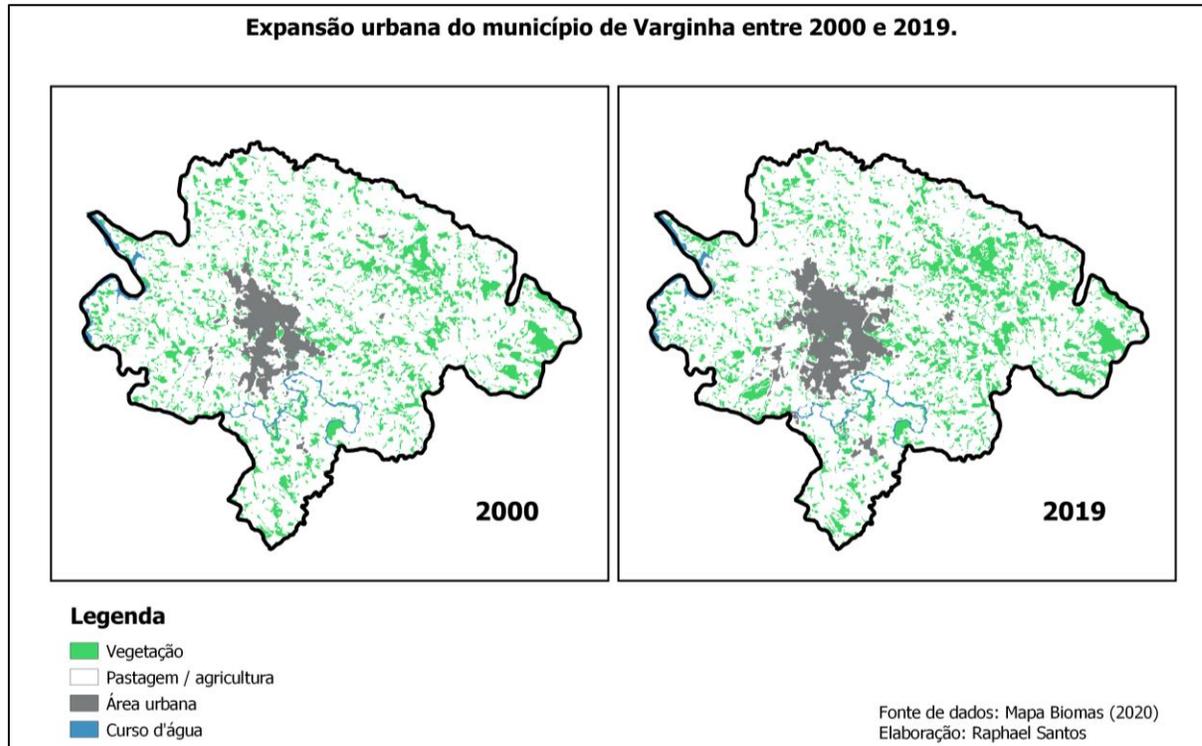


Figura 32: Expansão urbana de Varginha / MG entre 2000 e 2019.

Também a partir de dados extraídos do Mapa Biomas, foi possível desenvolver a Tabela 14, que indica a evolução da área urbana do município de Varginha / MG entre os anos de 2000 e 2019, assim como o seu percentual em relação à área total da cidade (que se manteve fixa em 395,4 km² ao longo destes anos). Na referida tabela, ainda constam informações sobre a população estimada (IBGE, 2020) para cada ano referência, de modo a possibilitar o cálculo da densidade urbana do município.

A análise da tabela evidencia a grande extensão territorial do município e a possibilidade de expansão da mancha urbana, uma vez que a densidade demográfica da cidade era de aproximadamente 344 hab/km² em 2019 (IBGE, 2020), enquanto que a densidade urbana calculada foi de 4678 hab/km² para o mesmo ano referência. Embora tenha ocorrido uma evolução do percentual de área urbana em relação à área total do município (de 4,77% em 2000 para 7,33% em 2019), observa-se os percentuais não são significativos (abaixo de 8%).

Tabela 14: Evolução da área urbana de Varginha / MG.

Ano	Área urbana (km ²)	Área urbana / Área total (%)	População estimada (hab)	Densidade urbana (hab/km ²)
2000	18,86	4,77%	108998	5779
2001	19,73	4,99%	111480	5650
2002	20,19	5,11%	113411	5617
2003	20,37	5,15%	115460	5668
2004	20,58	5,20%	119760	5819
2005	20,72	5,24%	122140	5895
2006	21,40	5,41%	124502	5818
2007	21,77	5,51%	126841	5826
2008	21,76	5,50%	120691	5546
2009	22,52	5,70%	121788	5408
2010	22,95	5,80%	123081	5363
2011	23,51	5,95%	124162	5281
2012	24,22	6,13%	125208	5170
2013	25,25	6,39%	130139	5154
2014	25,91	6,55%	131269	5066
2015	26,63	6,73%	132353	4970
2016	27,11	6,86%	133384	4920
2017	27,12	6,86%	134364	4954
2018	28,77	7,28%	134477	4674
2019	28,98	7,33%	135558	4678

Portanto, embora Varginha / MG apresente urbanização de quase 97%, ainda possui grande extensão territorial com características rurais ou pouco adensadas e ocupadas, característica relevante para o planejamento de áreas de expansão e consolidação de ocupação pelo adensamento com a disponibilização de adequada infraestrutura. Mapeamento similar para verificar a evolução da ocupação urbana do município, entre os anos de 2000 e 2016, também foi realizado pela Prefeitura de Varginha (PMV, 2018), apresentando mapas extraídos do *Google Earth*, conforme Figura 33.

Compreender a expansão da área urbana do município é fundamental para os tomadores de decisão desenvolverem o plano diretor e proporem os vetores de expansão da cidade por meio de novas áreas urbanas. Neste contexto, o plano diretor vigente está sendo revisado, o que resultou na apresentação de um relatório preliminar com o diagnóstico da situação atual do município e de projeto de Lei Complementar (que faz a revisão do plano diretor participativo de Varginha e dá outras providências). Na minuta deste projeto, desenvolvida em conjunto pela

Prefeitura e uma empresa privada, consta a seguinte proposta para alteração e expansão do perímetro urbano do município, como mostrado na Figura 34.

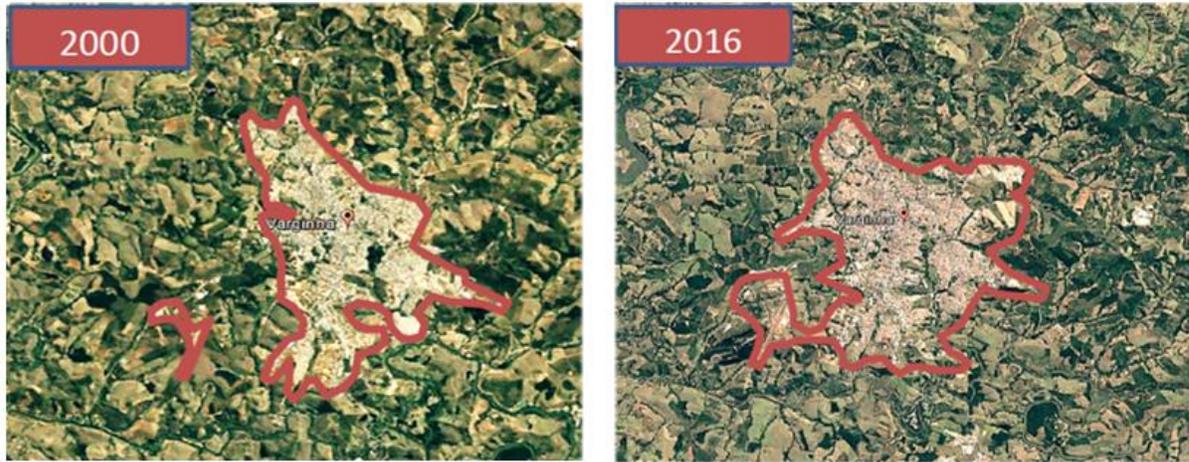


Figura 33: Mapas de evolução da ocupação de Varginha / MG.
Fonte: Adaptado de PMV (2018).

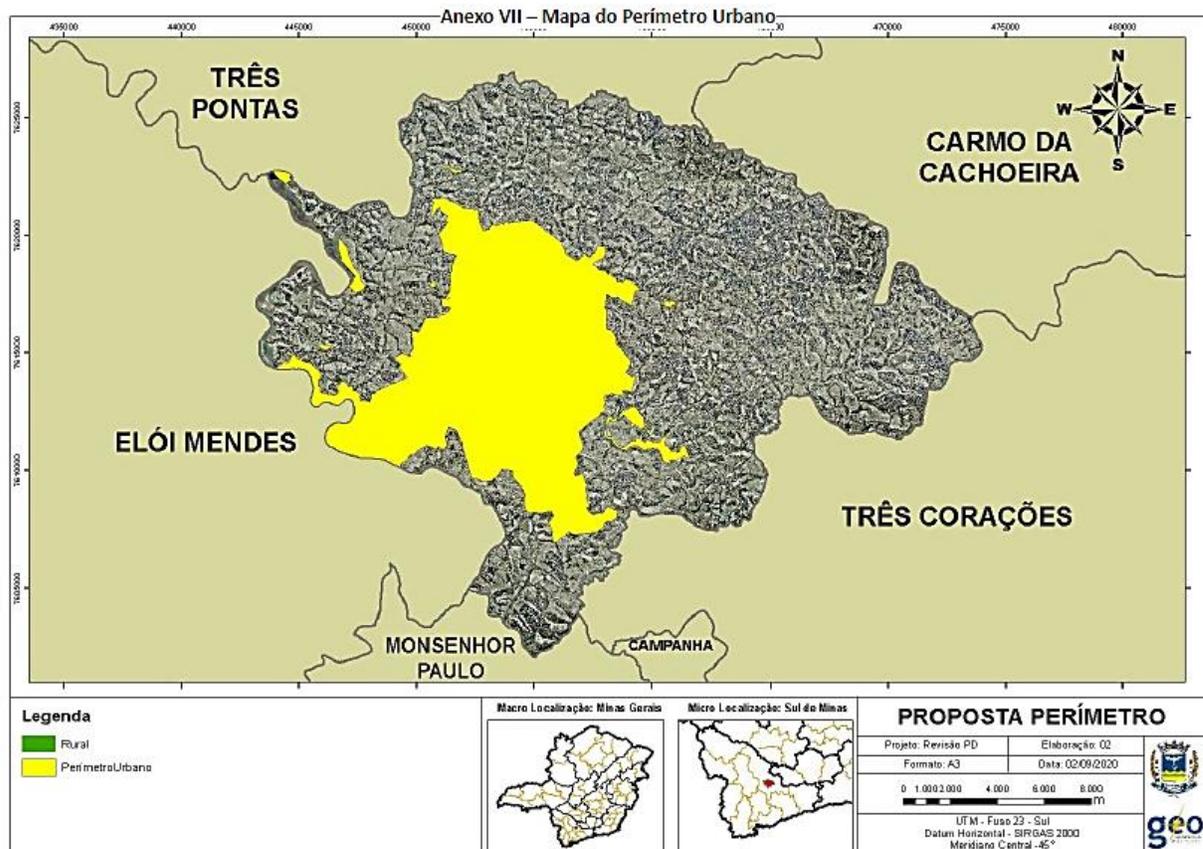


Figura 34: Proposta de alteração no perímetro urbano do município de Varginha.
Fonte: Adaptado de PMV (2018).

As alterações do perímetro urbano do município de Varginha / MG ocorreram ao longo dos anos, sendo a Lei 3182/1999 a primeira a abordar e estabelecer o perímetro urbano da cidade. Já o plano diretor vigente do município foi aprovado pela Lei 4530/2006. Entre os anos de 1999 (definição do perímetro urbano) e 2006 (plano diretor atual do município), o perímetro urbano foi alterado 4 (quatro) vezes por declarações de novas áreas de expansão urbana; após 2006, mais 6 (seis) vezes, em função de as disposições transitórias não terem sido cumpridas, sendo necessária a edição de novas leis ordinárias para a definição das novas áreas de expansão urbana. A última lei que alterou o perímetro urbano de Varginha / MG foi a de nº 6205/2016, elaborada pela Secretaria Municipal de Planejamento Urbano. Na Tabela 15 é possível verificar a cronologia das leis do município que trataram das áreas urbanas.

Tabela 15: Legislação do município de Varginha / MG relativa às áreas urbanas.

Lei	Ano	Descrição	Ampliação do perímetro urbano (km ²)
3182	1999	Estabelecimento do perímetro urbano	-
3558	2001	Definiu área localizada próxima ao limite do perímetro urbano do município para implantação exclusiva de loteamento popular	0,22
3843	2003	Definiu área para expansão urbana por meio de loteamento vinculado ao Programa de Arrendamento Residencial (PAR)	0,08
3975	2003	Estabeleceu a implantação de loteamento em área denominada “Fazenda São José”	0,55
4418	2006	Deliberou sobre diversas alterações no perímetro urbano do município estabelecido pela Lei 3182/1999, em função do plano diretor	-
5096	2009	Declarou como expansão urbana a implantação de projetos residenciais dentro de programa habitacionais existentes	1,93
5142	2009	Definiu implantação de loteamento próximo ao bairro Bounganville (localizado nas proximidades do limite urbano do município)	0,38
5143	2009	Deliberou a respeito da ampliação do Distrito Industrial Cláudio Galvão Nogueira para expansão urbana	0,28
5144	2009	Declarou expansão da área urbana por meio da ampliação do bairro São Lucas	0,07
5855	2014	Definiram áreas localizadas nas proximidades do perímetro urbano para a implantação exclusiva de empreendimentos de grande porte	0,25
6035	2015		1,14
6205	2016	Última lei vigente que alterou o perímetro urbano do município	-

Portanto, mais de 10 (dez) alterações foram realizadas após a Lei 3182/1999, que estabeleceu o perímetro urbano de Varginha / MG. As alterações mais expressivas no perímetro urbano, dentre as leis que foram publicadas, foram as que ampliaram a área urbana da cidade ao estabelecer novos locais de expansão urbana. Estas leis, excluindo as Leis 4418/2006 e 6205/2016 (que revisaram de forma mais ampla o perímetro urbano por conta de alterações no plano diretor do município), expandiram em um total de 4,90 km² de áreas urbanas no município. Ressalta-se que as Leis 4418/2006 e 6205/2016 também deliberaram sobre alteração/expansão do perímetro urbano do município, porém não foi possível quantificar, visto que não havia tal informação no texto da legislação e os mapas anexos às Leis estavam em formato incompatível (.pdf) para medição adequada.

Sendo assim, é necessário que os gestores realizem um melhor planejamento para a expansão urbana das cidades, sendo o plano diretor um dos instrumentos utilizados e obrigatório para municípios de médio porte populacional. A partir destas orientações para o desenvolvimento sustentável de Varginha / MG, presentes em cada uma das zonas, foi possível desenvolver a Tabela 16, na qual constam as principais direções apontadas pela Prefeitura para a expansão do município de forma sustentável, seja por meio de definições em relação ao planejamento urbano ou de proposição de áreas de expansão urbana (quando presentes para a referida zona).

Desta forma, por meio da análise da Tabela 16, foi possível identificar as principais zonas dentro do município indicadas para expansão urbana. Portanto, as Zona de Adensamento Controlado (ZAC) e Zona Consolidada Adensada (ZCA) foram consideradas mais propícias à verticalização; enquanto que as zonas ZAP, ZAR (nos vetores de expansão indicados), ZE e ZEIS ao crescimento horizontal. Na Figura 35 é possível verificar as zonas indicadas para a verticalização e expansão horizontal (o zoneamento do município já foi apresentado na Figura 24).

Tabela 16: Principais direções para o desenvolvimento do município de Varginha /MG.

Zona	Orientação para desenvolvimento sustentável
ZAC - Zona de Adensamento Controlado	Estímulo à ocupação dos vazios urbanos e áreas subutilizadas através da aplicação dos instrumentos de política urbana
ZAP - Zona de Adensamento Preferencial	Potencial de adensamento pela ocupação de vazios urbanos dentre áreas livres e remanescentes do município
ZAR - Zona de Adensamento Restrito	Vetores de expansão: bairros Corcetti, Treviso, Pinheiros, Vargem, Alto da Figueira e Sagrado Coração (Norte); e próxima ao rio Verde e do Distrito Industrial Cláudio Galvão Nogueira (Sul)
ZCA - Zona Consolidada Adensada	Adensamento acompanhado da avaliação das condições do traçado viário a fim de evitar o comprometimento do tráfego local e as características históricas representativas da evolução urbana. Aplicação de instrumentos de política urbana para estímulo à ocupação dos vazios urbanos e áreas subutilizadas
ZE - Zona Econômica	Incentivo à ocupação da área a oeste não consolidada, localizada no entroncamento da BR-491 com a MG-167, que constitui um vetor de expansão do município, com alto potencial de atratividade econômica para empreendimentos voltados ao comércio e serviços
ZEIS - Zona de Interesse Social	Área destinada à implantação ou ampliação de programas habitacionais de interesse social ou ocupadas irregularmente por população de baixo poder aquisitivo. Região dos bairros Jardim Áurea, Cruzeiro do Sul, Novo Tempo e Carvalhos
ZEP - Zona Econômica de Porte	Zona constituída pelas áreas de atividades econômicas voltadas à indústria e empreendimentos de grande porte, sendo vedado o uso residencial
ZIA - Zona de Interesse Aeroportuário	Zona especial não residencial, permitindo edificações ligadas direta ou indiretamente ao uso aeroportuário
ZICT - Zona de Interesse Cultural e Turístico	Área onde ocorre o desestímulo do adensamento, preservando os prédios históricos e a paisagem cultural
ZPAM - Zona de Proteção Ambiental	Ocupação do solo por equipamentos públicos e/ou privados voltados à preservação do meio ambiente e incentivo à cultura, lazer, turismo e acessibilidade
ZR - Zona Rural	-
ZUE - Zona Urbana Especial	Admite o uso predominantemente residencial de baixa densidade, devendo ser estimulada a implantação de equipamentos voltados à cultura, esporte, turismo e lazer

As zonas ZEP, ZIA, ZICT, ZPAM, ZR e ZUE não foram consideradas para o desenvolvimento da rede de gestão futura em função de suas restrições construtivas e, conseqüentemente, de expansão urbana, tais como a presença de aeroporto, prédios históricos e áreas de proteção ambiental.

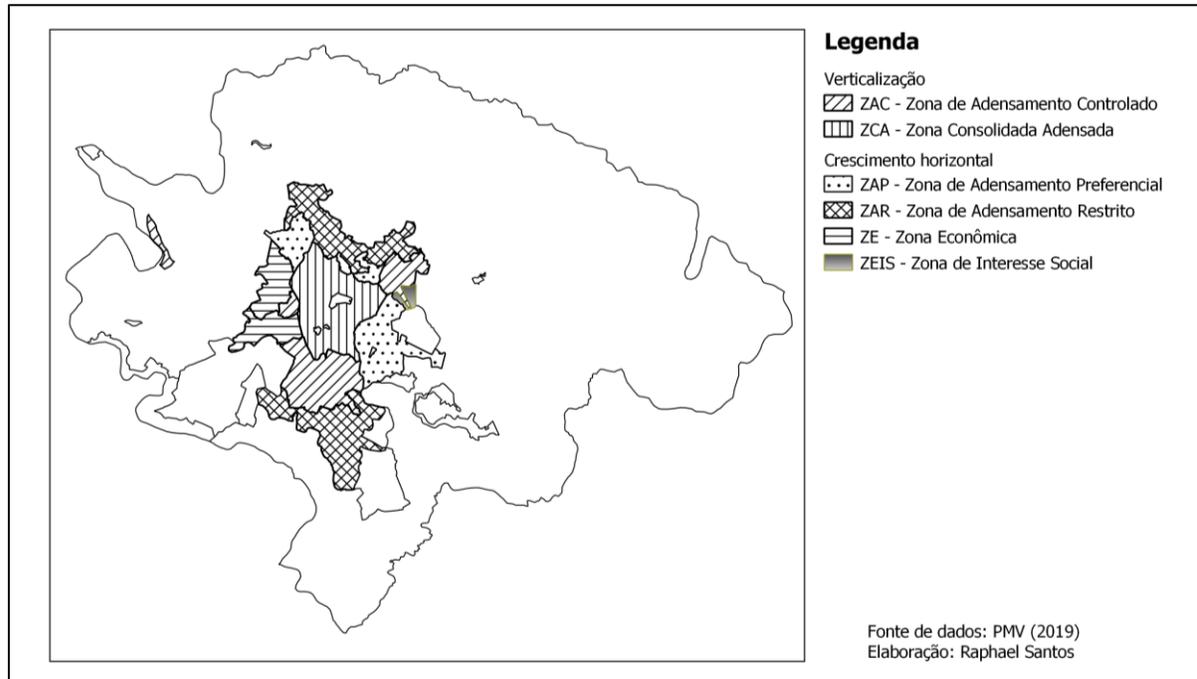


Figura 35: Vetores de expansão urbana do município de Varginha / MG.

4.4 Rede de gestão de RCD atual (ano 2020)

Para a proposição da rede gestão atual, tendo como referência o ano de 2020, foram realizados levantamentos dos pontos de deposição irregular de RCD e das principais obras do município de Varginha / MG, com o objetivo de determinar os locais mais apropriados para a implantação de PEVs e ATTs.

A determinação dos pontos de deposição irregular permite identificar os locais mais representativos em relação ao pequeno gerador (volume baixo de RCD gerado) que estão sujeitos à disposição não adequada dos resíduos. A implantação de PEVs nestas áreas é recomendada para a redução do descarte irregular (BRASIL, 2012). A identificação dos grandes geradores (volume alto de RCD gerado, oriundo de obras de grande porte) possibilita determinar a localização mais adequada para as ATTs, uma vez que os resíduos de construção e demolição são transportados dos grandes geradores para as ATT, e posteriormente, das ATT para as áreas de destinação final (Aterros de inertes ou Usina de Reciclagem de RCD).

O levantamento dos pontos de deposição irregular mapeou 116 locais, os quais foram fotografados, como exemplificado na Figura 36. Além disto, locais de depósito irregular de RCD foram referenciados com suas respectivas coordenadas geográficas, conforme planilha apresentada no Apêndice.



Figura 36: Ponto de deposição irregular de RCD em Varginha / MG.

Já no levantamento realizado das principais obras em construção no município, foram identificadas 6 (seis) construções de grande porte, sendo a maior parte delas localizadas em bairros de alta renda da cidade.

Após a obtenção das coordenadas geográficas dos pontos de deposição irregular e das principais obras, foi possível mapeá-los com a utilização do *Google Earth Pro* para posterior importação no QGis. O mapeamento realizado no *software* supracitado, no qual os ícones pretos representam os pontos de deposição irregular e os brancos as principais obras dentro da área urbana do município (destacada em cinza), pode ser visualizado na Figura 37.

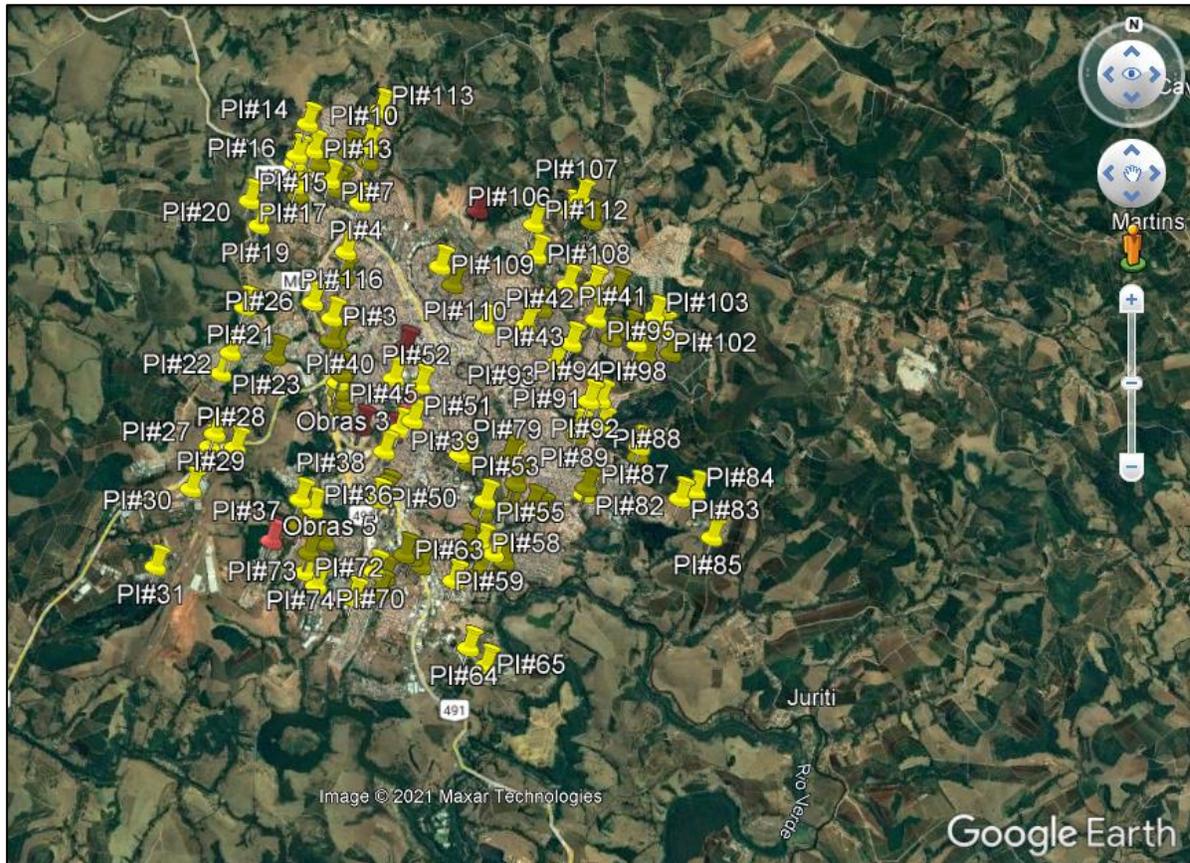


Figura 37: Mapeamento dos pontos de deposição irregular e principais obras no Google Earth.

Os arquivos contendo os pontos relatados foram salvos na extensão .kml e .kmz para importação para o QGis. Após a importação, estes pontos foram convertidos para o sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) projeção SIRGAS 2000 Zona 23 S e salvos como *shapefiles* (ou seja, no formato de vetor). A necessidade de conversão do sistema de coordenadas cartesianas para o sistema UTM deu-se em função de os mapas da área de estudo, obtidos por meio do site do IBGE, Prefeitura de Varginha e *Google Maps*, estarem neste sistema de coordenadas.

Desta forma, os pontos relacionados aos locais de deposição irregular e às principais obras foram incluídos no mapa da área de estudo (município de Varginha / MG) utilizando o software QGis. O recurso de *layout* de impressão foi utilizado para gerar o mapa, conforme exposto na Figura 38.

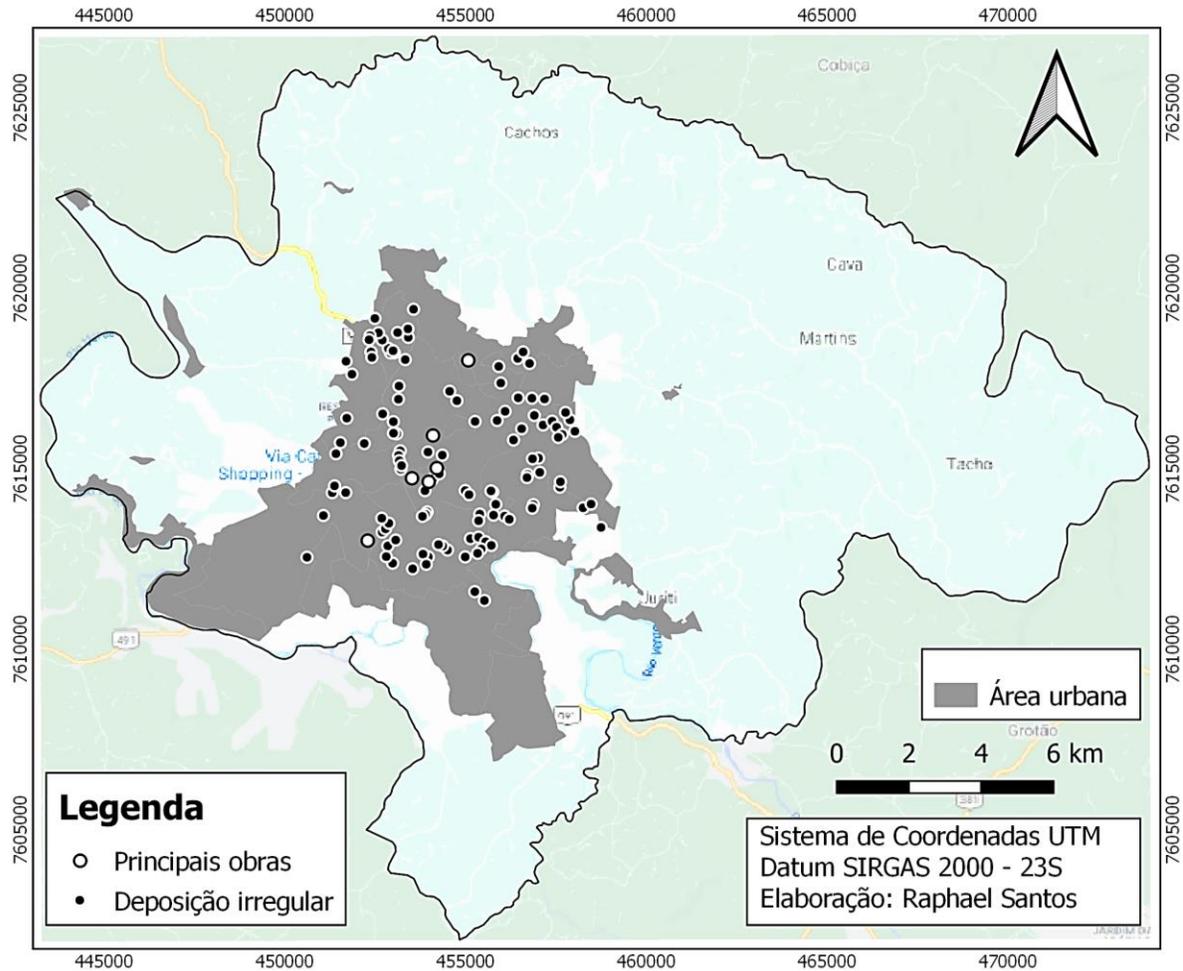


Figura 38: Pontos de deposição irregular de RCD e principais obras em Varginha / MG.

Ainda utilizando o QGis, a função densidade de Kernel foi usada para definir cinco classes de aptidão (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta) para instalação dos PEVs e ATTs, levando-se em consideração que a propensão para implantação das infraestruturas é diretamente proporcional à densidade dos pontos de deposição irregular (no caso dos PEVs) e das principais obras (para as ATTs).

Os *buffers* utilizados nesta pesquisa foram os mesmos da pesquisa realizada por Paz *et al.* (2018): raio de 200 m e 3000 m para cada ponto de deposição irregular e principais obras, respectivamente. Na Figura 39 é possível verificar a utilização da ferramenta mapa de calor presente no menu processar / caixa de ferramentas para confecção do mapa de densidade de Kernel dos PEVs.

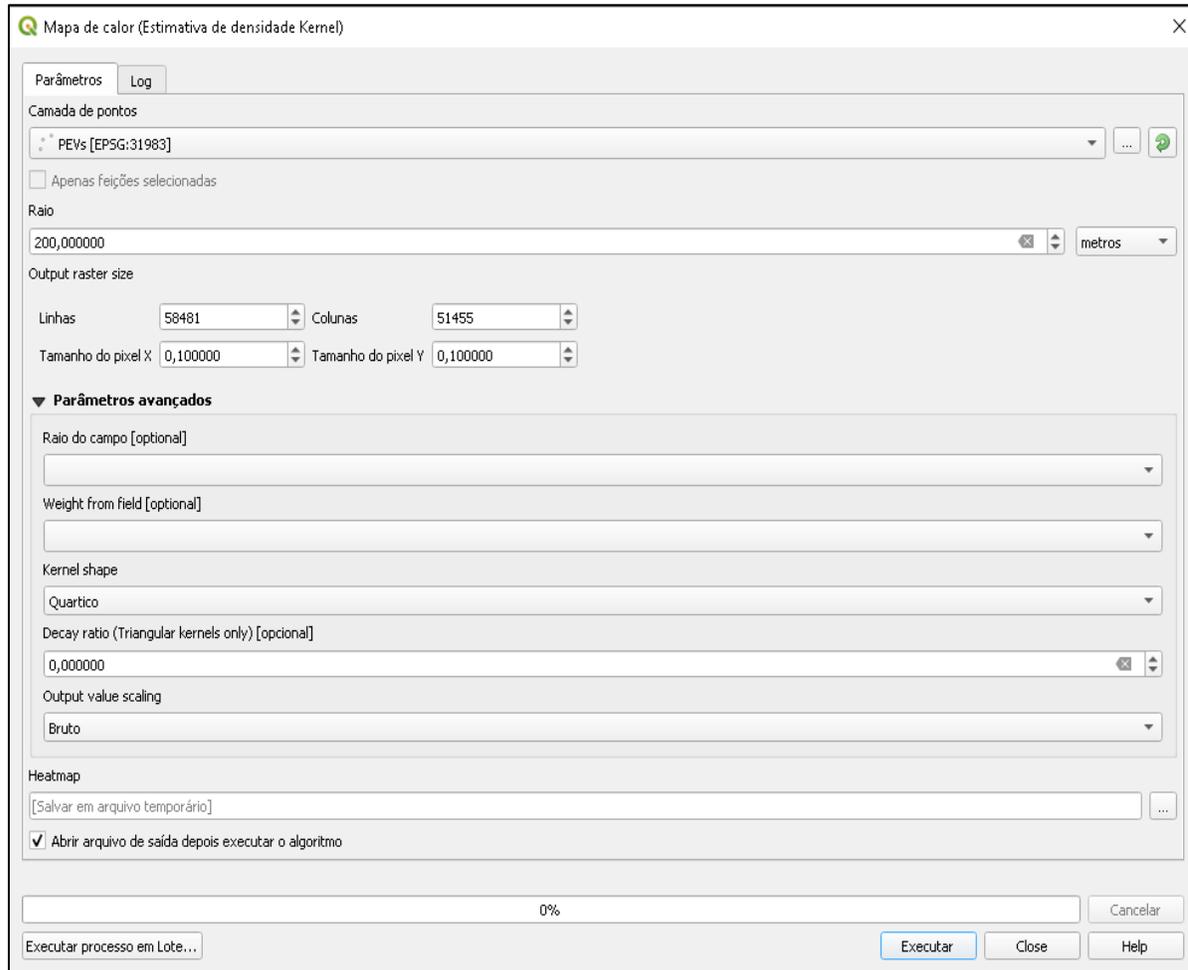


Figura 39: Densidade de Kernel para geração do mapa de aptidão dos PEVs.

Já os mapas contendo as classes de aptidão para implantação dos PEVs e ATTs são apresentados nas Figuras 40 e 41, respectivamente. A simbologia das classes de aptidão utilizou o método de interpolação linear com tipo de renderização de banda simples falsa-cor.

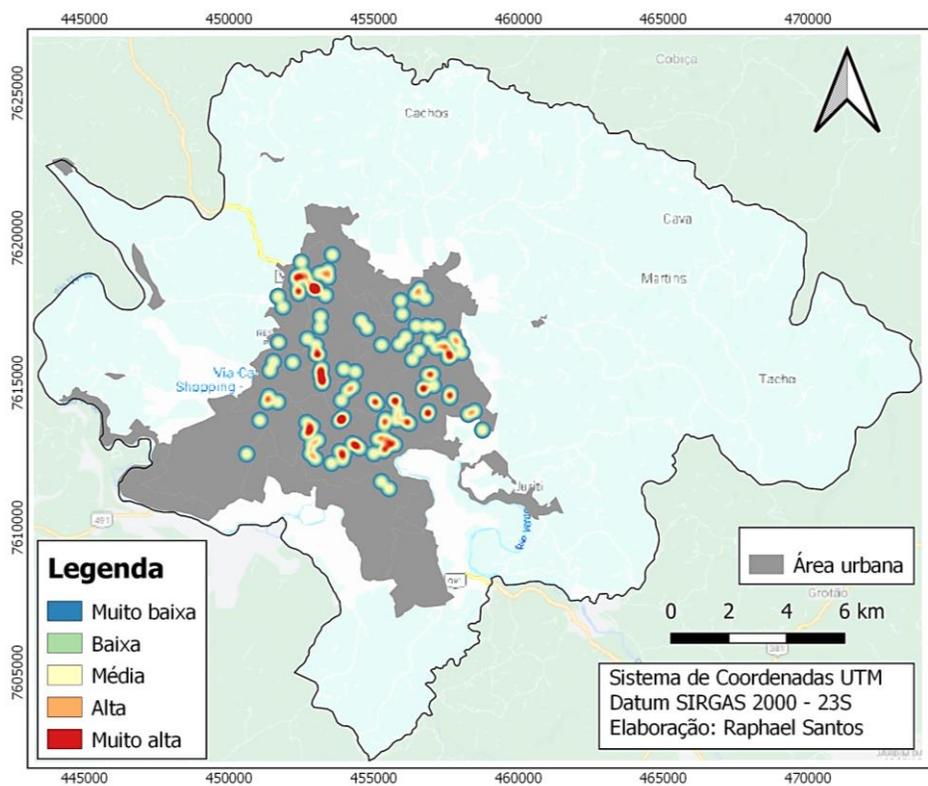


Figura 40: Classes de aptidão para implantação de PEVs.

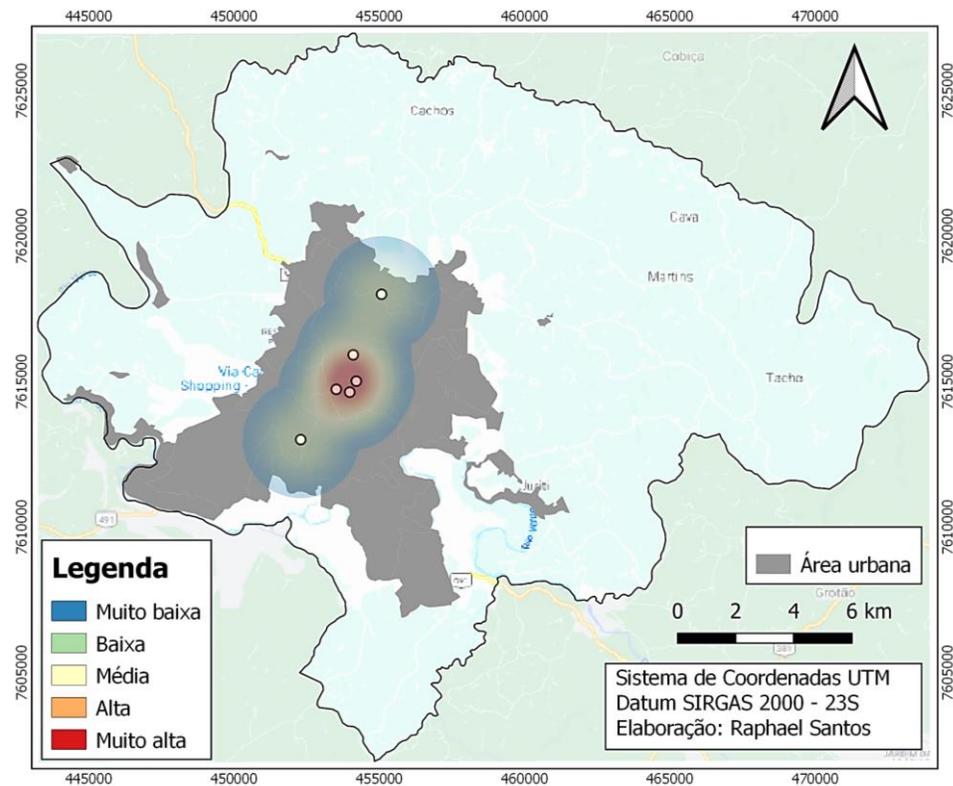


Figura 41: Classes de aptidão para implantação de ATTs.

Para a determinação do número de PEVs e ATTs que compõem a rede de gestão do cenário atual, foram aplicadas as Equações 10 e 11, respectivamente. Os valores da variável RCD_{ano} foram obtidos por meio da aplicação do modelo de geração de RCD proposto neste trabalho.

Na tabela 17 é possível verificar o número de PEVs e ATTs sugeridos nesta pesquisa, em comparação com o método desenvolvido por Paz *et al.* (2018) e com o manual para implantação de sistema de gestão de resíduos de construção civil em consórcios públicos, todos considerando o arredondamento decimal para gerar números inteiros.

Tabela 17: Número de PEVs e ATTs definidos nas diferentes referências.

	Número de PEVs	Número de ATTs
Esta pesquisa	4	1
Paz <i>et al.</i> (2018)	4	-
Manual MMA (2010)	5	1

A partir dos mapas de aptidão de classes (Figura 40 e 41) e da definição do número de PEVs e ATTs, conforme metodologia desenvolvida, foi possível propor rede de gestão de RCD para o município, contemplando, além das infraestruturas citadas para atendimento dos pequenos e grandes geradores nos locais de aptidão “muito alta”, o aterro sanitário e usina de reciclagem existentes na cidade.

Desta forma, dentre os locais de aptidão muito alta, foram selecionados 4 (quatro) pontos para receberem os Pontos de Entrega Voluntária e 1 (um) local para receber a Área de Triagem e Transbordo. As coordenadas UTM dos locais propostos em conjunto com as infraestruturas existentes no município (aterro sanitário e usina de reciclagem) são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18: Coordenadas UTM das infraestruturas da rede de gestão de RCD atual.

Infraestrutura	Coordenada UTM SIRGAS 2000 Zona 23 S	
	Longitude UTM	Latitude UTM
Usina de reciclagem	453449,29	7620729,15
Aterro sanitário	459178,54	7620941,95
PEV 1	452856,40	7618276,39
PEV 2	453198,30	7615236,11
PEV 3	454263,05	7612828,40
PEV 4	457601,83	7615979,53
ATT	453972,59	7614755,49

Estas coordenadas foram importadas no formato .csv para o QGis, gerando o mapa da Figura 42, que contém as infraestruturas da rede de gestão atual proposta.

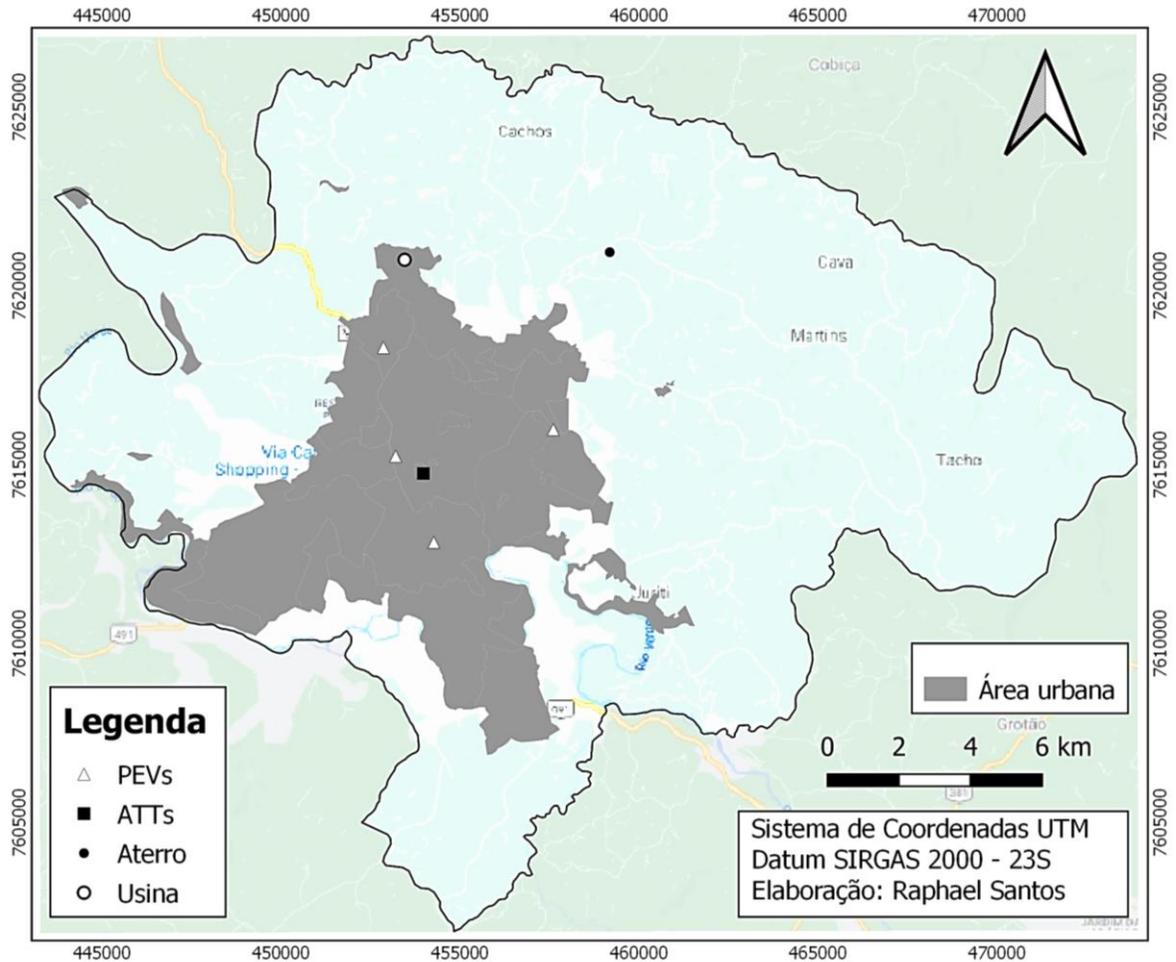


Figura 42: Localização das infraestruturas da rede de gestão de RCD atual proposta.

Além dos aspectos relacionados às classes de aptidões, também foram verificadas a disponibilidade de área adequada, a facilidade de acesso dos veículos e os impactos na região para implantação das infraestruturas PEVs e ATTs que iriam compor a rede de gestão atual de RCD.

Para todos os Pontos de Entrega Voluntária foram atendidas as recomendações de área entre 100 e 600 m² fornecida pela NBR 15.112 (ABNT, 2004b), além de serem selecionados terrenos próximos às vias de acesso principais do município e com distância adequada de residências.

É possível visualizar a verificação das recomendações aplicadas ao PEV1, proposto na Tabela 18, utilizando o *Google Earth Pro*, na Figura 43.

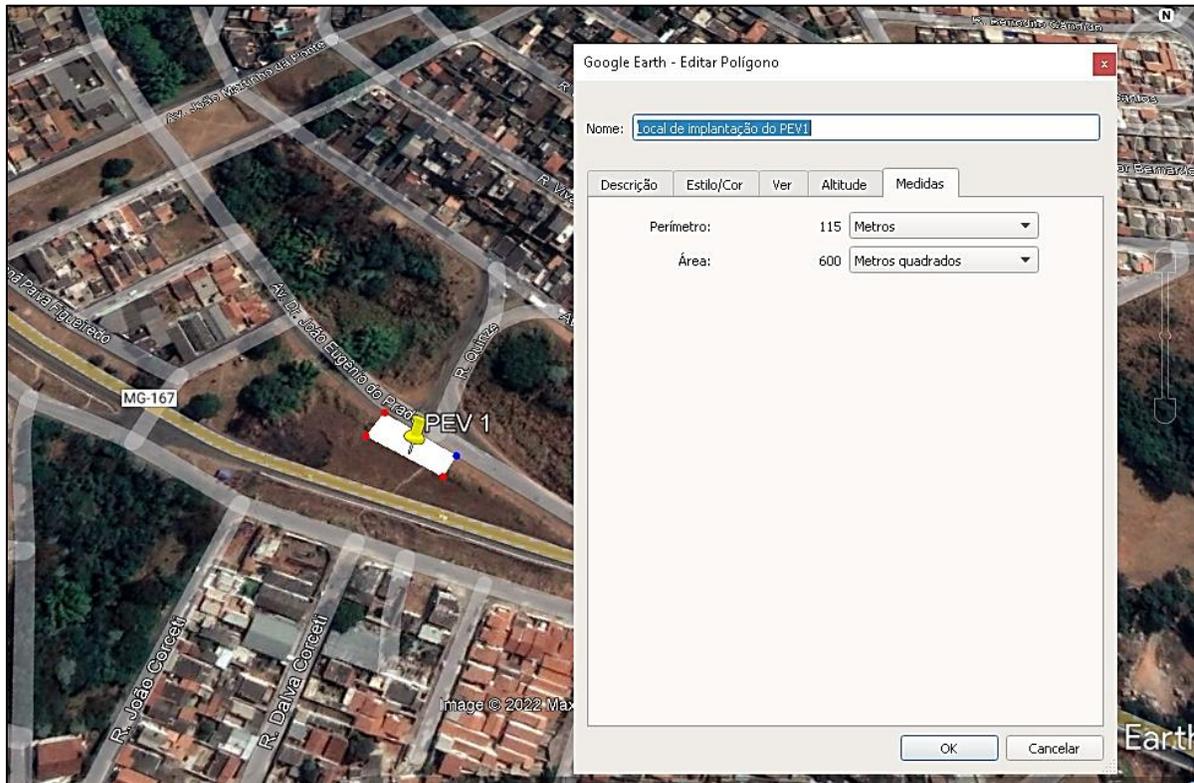


Figura 43: Local proposto para implantação do PEV1.

Da mesma forma que para os PEVs, também foi verificada a localização da ATT para a rede de gestão de RCD atual. Foram analisados a área mínima necessária proposta por Pinto e Gonzáles (2005), a localização das áreas de maior concentração de geradores de grandes volumes de RCD (obtidos pelas classes de aptidão) e a facilidade de acesso/deslocamento de veículos de carga de grande porte.

Tendo em vista que a capacidade demandada de Varginha / MG é de 150 m³/dia, foi necessário realizar uma regressão linear ($R^2 = 0,989$) dos dados propostos por Pinto e Gonzáles (2005) para obter a área mínima de 1568m² para implantação da ATT. Além disto, o terreno selecionado para implantação da ATT apresentou proximidade com 4 das 6 obras de grande porte do município e também com vias que são utilizadas pelas empresas executoras destas obras, e que possibilitam o tráfego de veículos de carga de grande porte.

O local selecionado para a implantação da ATT pode ser visto na Figura 44.

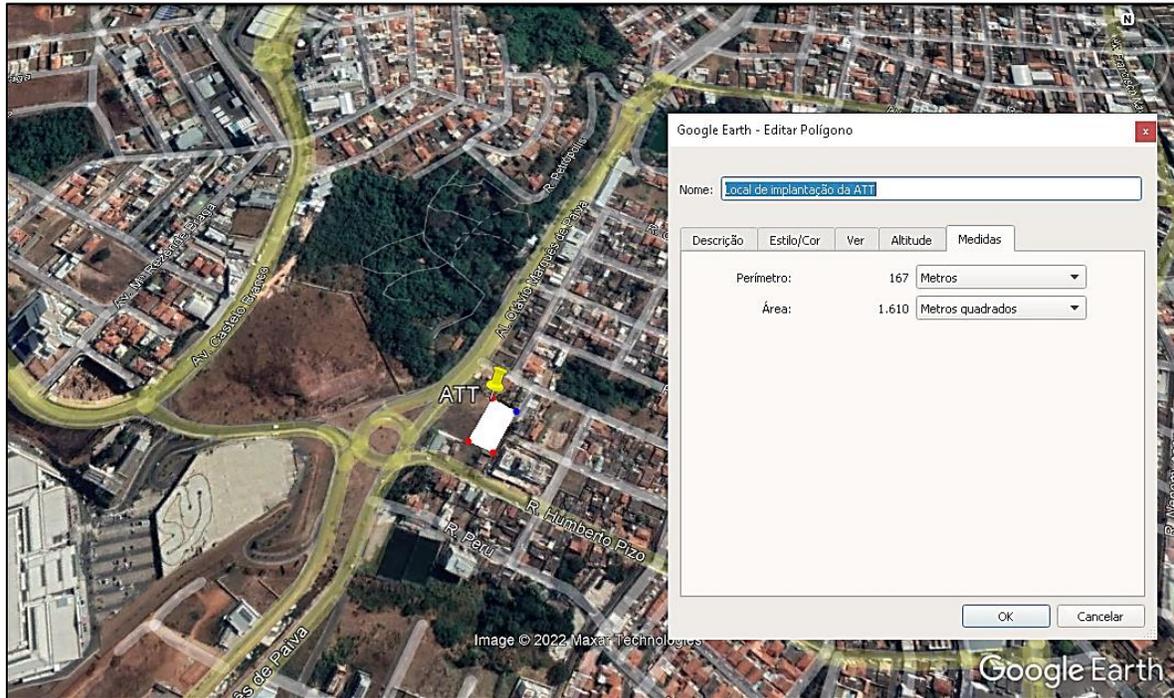


Figura 44: Local proposto para implantação da ATT.

Posteriormente foi utilizada a ferramenta *linestring* com as coordenadas destas infraestruturas, em conjunto com as coordenadas da usina de reciclagem e do aterro sanitário, para gerar as retas e representar a rede de gestão atual. Deste modo, cada PEV e ATT foram ligados por retas à usina de reciclagem e ao aterro sanitário. O arquivo de texto utilizado para a importação das retas no QGis pode ser visualizado na Figura 45.

```

Rede de gestão - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
REDE DE GESTÃO
LINestring (452856.40 7618276.39, 453449.29 7620729.15) | line 1
LINestring (452856.40 7618276.39, 459178.54 7620941.95) | line 2
LINestring (453198.30 7615236.11, 453449.29 7620729.15) | line 3
LINestring (453198.30 7615236.11, 459178.54 7620941.95) | line 4
LINestring (454263.05 7612828.40, 453449.29 7620729.15) | line 5
LINestring (454263.05 7612828.40, 459178.54 7620941.95) | line 6
LINestring (457601.83 7615979.53, 453449.29 7620729.15) | line 7
LINestring (457601.83 7615979.53, 459178.54 7620941.95) | line 8
LINestring (453972.59 7614755.49, 453449.29 7620729.15) | line 9
LINestring (453972.59 7614755.49, 459178.54 7620941.95) | line 10

```

Figura 45: Arquivo importado para QGis para geração das retas da rede de gestão de RCD.

Desta forma, foi possível gerar o mapa (Figura 46) da rede de gestão de RCD proposta para o cenário atual, com base na metodologia desenvolvida nesta tese.

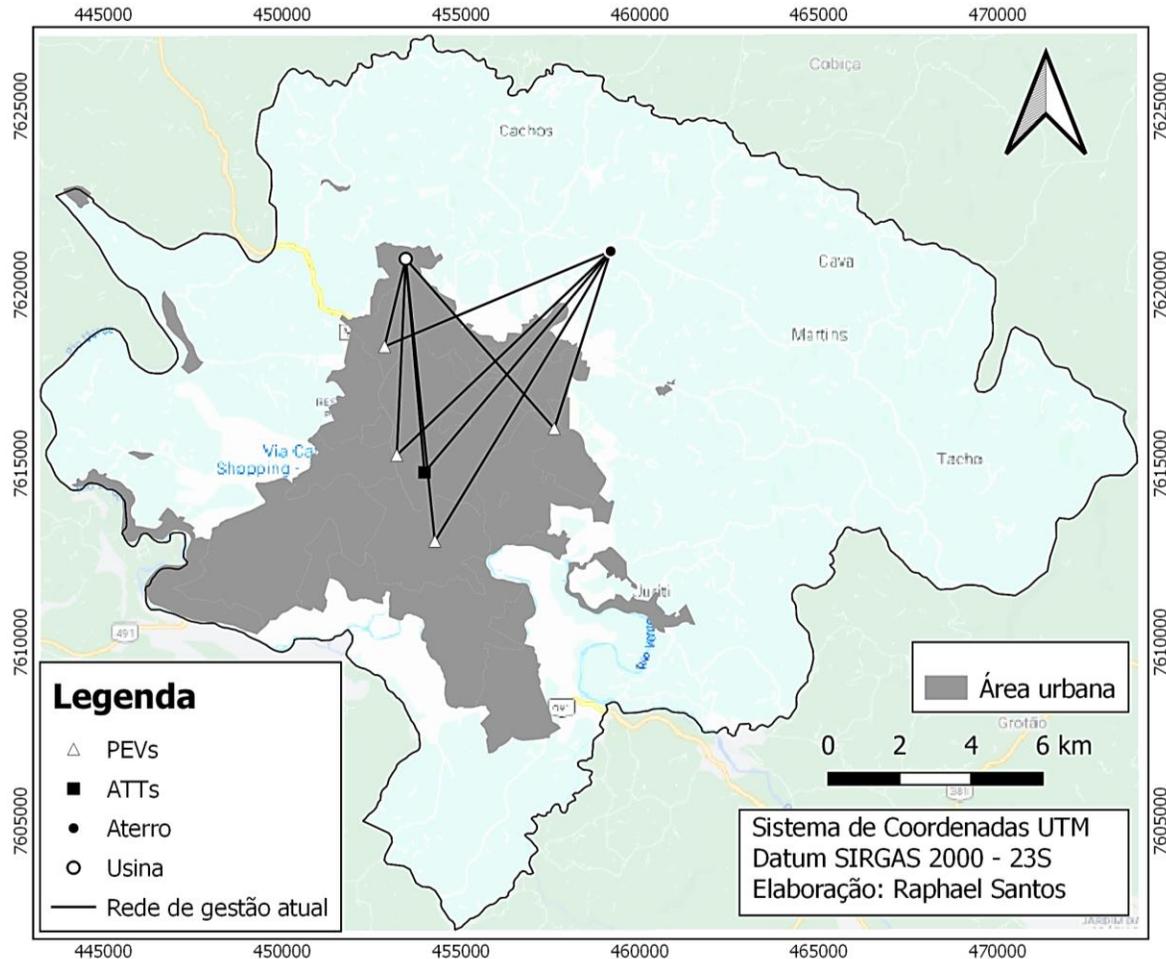


Figura 46: Rede de gestão de RCD para cenário atual proposta.

Para o cálculo das distâncias das retas que formam a rede de gestão de RCD, foi utilizada a ferramenta calculadora de campo e criado um novo item na tabela de atributos e inserida a função $\$length$.

A partir da aplicação desta função no QGis, também foi possível calcular o comprimento de cada uma das retas de forma isolada. A Figura 47 demonstra a utilização das referidas ferramentas.

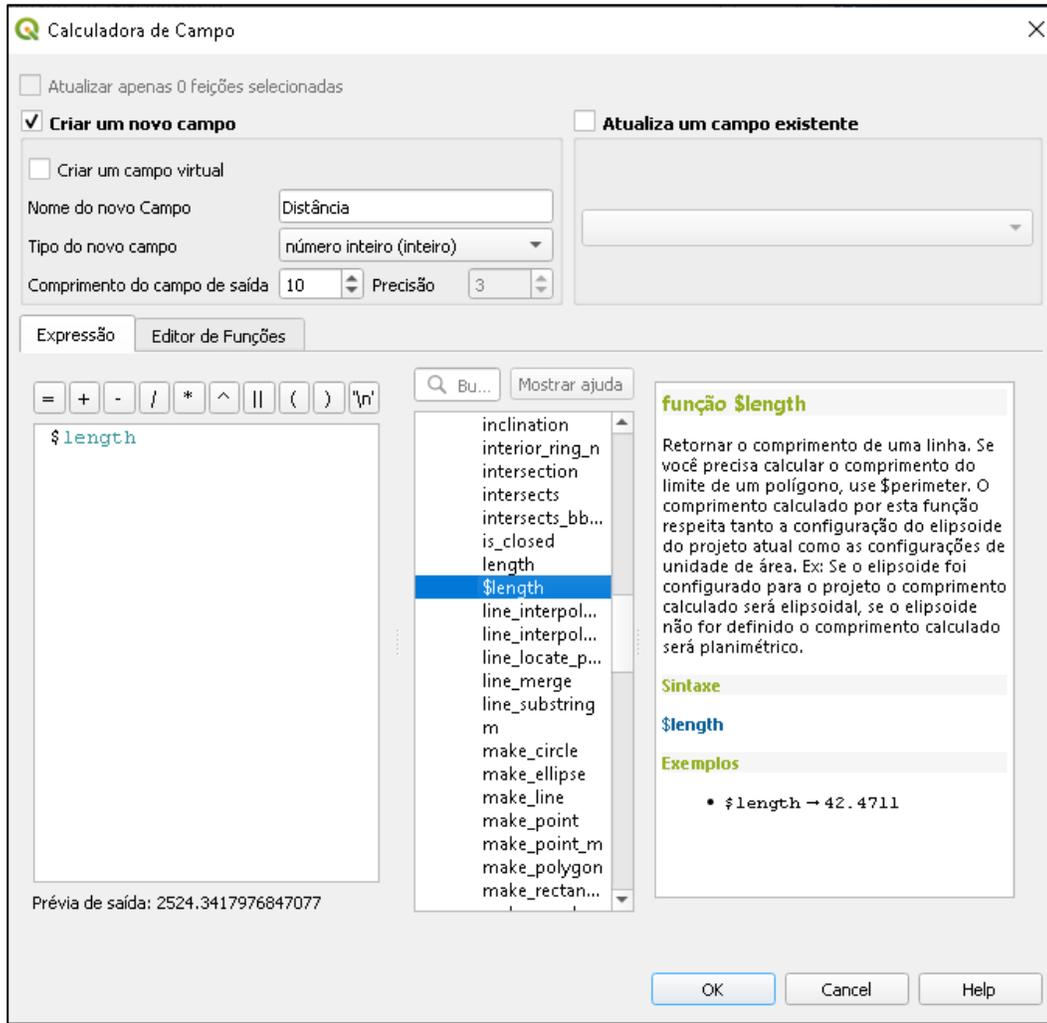


Figura 47: Ferramenta \$length para cálculo das distâncias das retas.

A distância de cada uma das retas é apresentada na Tabela 19 abaixo:

Tabela 19: Distâncias das retas que formam a rede de gestão de RCD.

Reta	Descrição (ponto inicial / ponto final)	Distância (m)
1	PEV 1 / Usina de reciclagem	2.524
2	PEV 1 / Aterro sanitário	6.864
3	PEV 2 / Usina de reciclagem	5.501
4	PEV 2 / Aterro sanitário	8.269
5	PEV 3 / Usina de reciclagem	7.946
6	PEV 3 / Aterro sanitário	9.490
7	PEV 4 / Usina de reciclagem	6.311
8	PEV 4 / Aterro sanitário	5.209
9	ATT / Usina de reciclagem	5.999
10	ATT / Aterro sanitário	8.088
Somatório		66.201

O somatório das distâncias das retas que compõem a rede de gestão de RCD é de 66.201 metros, sendo 22.292 metros a distância entre os PEVs e a usina de reciclagem, 29.832 metros entre os PEVs e o aterro sanitário; além de 5.999 metros e 8.088 metros as distâncias entre a ATT e a usina de reciclagem e o aterro sanitário, respectivamente.

Sendo assim, foi possível gerar a Tabela 20, que contém os principais fatores relacionados à rede de gestão atual proposta, e que serão analisados e comparados no item 4.5 com a rede de gestão para o cenário futuro.

Tabela 20: Principais fatores relacionados à rede de gestão de RCD atual proposta.

Quantidade de RCD gerado (t) no ano referência	39.940
Número de vértices na rede de gestão	7
Número de ramos (retas) na rede de gestão	10
Número de PEVs proposto	4
Número de ATTs proposto	1
Somatório das distâncias (km) dos PEVs à usina de reciclagem	22,29
Distância (km) da ATT à usina de reciclagem	5,99
Somatório das distâncias (km) dos PEVs ao aterro sanitário	29,83
Distância (km) da ATT ao aterro sanitário	8,09

4.5 Rede de gestão de RCD para o cenário futuro (ano 2040)

Para a proposição da rede de gestão de RCD futura, foram mapeados os principais vetores de expansão do município, utilizando o plano diretor como referência para definir as áreas propícias à verticalização e ao crescimento horizontal.

As áreas classificadas como as mais favoráveis à verticalização foram a Zona de Adensamento Controlado (ZAC) e Zona Consolidada Adensada (ZCA), conforme relatado na metodologia. Em relação ao crescimento horizontal, foram definidas a Zona de Adensamento Preferencial (ZAP), Zona de Adensamento Restrito (ZAR) - apenas nos vetores de expansão indicados no plano diretor, Zona Econômica (ZE) e Zona de Interesse Social (ZEIS).

Cabe ressaltar que as zonas ZEP, ZIA, ZICT, ZPAM, ZR e ZUE não foram consideradas para o desenvolvimento da rede de gestão futura em função de suas limitações construtivas, como a presença de aeroporto, prédios históricos e áreas de proteção ambiental, dentre outros.

Uma vez que as zonas apresentam descontinuidades, foi necessário utilizar a ferramenta “Vetor > Geometria > Centroides” para a definição do centro de gravidade de cada área representativa da zona. Na Figura 48 é apresentada a aba do recurso descrito acima.

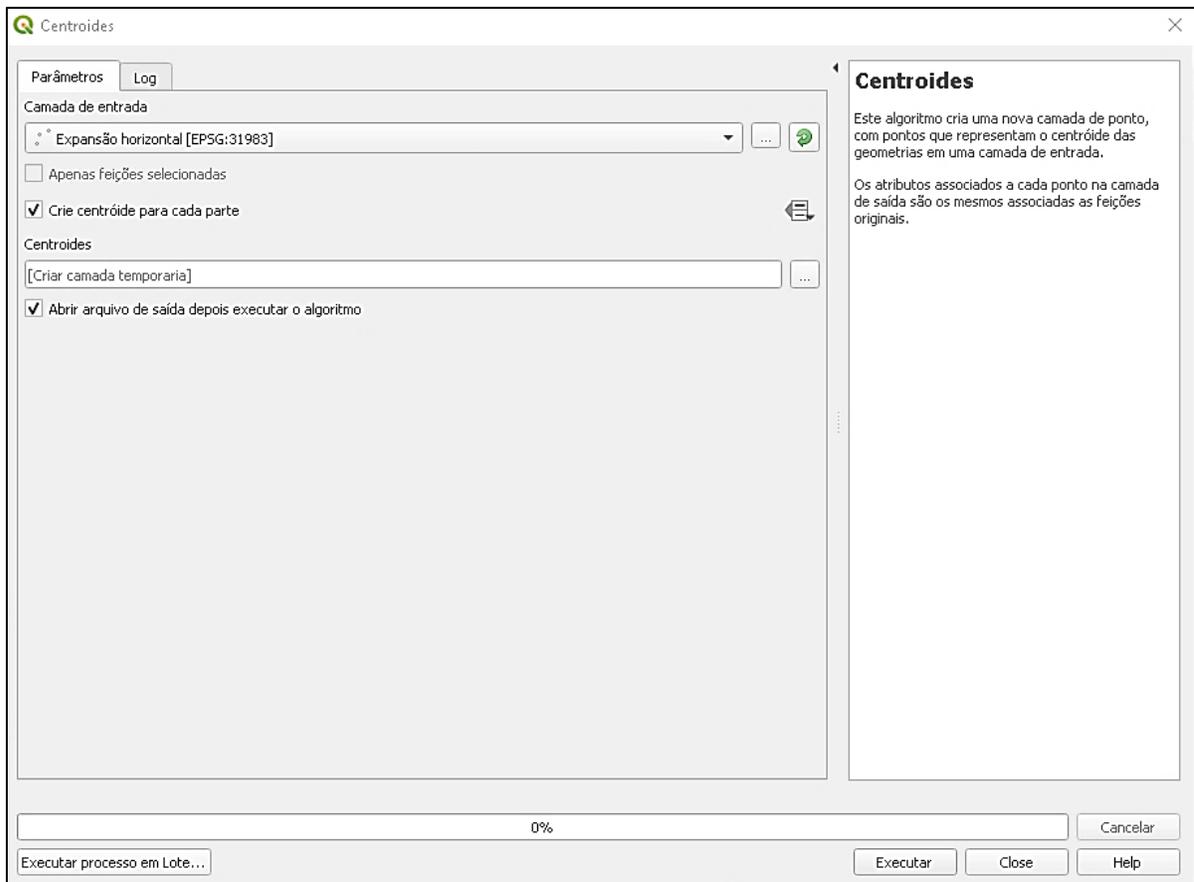


Figura 48: Ferramenta centróide aplicada nas zonas do município.

Desta forma, foi possível gerar o mapa (Figura 49) contendo os pontos de localização dos principais vetores de expansão do município, tanto para a verticalização quanto para a expansão horizontal.

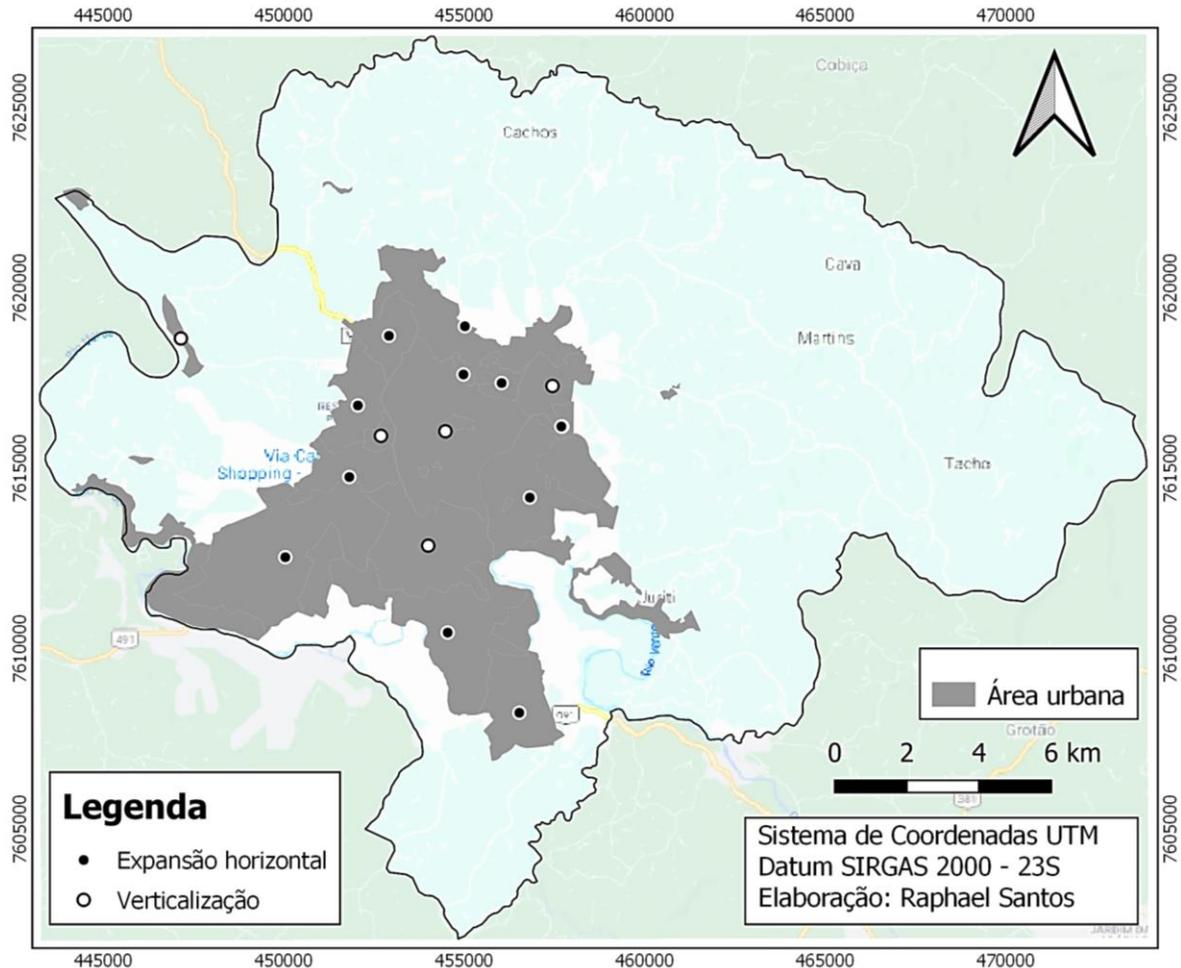


Figura 49: Principais locais propícios à verticalização e expansão urbana do município.

Da mesma maneira que na proposição das infraestruturas da rede de gestão de RCD atual, foram gerados *buffers*, porém, neste caso, apenas com raio de 2000 m para cada ponto propício à expansão urbana, seja para verticalização ou crescimento horizontal. A opção por utilizar raio de influência de 2000 m foi em função de ser uma distância média recomendada por Pinto e Gonzáles (2005) e Paz *et al.* (2018) para o deslocamento dos pequenos coletores. Desta forma, a função densidade de Kernel foi utilizada para definir cinco classes de aptidão (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta) para instalação dos PEVs e ATTs.

Os locais com maior possibilidade de verticalização foram considerados mais favoráveis à implantação de ATTs (em função de apresentarem a construção de grandes obras e maior geração de RCD). Já nos locais de maior propensão ao crescimento horizontal foi considerada mais apropriada a implantação de PEVs para atendimento dos pequenos geradores.

Foram utilizados os mesmos recursos descritos no tópico 4.4 para gerar os mapas contendo as classes de aptidão para implantação dos PEVs e ATTs da rede de gestão futura. Estes mapas são apresentados nas Figuras 50 e 51, respectivamente.

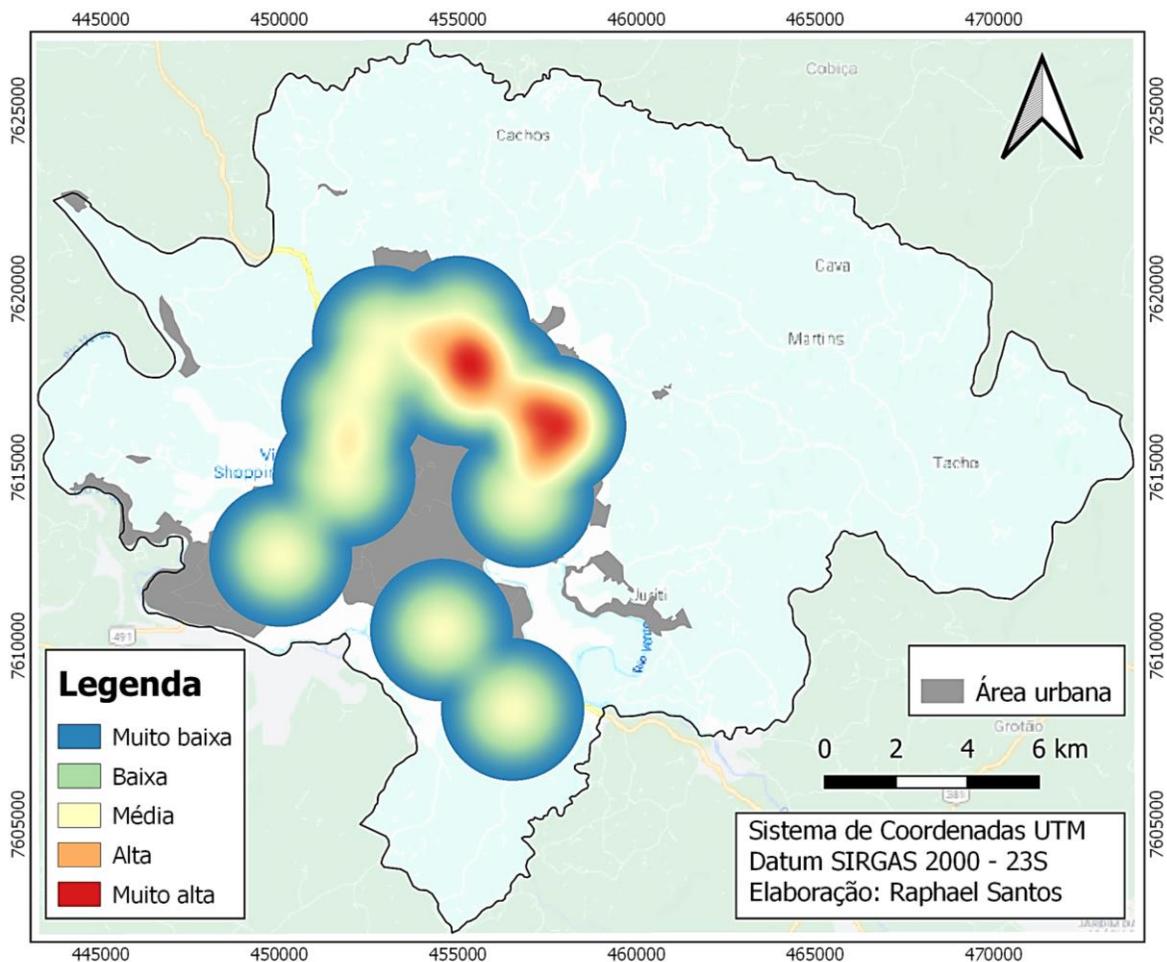


Figura 50: Classes de aptidão para implantação de PEVs da rede futura.

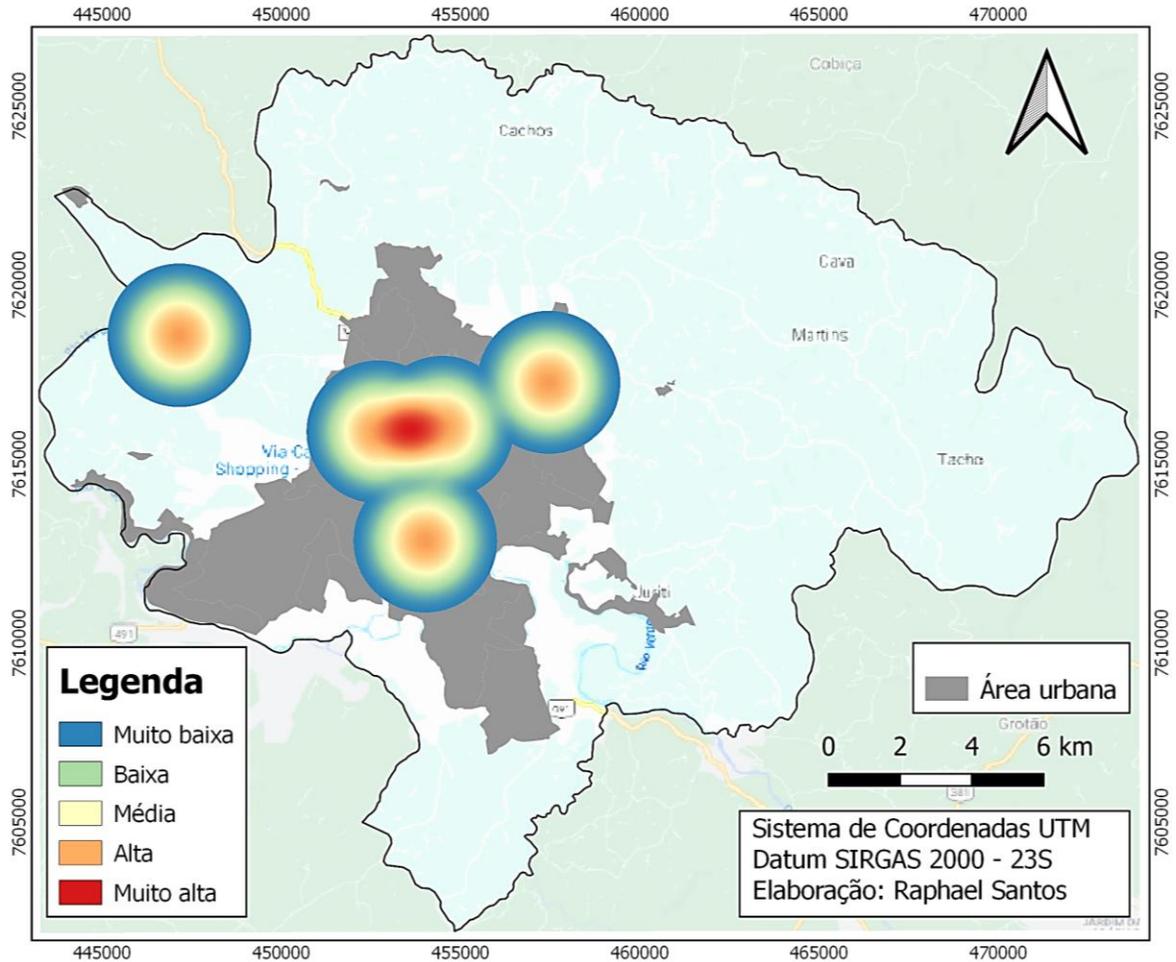


Figura 51: Classes de aptidão para implantação de ATTs da rede futura.

Após o desenvolvimento dos mapas de aptidão para implantação de PEVs e ATTs, visando a verificação se o raio de abrangência de 2000 metros era adequado para aplicação nesta pesquisa, foi utilizada a densidade de Kernel novamente com *buffers* variados entre 500 e 3000 metros.

Desta forma, foi possível constatar que para raios pequenos (menores que 2 km) não haveria áreas de aptidão com classificação “muito alta”, comprometendo a proposição dos locais para implantação das infraestruturas que iriam compor a rede de gestão futura. Já os *buffers* maiores que 2 km extrapolariam os limites do município e também não permitiriam a proposição dos locais para implantação das infraestruturas. Sendo assim, verificou-se que o raio de influência definido na metodologia era adequado para aplicação nesta pesquisa.

De maneira similar à rede de gestão atual, o número de PEVs e ATTs que compõe a rede de gestão futura também foi calculado aplicando as Equações 10 e 11, respectivamente. Os valores da variável RCD_{ano} foram obtidos por meio da aplicação do modelo de geração de RCD proposto nesta pesquisa.

O número de PEVs e ATTs calculado nesta pesquisa para a rede de gestão futura, em comparação com o método desenvolvido por Paz *et al.* (2018) e com o manual para implantação de sistema de gestão de resíduos de construção civil em consórcios públicos, pode ser visualizado na Tabela 21. No cálculo do número de infraestruturas propostas pelo Manual MMA, foi considerada a projeção da população para o ano de 2040 (obtida nesta pesquisa) e uma regressão linear envolvendo o número de PEVs e ATTs para determinada população.

Tabela 21: Número de PEVs e ATTs definidos para a rede de gestão futura nas diferentes referências.

	Número de PEVs	Número de ATTs
Esta pesquisa	6	1
Paz <i>et al.</i> (2018)	6	-
Manual MMA (2010)	7	2

Sendo assim, após a definição do número de PEVs e ATTs e do desenvolvimento dos mapas de aptidão de classes, partiu-se para a proposição da rede de gestão de RCD futura para o município de Varginha. A referida rede de gestão contemplou o aterro sanitário e usina de reciclagem existentes na cidade, e também infraestruturas para atendimento do pequeno (PEVs) e grande gerador (ATT) nos locais de aptidão relevante para a implantação dos mesmos.

Para a definição da Área de Triagem e Transbordo da rede futura, foi considerado o centro do local de aptidão “muito alta”, uma vez que foi calculado apenas 1 (um) ATT para compor a rede de gestão futura. Já para a definição dos locais para a implantação dos PEVs, em função da limitação de áreas com aptidão “muito alta”, optou-se por concentrar 3 (três) PEVs nos locais de aptidão “muito alta” e “alta”, e localizar os outros 3 (três) PEVs, de forma distribuída, nas áreas de aptidão “média”, de modo a abranger a maior área possível dos PEVs propostos.

Desta forma, foram selecionados 6 (seis) locais para receberem os Pontos de Entrega Voluntária e 1 ponto para receber a Área de Triagem e Transbordo, conforme definido no cálculo do número de infraestruturas (PEVs e ATTs) da rede de gestão de RCD futura.

Na Tabela 22 são apresentadas as coordenadas UTM dos locais propostos em conjunto com as infraestruturas existentes no município (aterro sanitário e usina de reciclagem).

Tabela 22: Coordenadas UTM das infraestruturas da rede de gestão de RCD futura.

Infraestrutura	Coordenada UTM SIRGAS 2000 Zona 23 S	
	Longitude UTM	Latitude UTM
Usina de reciclagem	453449,29	7620729,15
Aterro sanitário	459178,54	7620941,95
PEV 1	455512,32	7618486,57
PEV 2	455610,34	7617175,38
PEV 3	457656,37	7616085,24
PEV 4	455598,08	7609273,30
PEV 5	450403,36	7613022,31
PEV 6	452020,59	7616207,75
ATT	453662,32	7615987,22

Após inserir as coordenadas apresentadas na tabela acima, foi gerado o mapa (Figura 52) com as infraestruturas que compõem a rede de gestão futura proposta.

Novamente, assim como na proposição da rede de gestão de RCD atual, foi utilizado o recurso *linestring* para gerar as retas entre as coordenadas das infraestruturas propostas (PEVs e ATT) e as coordenadas da usina de reciclagem e do aterro sanitário. Deste modo, cada um dos 6 (seis) PEVs e a ATT propostos foram unidos por segmentos de retas à usina de reciclagem e ao aterro sanitário. Na Figura 53 é possível ver o arquivo de texto utilizado para a importação das retas no QGIS.

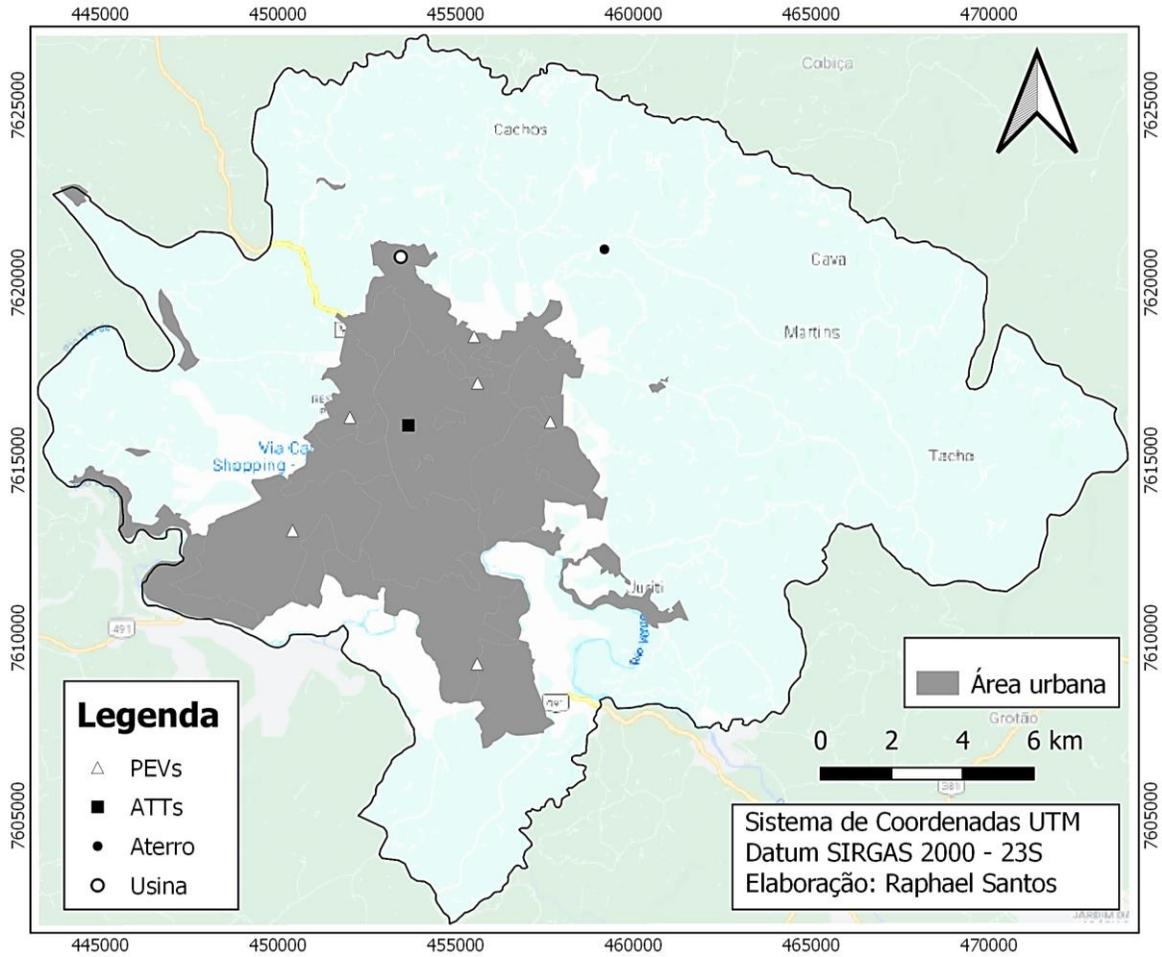


Figura 52: Localização das infraestruturas da rede de gestão de RCD futura proposta.

Rede de gestão futura - Bloco de Notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

REDE DE GESTÃO DE RCD FUTURA

LINestring (455512.32 7618486.57, 453449.29 7620729.15)	line 1
LINestring (455512.32 7618486.57, 459178.54 7620941.95)	line 2
LINestring (455610.34 7617175.38, 453449.29 7620729.15)	line 3
LINestring (455610.34 7617175.38, 459178.54 7620941.95)	line 4
LINestring (457656.37 7616085.24, 453449.29 7620729.15)	line 5
LINestring (457656.37 7616085.24, 459178.54 7620941.95)	line 6
LINestring (455598.08 7609273.30, 453449.29 7620729.15)	line 7
LINestring (455598.08 7609273.30, 459178.54 7620941.95)	line 8
LINestring (450403.36 7613022.31, 453449.29 7620729.15)	line 9
LINestring (450403.36 7613022.31, 459178.54 7620941.95)	line 10
LINestring (452020.59 7616207.75, 453449.29 7620729.15)	line 11
LINestring (452020.59 7616207.75, 459178.54 7620941.95)	line 12
LINestring (453662.32 7615987.22, 453449.29 7620729.15)	line 13
LINestring (453662.32 7615987.22, 459178.54 7620941.95)	line 14

Figura 53: Arquivo de texto para geração das retas da rede de gestão de RCD futura.

Na Figura 54 pode ser visualizada a rede de gestão de RCD proposta para o cenário futuro.

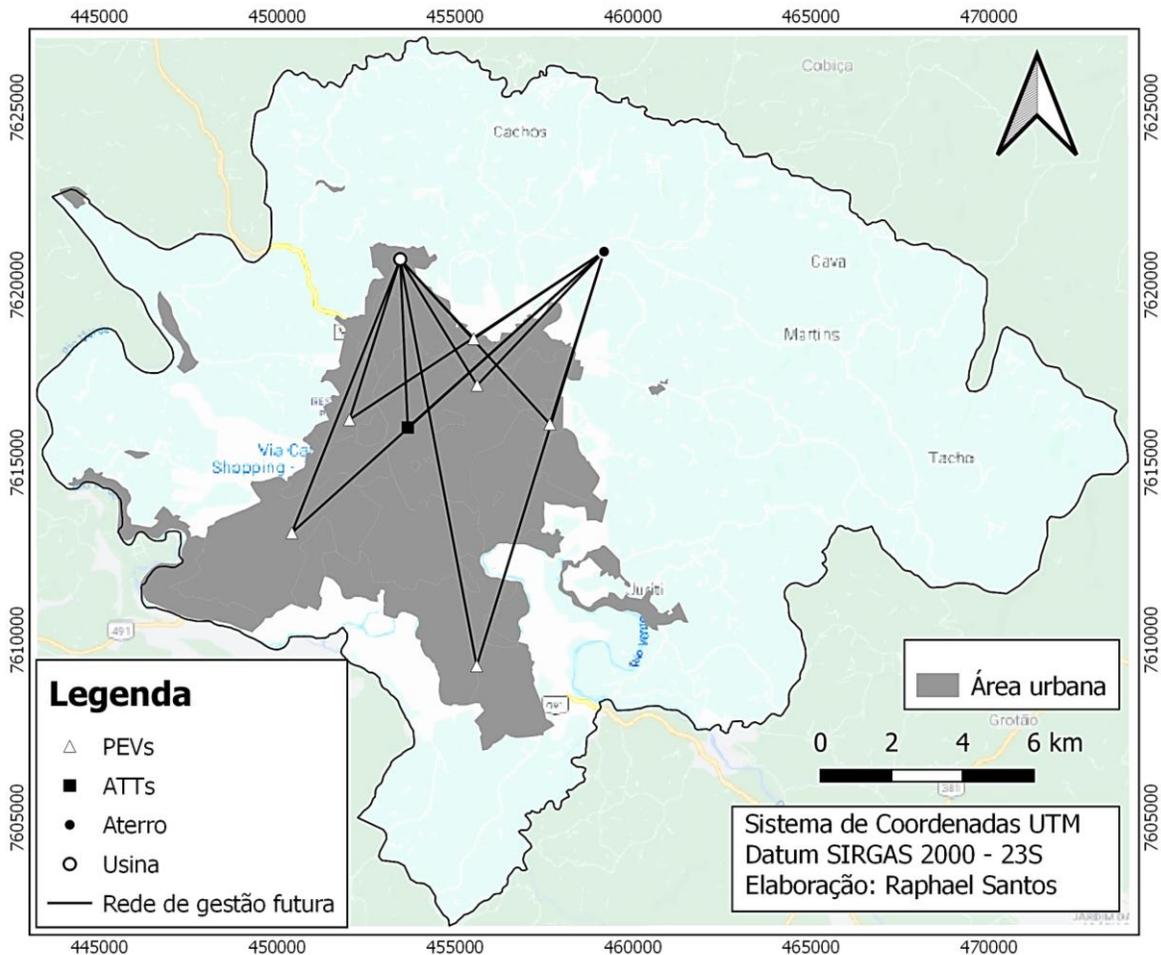


Figura 54: Rede de gestão de RCD para cenário futuro proposta.

Para calcular as distâncias dos segmentos de reta que formam a rede de gestão de RCD futura, foi utilizada a função $length$ presente na ferramenta calculadora de campo. Por meio da aplicação desta função, disponível no QGIS, foi calculada a distância total das retas e ainda o comprimento individual de cada uma das retas que compõem a rede de gestão proposta.

Na Tabela 23 é possível verificar a distância de cada uma das 14 (quatorzes) retas presentes na rede de gestão de RCD futura.

Tabela 23: Distâncias das retas que formam a rede de gestão de RCD futura.

Reta	Descrição (ponto inicial / ponto final)	Distância (m)
1	PEV 1 / Usina de reciclagem	3.048
2	PEV 1 / Aterro sanitário	4.414
3	PEV 2 / Usina de reciclagem	4.161
4	PEV 2 / Aterro sanitário	5.190
5	PEV 3 / Usina de reciclagem	6.269
6	PEV 3 / Aterro sanitário	5.092
7	PEV 4 / Usina de reciclagem	11.660
8	PEV 4 / Aterro sanitário	12.210
9	PEV 5 / Usina de reciclagem	8.290
10	PEV 5 / Aterro sanitário	11.825
11	PEV 6 / Usina de reciclagem	4.744
12	PEV 6 / Aterro sanitário	8.585
13	ATT / Usina de reciclagem	4.748
14	ATT / Aterro sanitário	7.418
Somatório		97.654

Verifica-se que a distância total da rede de gestão de RCD futura é de 97.654 metros, dos quais 38.172 metros representa a distância entre os PEVs e a usina de reciclagem, e 47.316 metros entre os PEVs e o aterro sanitário. Em relação às distâncias entre a ATT proposta e a usina de reciclagem e o aterro sanitário, observam-se valores de 4.748 e 7.418 metros, respectivamente.

As principais grandezas relacionadas à rede de gestão futura proposta podem ser verificadas na Tabela 24.

Tabela 24: Principais fatores relacionados à rede de gestão de RCD futura proposta.

Quantidade de RCD gerado (t) no ano referência	47.238
Número de vértices na rede de gestão	9
Número de ramos (retas) na rede de gestão	14
Número de PEVs proposto	6
Número de ATTs proposto	1
Somatório das distâncias (km) dos PEVs à usina de reciclagem	38,17
Distância (km) da ATT à usina de reciclagem	4,75
Somatório das distâncias (km) dos PEVs ao aterro sanitário	47,32
Distância (km) da ATT ao aterro sanitário	7,42

Cabe destacar que para a rede de gestão de RCD futura, da mesma forma que foi feito para a rede atual, foram avaliados os locais propostos para a implantação das infraestruturas, de modo a verificar o entorno da região para selecionar terrenos compatíveis e adequados para a instalação de PEVs e ATTs. Os terrenos selecionados para implantação do PEV1 e ATT da rede futura podem ser visualizados nas Figuras 55 e 56, respectivamente.



Figura 55: Local proposto para implantação do PEV1 da rede futura.

Observa-se na Figura 55 que o local proposto para implantação do PEV1 da rede futura está localizado no limite da área do urbana do município (região norte), todavia, já é possível verificar na imagem retirada do *Google Earth* a abertura de loteamentos que demandaram a construção de residências, promovendo o crescimento horizontal do município, e conseqüentemente a geração de RCD.

Um aspecto que precisa ser avaliado no momento da relocação das infraestruturas de gestão de RCD é a disponibilidade e valor dos terrenos para a implantação das mesmas (algo que não foi avaliado nesta pesquisa). Entretanto, ressalta-se que os benefícios ambientais e sociais (e não apenas os econômicos) devem ser considerados para a implantação de uma rede de gestão de resíduos de construção

e demolição eficiente. Além disto, recursos financeiros que seriam utilizados com ações reativas, como por exemplo coleta/transporte dos resíduos de deposições irregulares e custo de aterro, poderiam ser relocados para a implantação/operação/manutenção das infraestruturas que compõem a rede de gestão de RCD do município.



Figura 56: Local proposto para implantação da ATT da rede futura.

Ressalta-se que há possibilidade de alteração da rede futura proposta, bem como as localizações das infraestruturas que a compõem em função de uma análise transitória que verifique aspectos como os custos de relocação das infraestruturas, custos de transporte e também aspectos relacionados à reserva de espaço/área.

4.6 Análise das redes de gestão de RCD propostas

A partir das proposições das redes de gestão de RCD atual e futura, tendo como referências os anos de 2020 e 2040, respectivamente, foi possível analisar as alterações promovidas pela expansão do município e pelo aumento do quantitativo de RCD gerado.

Na Tabela 25 são apresentados os principais parâmetros utilizados nesta análise das redes de gestão de RCD propostas.

Tabela 25: Comparativo dos parâmetros das redes de gestão de RCD propostas.

	Rede atual (2020)	Rede futura (2040)	Variação (%)
Quantidade de RCD gerado (t) no ano referência	39.940	47.238	18,27
Número de vértices na rede de gestão	7	9	28,57
Número de ramos (retas) na rede de gestão	10	14	40,00
Número de PEVs propostos	4	6	50,00
Número de ATTs propostos	1	1	0,00
Somatório das distâncias (km) dos PEVs à usina de reciclagem	22,29	38,17	71,24
Distância (km) média dos PEVs à usina de reciclagem	5,57	6,36	14,18
Distância (km) da ATT à usina de reciclagem	5,99	4,75	-20,70
Somatório das distâncias (km) dos PEVs ao aterro sanitário	29,83	47,32	58,63
Distância (km) média dos PEVs ao aterro sanitário	7,46	7,89	5,76
Distância (km) da ATT ao aterro sanitário	8,09	7,42	-8,28

Observa-se que o aumento do quantitativo de RCD gerado no ano referência, obtido por meio da aplicação do modelo de previsão de geração de RCD, foi determinante para a alteração dos parâmetros analisados nas redes de gestão de RCD propostas.

Por meio da aplicação do modelo de previsão de geração de RCD (Equação 12) foi antevisto aumento de 18,27% no quantitativo de resíduos de construção e demolição gerado no município entre os anos de 2020 e 2040. Uma vez que a quantidade de RCD gerado foi a variável utilizada nesta pesquisa para a definição do número de PEVs e ATTs propostos nas redes de gestão de RCD (Equações 10 e 11), este crescimento na geração dos resíduos promoveu o aumento do número de infraestruturas definidas para as redes de gestão propostas, quando comparados os cenários atual com o futuro.

O número de PEVs subiu de 4 (quatro) para 6 (seis), enquanto o número de ATTs se manteve o mesmo. Este aumento no quantitativo de PEVs proporcionou também um crescimento no número de vértices (de 7 para 9) e de retas (de 10 para 14), em relação à rede de gestão de RCD atual proposta. Tendo em vista que o número de PEVs teve aumento de 50% também foi verificado crescimento das distâncias lineares que ligam os PEVs à usina de reciclagem (aumento de 71,24%) e ao aterro sanitário (58,63% maior em relação à rede atual). A manutenção da localização da usina de reciclagem de RCD e aterro contribuíram para o aumento destas distâncias totais. Também foi possível observar que as distâncias médias entre os PEVs - usina de reciclagem (de 5,57 km para 6,36 km) e PEVs - aterro sanitário (de 7,46 km para 7,89 km) também tiveram aumento de 14,18% e 5,76%, respectivamente.

Em relação às alterações das distâncias lineares entre as ATTs e a usina de reciclagem e aterro sanitário, nota-se um decréscimo de -20,70% e 8,28%, respectivamente. Apesar de o número de ATT proposto nesta tese se manter nas duas redes de gestão sugeridas, é possível verificar que houve um deslocamento da ATT proposta para a rede futura para um local mais próximo da usina de reciclagem e aterro sanitário, em função de uma maior concentração das obras de grande porte.

Em relação aos PEVs, esta análise é complexa e não factível, em virtude do aumento do número e também das alterações de localização dos mesmos, se comparadas as redes atual e futura, visando melhor atender aos pequenos geradores de resíduos.

Tão importante quanto a análise numérica das redes de gestão de RCD propostas é a apreciação visual das alterações ocorridas ao se considerar os anos de 2020 (cenário atual) e 2040 (cenário futuro). Desta forma, foi desenvolvida a Figura 57, que expõe lado a lado as duas redes de RCD desenvolvidas nesta pesquisa.

Nota-se, por meio da análise visual dos mapas desenvolvidos para a rede de gestão de RCD atual e futura, que houve uma ampliação da área de projeção da rede na área urbana do município (região acinzentada dos mapas), quando comparados os cenários.

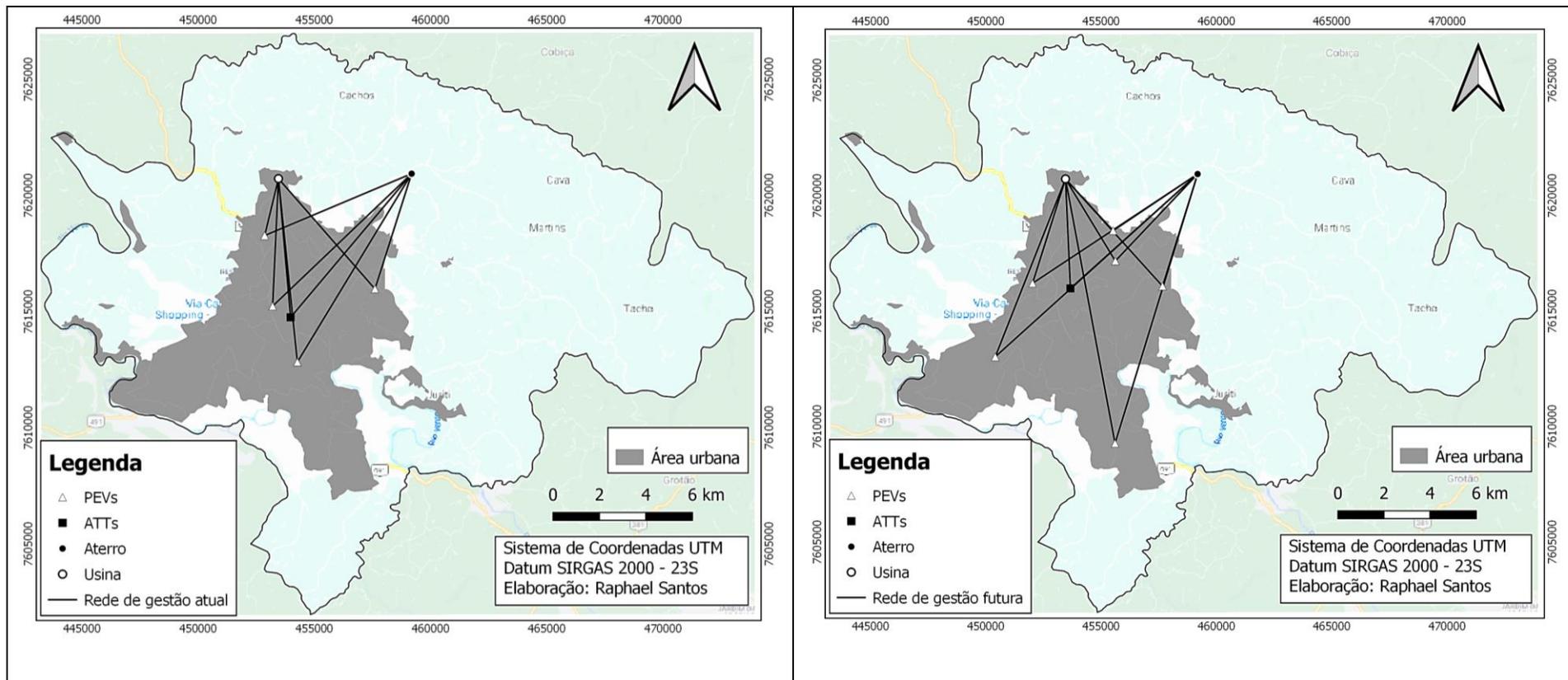


Figura 57: Redes de gestão de RCD atual e futura propostas.

Também é possível observar que as infraestruturas propostas na rede de gestão de RCD futura atendem a uma área maior do município. Além disto, é possível verificar que áreas do município localizadas nas regiões sul e sudoeste da área urbana (destacada na cor cinza nos mapas), que não dispunham de PEVs na rede atual proposta, passaram a ter esta infraestrutura na rede futura, em função de serem vetores de expansão da cidade.

Além disto, também pode ser verificado outro vetor de crescimento do município, obtido a partir do plano diretor, sendo necessária, inclusive, a locação de 2 (dois) PEVs para o local: a região localizada ao norte. As áreas nordeste e noroeste tiveram mantidos PEVs para o seu atendimento, todavia, houve um deslocamento destas infraestruturas nestes locais.

Em relação à ATT, observa-se que, embora tenha ocorrido o deslocamento da mesma (1.272 metros lineares entre a localização da rede atual e da rede futura), esta infraestrutura foi proposta em uma mesma região (centro-oeste) nas duas redes de gestão propostas. Trata-se de uma área localizada próxima ao shopping do município e que ainda possui grande disponibilidade de terrenos sem construção. O fato de a ATT ter sido proposta nesta região em ambos os casos é um indicativo de que o local será um foco de geração de resíduo de construção pelos próximos anos devido às suas obras de grande porte.

Importante destacar que as localizações das infraestruturas já implantadas no município (usina de reciclagem de RCD e aterro) não foram objeto de análise nesta pesquisa, optando-se por mantê-las nas redes atual e futura. Ademais, a usina de reciclagem implantada no município possui área que permite a ampliação da sua capacidade de reciclagem para acima de 60 toneladas por hora, conforme definido por Jadovski (2005); além disto, apresenta distância superior a 800 metros de área residencial com densidade elevada, conforme apresentado na Figura 58, o que pode evitar a aversão da população em relação ao seu local de operação (aspecto conhecido como NIMBY –“Not in My Back Yard” (LOBER e GREEN, 1994), que em tradução literal seria equivalente a “Não no meu quintal”).



Figura 58: Entorno da usina de reciclagem de Varginha / MG.

Portanto, a partir da análise gráfica e da tabela contendo os principais parâmetros relacionados às redes de gestão de RCD propostas para o cenário atual e futuro, fica evidente as alterações promovidas nas redes propostas, provocadas, sobretudo, pelo aumento do quantitativo de RCD gerado e pela expansão urbana do município.

5. CONCLUSÕES

Conforme analisado, a partir da revisão da literatura realizada nesta pesquisa, embora tenham sido desenvolvidos estudos com o objetivo de prever a geração de resíduos de construção e demolição ou propor a localização de infraestruturas de uma rede de gestão de RCD; havia uma lacuna a ser explorada: o desenvolvimento de um modelo de previsão de geração de RCD que permitisse propor redes de gestão destes resíduos em um cenário atual e suas possíveis alterações provocadas pelo aumento do quantitativo de resíduo gerado e pela expansão urbana dos municípios.

Embora reconheça-se a contribuição científica dos estudos consultados na revisão bibliográfica, observa-se que eles não exploraram a lacuna citada. A evolução nas aplicações de modelos de previsão enfrenta grandes desafios, relacionados principalmente à ausência de dados estatísticos da geração de RCD, algo que não é exclusividade do Brasil. Melhorias nestes aspectos somados à proposição de redes contendo infraestruturas bem localizadas permitem a realização da gestão adequada dos resíduos de construção e demolição, de modo a confirmar a relevância desta tese ao desenvolver um modelo de previsão de geração do RCD para propor rede de gestão eficiente no cenário atual, e ainda, realizar ajustes de localização das infraestruturas (PEVs e ATTs) que compõem a rede ao aplicar o modelo aqui proposto para um panorama futuro.

Optou-se por restringir a aplicabilidade do modelo às cidades de médio porte populacional, uma vez que representam um grande percentual em relação ao número total de municípios no Brasil e também possuem alta taxa de crescimento populacional, sendo necessário melhorar a gestão do RCD nesta tipologia de município.

Portanto, esta pesquisa desenvolveu modelo de previsão de geração de resíduos de construção e demolição, utilizando como variáveis independentes os dados disponíveis da expansão urbana, PIB e PIB per capita para estudo de caso no município de Varginha / MG. O modelo de previsão desenvolvido apresentou coeficiente de determinação de 0,880, indicando 88% de variância da geração de

RCD a partir das variáveis independentes em um modelo linear. Também foi possível verificar uma correlação positiva muito forte entre as variáveis independentes e a geração de RCD (variável dependente), tendo em vista que a modelagem apresentou coeficiente de Person de 0,938.

Os resultados da aplicação do modelo de previsão da geração de RCD indicaram que serão geradas 47.238 toneladas de resíduos deste tipo no ano de 2040 (cenário futuro) no município de Varginha / MG, representando um aumento de 18,27% em relação ao ano de 2020 (panorama atual) e de 41,92% em relação a 2000. A aplicabilidade do modelo de previsão em outras cidades de médio porte populacional foi constatada ao comparar os valores de RCD quantificados por outros autores em suas pesquisas em municípios desta tipologia, com a previsão de geração de RCD calculada pelo modelo desenvolvido neste estudo.

O crescimento de 18,27% no quantitativo de RCD gerado no município entre os anos de 2020 e 2040 promoveu o aumento do número de PEVs propostos, proporcionando crescimento das distâncias lineares das retas que ligam os PEVs à usina de reciclagem e ao aterro sanitário. Também houve crescimento do número de vértices e de retas quando comparadas as redes de gestão atual e futura. Todavia, o número de ATTs definidas nesta pesquisa não sofreu alteração entre as duas redes, sendo proposta 1 (uma) ATT em ambos os casos (cenários atual e futuro).

A partir da análise visual das redes de gestão de RCD (atual e futura), pode-se concluir que as infraestruturas propostas na rede de gestão de RCD futura atendem a uma área de abrangência maior do município. Também é possível concluir que áreas localizadas nas regiões sul e sudoeste da área urbana do município, que não dispunham de PEVs na rede atual proposta, passaram a ter esta infraestrutura na rede futura, em função de serem vetores de expansão da cidade; algo que também é analisado na região norte, que passou a ter 2 (dois) PEVs propostos na sua área na rede de gestão futura. Conclui-se ainda que em outras regiões, como as nordeste e noroeste, o número de PEVs foi mantido, todavia, houve um deslocamento destas infraestruturas nestas áreas.

Ainda sobre a análise visual dos mapas contendo as redes de gestão de RCD desenvolvidas, conclui-se que, embora tenha ocorrido o deslocamento da ATT proposta (1,27 km lineares entre a localização da rede atual para a rede futura), a localização desta infraestrutura se manteve em uma mesma região (centro-oeste) nas duas redes de gestão propostas. Este local abrange uma área localizada próxima ao shopping do município e que apresenta grande disponibilidade de terrenos para construção, sendo, um indicativo de que a região será um foco de geração de RCD pelos próximos anos devido às suas obras de grande porte.

Deste modo, é possível concluir, a partir da análise gráfica e da tabela contendo os principais parâmetros relacionados às redes de gestão de RCD propostas para o cenário atual e futuro, que o aumento do quantitativo de RCD gerado e a expansão urbana foram fatores que influenciaram de forma direta as alterações nas redes de gestão de RCD propostas, quando analisados os parâmetros entre as redes atual (2020 como referência) e futura (cenário de 2040).

Portanto, as duas hipóteses elencadas nesta tese, a primeira relacionada à possibilidade de proposição de redes de gestão de RCD para cenário atual e futuro a partir do modelo de previsão de geração de resíduos; e a segunda, correspondente à alteração da localização das infraestruturas entre as redes de gestão de RCD em função da expansão urbana do município foram validadas. Ademais, ressalta-se que os objetivos (geral e específicos) foram atendidos tendo em vista que os dados do município de Varginha / MG foram utilizados para o desenvolvimento do modelo de geração de RCD para municípios de médio porte populacional; e que as redes de gestão (atual e futura) destes resíduos foram propostas por meio do uso de um Sistema de Informação Geográfica livre (QGIS).

Assim, constata-se ainda que a metodologia proposta nesta pesquisa é factível e pode ser utilizada pelos gestores dos municípios de médio porte populacional, de forma, a propor redes de gestão de RCD para cenário atual ou até mesmo para projetar cenários futuro. A proposição de um novo método para previsão da geração de RCD, que envolva aspectos demográficos e socioeconômicos e, que auxilie nas

políticas de gestão dos resíduos em locais com baixa disponibilidade de dados e baixo recurso financeiro é fundamental para a gestão correta dos RCDs.

Desta forma, espera-se que o modelo desenvolvido nesta pesquisa seja aplicado em outros municípios de médio porte populacional que não dispõem de informações e/ou recursos para prever o quantitativo de RCD. Almeja-se também, que os resultados obtidos contribuam para o desenvolvimento de estratégias de gestão de RCD eficientes, sendo uma ferramenta na busca da resolução dos problemas ambientais atuais e também que permita a adoção de ações proativas para a correta gestão do RCD no cenário futuro.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados encontrados a partir desta tese, algumas questões podem ser melhor exploradas. Desta forma, sugerem-se para trabalhos futuros:

- Aplicação da rede de gestão de RCD atual proposta no município de Varginha / MG para verificação de sua eficiência em relação ao aumento das taxas de reciclagem e redução dos pontos de deposição irregular do resíduo no município;
- Implantação de levantamento de quantitativos dos resíduos de construção e demolição recebidos nas infraestruturas que compõem a rede de gestão de RCD para o desenvolvimento de série de dados de geração de RCD, e conseqüentemente, a verificação da eficiência do modelo proposto nesta pesquisa;
- Desenvolvimento de aplicativo para celular com o objetivo de proporcionar acesso à população da localização dos PEVs e ATTs, e também para auxiliar no monitoramento da rede de gestão de RCD;
- Aplicação do modelo desenvolvido em outros municípios de médio porte populacional para proposição de redes de gestão de RCD locais;
- Aprimoramento do modelo de previsão de geração de RCD com a inclusão de outras variáveis e utilização de análise de dados em painel;
- Aperfeiçoamento do método para definição da localização das infraestruturas que compõem a rede de gestão de RCD, inclusive com a realização de análise dos custos de aquisição de terrenos e implantação das infraestruturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAHI, S; PRADHAN, B. Sustainable brownfields land use change modeling using GIS-Based weights-of-evidence approach. **Applied spatial analysis and policy**, v. 9, n. 1, p. 21-38, 2016.

ADAMOWSKI, J. *et al.* Comparison of multiple linear and nonlinear regression, autoregressive integrated moving average, artificial neural network, and wavelet artificial neural network methods for urban water demand forecasting in Montreal, Canada. **Water Resources Research**, v. 48, n. 1, 2012.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Blucher, 2011. v. 5.

AHMED, R. R.; ZHANG, X. Multi-stage network-based two-type cost minimization for the reverse logistics management of inert construction waste. **Waste Management**, v. 120, p. 805-819, 2021.

AJAYI, S. O. *et al.* Critical management practices influencing on-site waste minimization in construction projects. **Waste Management**, v. 59, p. 330-339, 2017.

AKANBI, L. *et al.* Deep learning model for Demolition Waste Prediction in a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 274, p. 122843, 2020.

AKHTAR, A.; SARMAH, A. K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: a global perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 262-281, 2018.

AL-HANBALI, A. *et al.* Using GIS-based weighted linear combination analysis and remote sensing techniques to select optimum solid waste disposal sites within Mafrqa City, Jordan. **Journal of Geographic Information System**, v. 3, n. 04, p. 267, 2011.

ALASHWAL, A. M. A literature review of waste prediction models in construction projects. *In: Australasian universities building education association conference*, 43., 2019, Australia. **Anais [...]**. Australia, 2019. P. 414-425.

ALFAIA, R. G. *et al.* Municipal solid waste in Brazil: A review. **Waste Management & Research**, v. 35, n. 12, p. 1195-1209, 2017.

ALMAZROUEE, A. *et al.* Long-term forecasting of electrical loads in kuwait using prophet and holt-winters models. **Applied Sciences**, v. 10, n. 16, p. 5627, 2020.

ALRAWASHDEH, S.; SALEH, B. Satellite monitoring of urban spatial growth in the Amman area, Jordan. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 132, n. 4, p. 211-216, 2006.

ALSHARIF, A.; PRADHAN, B. Urban sprawl analysis of Tripoli Metropolitan city (Libya) using remote sensing data and multivariate logistic regression model. **Journal**

of the Indian Society of Remote Sensing, v. 42, n. 1, p. 149-163, 2014.

ALVES, C. D. *et al.* Análise dos processos de expansão urbana e das situações de vulnerabilidade socioambiental em escala intra-urbana. *In: IV ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS*, 2008, Brasília. **Anais [...]**. Brasília, 2008.

ALZAGHRINI, N. *et al.* Using GIS and optimization to manage construction and demolition waste: The case of abandoned quarries in Lebanon. **Waste Management**, v. 95, p. 139-149, 2019.

ANTANASIJEVIĆ, D. *et al.* The forecasting of municipal waste generation using artificial neural networks and sustainability indicators. **Sustainability Science**, v. 8, n. 1, p. 37-46, 2013.

ANSER, M. K. *et al.* Impact of urbanization, economic growth, and population size on residential carbon emissions in the SAARC countries. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 22, n. 4, p. 923-936, 2020.

ARCHER, B. H. Forecasting demand: quantitative and intuitive techniques. **International Journal of Tourism Management**, v. 1, n. 1, p. 5-12, 1980.

ARM, M. *et al.* How does the European recovery target for construction & demolition waste affect resource management? **Waste and Biomass Valorization**, v. 8, n. 5, p. 1491-1504, 2017.

ARMSTRONG, J. S. **Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners**. Boston, MA: Kluwer Academic, 2001.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON). **Relatório Pesquisa Setorial 2014/2015**: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.abrecon.org.br/relatorio-pesquisa-setorial-20142015/>>. Acesso em: 28 de maio de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2016**. São Paulo: Abrelpe, 2017. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2016/>>. Acesso em: 17 de maio de 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2017**. São Paulo: Abrelpe, 2018. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/>>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2018**. São Paulo: Abrelpe, 2019. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2018/>>. Acesso em:

15 de maio de 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2020**. São Paulo: Abrelpe, 2021. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso em: 11 de maio de 2022.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2021**. São Paulo: Abrelpe, 2022. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama-2021/>>. Acesso em: 11 de maio de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 10004**: Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.

_____. **ABNT NBR 15112**: Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos - Áreas de Transbordo e Triagem - Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

_____. **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: ABNT, 2004c.

_____. **ABNT NBR 15116**: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de Cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

AUGUSTO, O. **Sistemas de informações geográficas aplicados à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

AVTAR, R. *et al.* Population–urbanization–energy nexus: a review. **Resources**, v. 8, n. 3, p. 136, 2019.

BAGAEEN, S. *et al.* The role of land use change in developing city spatial models in Jordan: The case of the Irbid master plan (1970–2017). **Alexandria Engineering Journal**, v. 58, n. 3, p. 861-875, 2019.

BAI, X. *et al.* Society: Realizing China's urban dream. **Nature**, v. 509, n. 7499, p. 158-160, 2014.

BAI, Y. *et al.* How does urbanization affect residential CO2 emissions? An analysis on urban agglomerations of China. **Journal of Cleaner Production**, v. 209, p. 876-885, 2019.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**: Logística Empresarial. São Paulo: Bookman Editora, 2009.

BANIAS, G. *et al.* Assessing multiple criteria for the optimal location of a construction and demolition waste management facility. **Building and Environment**, v. 45, n. 10, p. 2317-2326, 2010.

BAPTISTA, J. V.; ROMANEL, C. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n. 2, p. 27-37, 2013.

BARRA, B. *et al.* O ecodesign como ferramenta de auxílio na gestão de resíduos de construção e demolição (RCD). *In: XIII Simpósio de Engenharia de Produção*, 2006, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2006.

BARROS, A. B. *et al.* **Análise da destinação final em áreas receptoras de resíduos da construção civil e volumosos no estado de minas gerais**. Disponível em: <http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletoPDF/III-141.pdf>. Acesso em: 11 de fevereiro de 2020.

BEHERA, M. *et al.* Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete – A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. **Construction and Building Materials**, v. 68, p. 501-516, 2014.

BERGSDAL, H. *et al.* Projection of construction and demolition waste in Norway. **Journal of Industrial Ecology**, v. 11, n. 3, p. 27-39, 2007.

BEZERRA, M. Preservação ambiental e planejamento da expansão urbana: o caso do município de Toledo. **Inter-American Development Bank**, 2013.

BHATTA, B. **Analysis of urban growth and sprawl from remote sensing data**. Springer Science & Business Media, 2010.

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) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

BING, X. *et al.* Research challenges in municipal solid waste logistics management. **Waste Management**, v. 48, p. 584-592, 2016.

BIRCH, E. L.; WACHTER, S. M. (Ed.). **Global urbanization**. University of Pennsylvania Press, 2011.

BITTENCOURT, J. R.; GIRAFFA, L. M. Modelando ambientes de aprendizagem virtuais utilizando role-playing games. *In: Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 2003, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro, 2003.

BOHNENBERGER, J. C. *et al.* Identificação de áreas para implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição com uso de análise multicritério. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 299-311, 2018.

BOISSAU, S.; CASTELLA, J. Constructing a common representation of local

institutions and land use systems through simulation-gaming and multiagent modeling in rural areas of Northern Vietnam: the SAMBA-Week methodology. **Simulation & Gaming**, v. 34, n. 3, p. 342-357, 2003.

BONNIER, A. *et al.* Examining land-use through GIS-based kernel density estimation: A re-evaluation of legacy data from the berbati-limnes survey. **Journal of Field Archaeology**, v. 44, n. 2, p. 70-83, 2019.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia ambiental**. Oficina de textos, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao09042012101719.pdf>. Acesso em: 21 de abril de 2020.

_____. **LEI Nº 12.305/2010**: Lei da Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 14 de maio de 2019.

_____. **Lei Federal nº 10.257**, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis?LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 20 abril de 2021.

_____. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Distrito Federal, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm>. Acesso em: 20 abril de 2021.

BRAVO, M. *et al.* Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants. **Construction and Building Materials**, v. 77, p. 357-369, 2015.

BRITO, J.; SILVA, R. Current status on the use of recycled aggregates in concrete: Where do we go from here? **RILEM Technical Letters**, v. 1, p. 1-5, 2016.

BRITO, F.; SOUZA, J. Expansão urbana nas grandes metrópoles: o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza. **São Paulo em perspectiva**, v. 19, n. 4, p. 48-63, 2005.

BURROUGH, P. A. *et al.* **Principles of geographical information systems**. Oxford university press, 2015.

CABRAL A. B.; MOREIRA K. M. V. **Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará. Programa Qualidade de Vida na Construção. SINDUSCON-CE. Fortaleza, 2011.

CAETANO, M. O. *et al.* Modelo de regressão linear para estimativa de geração de

RCD em obras de alvenaria estrutural. **Ambiente Construído**, v. 18, p. 309-324, 2018.

CALIJURI, M. L. *et al.* Identificação de áreas alternativas para disposição de resíduos sólidos na região do Baixo Ribeira do Iguape-SP. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 335-342, 2007.

CÂMARA, G. **Representação computacional de dados geográficos**. Curitiba: Mundogeo, 2005.

CAMARGO, M. E. *et al.* Role-playing games for capacity building in water and land management: Some Brazilian experiences. **Simulation & Gaming**, v. 38, n. 4, p. 472-493, 2007.

CARELLI, E.; MIRANDA, L. **Apostila do curso de Gestão Integrada de Resíduos da Construção Civil e operação de usina de reciclagem de entulho**. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição e Instituto Nova Ágora. São Paulo, 2013.

CASCALES, M. S. *et al.* 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, 2013.

CASTELLA, J. *et al.* Participatory simulation of land-use changes in the northern mountains of Vietnam: the combined use of an agent-based model, a role-playing game, and a geographic information system. **Ecology and Society**, v. 10, n. 1, 2005.

CAVALCANTE L. A. S. *et al.* Avaliação de Impactos Ambientais de uma Área Utilizada para Descarte de Resíduos da Construção Civil e Demolição na Cidade de Palmas – TO. *In*: IX Seminário Nacional de Resíduos Sólidos – por uma gestão integrada e sustentável, 2008, Palmas. **Anais [...]**. Palmas, 2008.

CAVALLARO, F. O. **Reciclagem de resíduos sólidos da construção civil: responsabilidades e atribuições na distribuição pós canteiro, no transporte e na triagem**. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2007.

ÇELIK, T. *et al.* Assessing the social cost of housing projects on the built environment: Analysis and monetization of the adverse impacts incurred on the neighboring communities. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 77, p. 1-10, 2019.

CEWEP, 2017. **Landfill Taxes and Bans Overview**. Confederation of European Waste-to-Energy Plants, Düsseldorf, Germany. 9 p.

CHEN, M. *et al.* Evolution and assessment on China's urbanization 1960–2010: under-urbanization or over-urbanization? **Habitat International**, v. 38, p. 25-33, 2013.

CHEN, Y. Effects of urbanization on municipal solid waste composition. **Waste Management**, v. 79, p. 828-836, 2018.

CHUNG, S. S. Projecting municipal solid waste: The case of Hong Kong SAR. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 11, p. 759-768, 2010.

COCHRAN, K.; TOWNSEND, T. G. Estimating construction and demolition debris generation using a materials flow analysis approach. **Waste Management**, v. 30, n. 11, p. 2247-2254, 2010.

COELHO, A.; BRITO, J. Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal - part I: location, materials, technology and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 39, p. 338-352, 2013.

_____. Generation of construction and demolition waste in Portugal. **Waste Management & Research**, v. 29, n. 7, p. 739-750, 2011.

COLANTONI, A. *et al.* Cities as selective land predators? A lesson on urban growth, deregulated planning and sprawl containment. **Science of the Total Environment**, v. 545, p. 329-339, 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução 307**, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, nº 136, 17 de julho de 2002.

COPQUE, A. C. S. M. *et al.* Expansão urbana e redução de áreas verdes na localidade do Cabula VI Região do miolo da cidade do Salvador, Bahia. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 15, p. 0706-0713, 2011.

CÓRDOBA, R. E. **Estudo do sistema de gerenciamento integrado de resíduos de construção e demolição do município de São Carlos-SP**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CORRAR, L. J. *et al.* **Pesquisa operacional para decisão em contabilidade e administração**. São Paulo: Atlas, p. 19-27, 2004.

CORRÊA, M. M.; ASHLEY, P. Almeida. **Desenvolvimento Sustentável, Sustentabilidade, Educação Ambiental e Educação para o Desenvolvimento Sustentável: reflexões para ensino de graduação**. 2018.

CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. 4ª edição, 2ª reimpressão. São Paulo: Editora Ática, 2000.

COSIC, I. *et al.* GIS Based Multi-criteria Analysis for Industrial Site Selection. **Procedia Engineering**, v. 69, p. 1054-1063, 2014.

CRIADO, M. *et al.* Multitemporal Analysis of Soil Sealing and Land Use Changes Linked to Urban Expansion of Salamanca (Spain) Using Landsat Images and Soil Carbon Management as a Mitigating Tool for Climate Change. **Remote Sensing**, v. 12, n. 7, p. 1131, 2020.

CUBERES, D. Sequential city growth: Empirical evidence. **Journal of Urban Economics**, v. 69, n. 2, p. 229-239, 2011.

DAHLBO, H. *et al.* Construction and demolition waste management—a holistic evaluation of environmental performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 107, p. 333-341, 2015.

DAI, E. *et al.* Modeling change-pattern-value dynamics on land use: an integrated GIS and artificial neural networks approach. **Environmental Management**, v. 36, n. 4, p. 576-591, 2005.

DAVIES, B.; DOBLE, M. The development and implementation of a landfill tax in the UK. **Addressing the economics of waste**, p. 63-80, 2004.

DAVIS, M. M. *et al.* **Fundamentos da administração da produção**. Bookman, 2001.

_____. **Fundamentals of operations management**. McGraw-Hill Ryerson, 2005.

DE FEO, G. *et al.* Definition of a multi-criteria, web-based approach to managing the illegal dumping of solid waste in Italian villages. **Environmental Technology**, v. 35, n. 1, p. 104-114, 2014.

DEFRA (Department for environment, food and rural affairs). **England Fly tipping Official Statistics April 2009 to March 2010**. 2010. Disponível em: <<http://www.defra.gov.uk/environment/waste/controls/duty.htm>>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

DELONGUI, L. *et al.* Panorama dos resíduos da construção civil na região central do Rio Grande do Sul. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, 18, 71-80, 2011.

DHIR, R. K. *et al.* **Sustainable construction materials: recycled aggregates**. Woodhead Publishing, 2019.

DIAS, A. S. **Uso de conhecimento teórico e de especialista para previsão de demanda**. 2004. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

DING, T.; XIAO, J. Estimation of building-related construction and demolition waste in Shanghai. **Waste Management**, v. 34, n. 11, p. 2327-2334, 2014.

DING, Y. *et al.* A review of China's municipal solid waste (MSW) and comparison with international regions: Management and technologies in treatment and resource utilization. **Journal of Cleaner Production**, v. 293, p. 126144, 2021.

DOAN, D. T.; CHINDA, T. Modeling construction and demolition waste recycling program in Bangkok: Benefit and cost analysis. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 12, p. 05016015, 2016.

DONG, F. *et al.* The process of peak CO2 emissions in developed economies: A perspective of industrialization and urbanization. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 141, p. 61-75, 2019.

DUAN, H. *et al.* Construction debris becomes growing concern of growing cities. **Waste Management**, v. 83, p. 1-5, 2019.

DUTTA, V. Land use dynamics and peri-urban growth characteristics: Reflections on master plan and urban suitability from a sprawling north Indian city. **Environment and Urbanization Asia**, v. 3, n. 2, p. 277-301, 2012.

DYSON, B.; CHANG, N. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. **Waste Management**, v. 25, n. 7, p. 669-679, 2005.

EP. **Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives**. 2008. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>>. Acesso em: 03 de agosto de 2020.

EPA. **Advancing sustainable materials management**. 2016. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-11/documents/2014_smmfactsheet_508.pdf>. Acesso em: 21 de janeiro de 2020.

ESA, M. R. *et al.* Strategies for minimizing construction and demolition wastes in Malaysia. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 120, p. 219-229, 2017.

EUROSTAT. **Generation and treatment of waste**. 2011. Disponível em: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-11-044/EN/KS-SF-11-044-EN.PDF>. Acesso em: 17 de novembro de 2020.

_____. **Construction and demolition waste management in Ireland**. 2015a. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/deliverables/CDW_Ireland_Factsheet_Final.pdf>. Acesso em: 04 de maio de 2022.

_____. **Construction and demolition waste management in The Netherlands**. 2015b. Disponível em:

<https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/deliverables/CDW_The%20Netherlands_Factsheet_Final.pdf>. Acesso em: 04 de maio de 2022.

_____. **Construction and demolition waste management in Denmark**. 2015c. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/deliverables/CDW_Denmark_Factsheet_Final.pdf>. Acesso em: 04 de maio de 2022.

_____. **National Accounts and GDP**. 2017a. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title¼National_accounts_and_GDP>. Acesso em: 15 de julho de 2020.

_____. **Waste Statistics in Europe**. 2017b. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/overview>>. Acesso em: 11 de maio de 2022.

_____. **Waste Statistics**. 2018. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics#Total_waste_generation>. Acesso em: 15 de julho de 2020.

FAELLA, C. *et al.* Mechanical and durability performance of sustainable structural concretes: An experimental study. **Cement and Concrete Composites**, v. 71, p. 85-96, 2016.

FANG, C. *et al.* Modeling regional sustainable development scenarios using the Urbanization and Eco-environment Coupler: Case study of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, China. **Science of the Total Environment**, v. 689, p. 820-830, 2019.

FATEMI, S.; IMANINASAB, R. Performance evaluation of recycled asphalt mixtures by construction and demolition waste materials. **Construction and Building Materials**, v. 120, p. 450-456, 2016.

FATHOLLAHI, M. *et al.* An intelligent algorithm for accurate forecasting of short-term solid waste generation. **International Journal of Data and Network Science**, v. 1, n. 2, p. 59-68, 2017.

FERNANDES, M. P. M.; FILHO, L. C. P. A model for municipal management of CDW. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 2, p. 21-38, 2017.

FERREIRA, A. R. L.; MOREIRA, H. C. **Análise Crítica da Gestão de Resíduos de Construção Civil: Estudo de caso do Município do Rio de Janeiro**. 2013. 136 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

FERREIRA, B. A. **Resíduos Sólidos de Construção Civil: análise, desafios e perspectivas em Montes Claros/MG**. 2019. 98 f. Dissertação (Mestrado em

Planejamento Urbano) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2019.

FERREIRA, M. V. G. Q; PINTO, J. C. A. **Destinação final dos resíduos produzidos em obras da construção civil na cidade de Salvador**. Salvador, 2010.

FIIC, 2017. **Situación Actual y Perspectivas de la Industria de la Construcción en los Países Integrantes de la Federación Interamericana de la Industria de la Construcción 2016-2017**. 2017. Disponível em: <https://www.fiic.la/Documentos/10.%20PRESENTACION%20EJECUTIVA%20FIIC%202016-2017_18_09_2017.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2020.

FONTOURA, L. N. J. Planejamento urbano-ambiental: o uso e ocupação do solo no Distrito Federal. **Revista Especialize**, v. 1, n. 5, p. 1-13, 2013.

FREITAS, I, M. **Os Resíduos de Construção Civil no Município de Araraquara-SP**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Universitário de Araraquara, Araraquara, 2009.

FU, P. *et al*. Multiobjective location model design based on government subsidy in the recycling of CDW. *Mathematical problems in engineering*, v. 2017, 2017.

GALLARDO, A. *et al*. Methodology to design a municipal solid waste generation and composition map: A case study. **Waste Management**, v. 34, n. 11, p. 1920-1931, 2014.

GALSTER, G. *et al*. Wrestling sprawl to the ground: defining and measuring an elusive concept. **Housing Policy Debate**, v. 12, n. 4, p. 681-717, 2001.

GAN, X. *et al*. Why sustainable construction? Why not? An owner's perspective. **Habitat International**, v. 47, p. 61-68, 2015.

GAO, Y. *et al*. Estimation methods of construction and demolition waste generation: a review. **Earth and Environmental Science**, v. 189, n. 5, p. 052050, 2018.

GENG, S. *et al*. Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 176-184, 2017.

GHINEA, C. *et al*. Forecasting municipal solid waste generation using prognostic tools and regression analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 182, p. 80-93, 2016.

GHOSE, M. K. *et al*. A GIS based transportation model for solid waste disposal - A case study on Asansol municipality. **Waste Management**, v. 26, n. 11, p. 1287-1293, 2006.

GIUSTI, L. A review of waste management practices and their impact on human health. **Waste Management**, v. 29, n. 8, p. 2227-2239, 2009.

GOEL, S. *et al.* Forecasting Solid Waste Generation Rates. In: **Modelling Trends in Solid and Hazardous Waste Management**. Singapore: Springer, 2017.

GONG, J. *et al.* The intensity change of urban development land: Implications for the city master plan of Guangzhou, China. **Land Use Policy**, v. 40, p. 91-100, 2014.

GONZÁLEZ, A. M. Interpreting sociospatial fragmentation, differential urbanization and everyday life: a critique for the Latin American debate. **GEOgraphia**, v. 22, n. 49, 2020.

GONZALEZ-COROMINAS, A.; ETXEBERRIA, M. Properties of high-performance concrete made with recycled fine ceramic and coarse mixed aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 68, p. 618-626, 2014.

GRAEML, A. R.; PEINADO, J. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.

GRAZHDANI, D. Assessing the variables affecting on the rate of solid waste generation and recycling: An empirical analysis in Prespa Park. **Waste Management**, v. 48, p. 3-13, 2015.

GROSTEIN, M. D. Metr pole e expansão urbana: a persistência de processos insustentáveis. **São Paulo em perspectiva**, v. 15, p. 13-19, 2001.

GUERRINI, F. M. *et al.* **Planejamento e controle da produ o**. Projeto e opera o de sistemas. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2014.

GUIMARÃES, D. P. *et al.* **A integra o Google Earth-SIG-Servidor de mapas e o monitoramento ambiental**. Sete Lagoas: Embrapa, 2012.

GUMEL, I. A. *et al.* Time-series satellite imagery demonstrates the progressive failure of a city master plan to control urbanization in Abuja, Nigeria. **Remote Sensing**, v. 12, n. 7, p. 1112, 2020.

GUO, H. *et al.* Dynamic simulation of coastal wetlands for Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay area based on multi-temporal Landsat images and FLUS model. **Ecological Indicators**, v. 125, p. 107559, 2021.

GUPTA, U. G.; CLARKE, R. E. Theory and applications of the Delphi technique: A bibliography (1975–1994). **Technological Forecasting and Social Change**, v. 53, n. 2, p. 185-211, 1996.

HAN, J. *et al.* Application of an integrated system dynamics and cellular automata model for urban growth assessment: A case study of Shanghai, China. **Landscape and Urban Planning**, v. 91, n. 3, p. 133-141, 2009.

HAO, J. L. *et al.* Managing construction waste on - site through system dynamics modelling: the case of Hong Kong. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 15, n. 2, p. 103-113, 2008.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. Bookman, 2007.

HE, S. *et al.* Three-dimensional urban expansion analysis of valley-type cities: A case study of chengguan district, lanzhou, China. **Sustainability**, v. 11, n. 20, p. 5663, 2019.

HIETE, M. *et al.* Matching construction and demolition waste supply to recycling demand: a regional management chain model. **Building Research & Information**, v. 39, n. 4, p. 333-351, 2011.

HOFFMANN, R. **Análise de regressão: uma introdução à econometria**. Piracicaba: Hucitec, 2016.

HOGLAND, W.; MARQUES, M. Sustainable waste management: International perspectives. In: International Conference on Sustainable Solid Waste Management, 2007, Chennai, India. **Anais [...]**. Chennai, India, 2007. p. 1-8.

HU, M. *et al.* Dynamic material flow analysis for strategic construction and demolition waste management in Beijing. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 3, p. 440-456, 2010.

HUANG, L. *et al.* LSTM-Based Forecasting for Urban Construction Waste Generation. **Sustainability**, v. 12, n. 20, p. 8555, 2020.

HUANG, S. *et al.* The impact of natural resource rent, financial development, and urbanization on carbon emission. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-13, 2021.

ICHINOSE, D.; YAMAMOTO, M. On the relationship between the provision of waste management service and illegal dumping. **Resource and Energy Economics**, v. 33, n. 1, p. 79-93, 2011.

IKAU, R. *et al.* Factors influencing waste generation in the construction industry in Malaysia. **Procedia-social and Behavioral Sciences**, v. 234, p. 11-18, 2016.

INMAN, R. H. *et al.* Solar forecasting methods for renewable energy integration. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 39, n. 6, p. 535-576, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Brasil tem 49 municípios com mais de 500 mil habitantes**. 2021. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-08/brasil-tem-49-municipios-com-mais-de-500-mil-habitantes>>. Acesso em: 09 de maio de 2022.

_____. **População estimada de Varginha em 2020**. 2020. Disponível em:

<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/varginha/panorama>>. Acesso em: 15 de agosto de 2020.

_____. **Em 2016, PIB chega a R\$ 6,3 trilhões e cai 3,3% em volume.** 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22936-em-2016-pib-chega-a-r-6-3-trilhoes-e-cai-3-3-em-volume>>. Acesso em: 15 de agosto de 2020.

_____. **População Rural e urbana 2015.** Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html#:~:text=De%20acordo%20com%20dados%20da,brasileiros%20vivem%20em%20%C3%A1reas%20rurais>>. Acesso em: 15 de julho de 2020.

_____. **Censo demográfico.** 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 19 de julho de 2020.

_____. **Indicadores sociais municipais.** 2000. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/indicadores_sociais_municipais/tabela1b.shtm>. Acesso em: 13 de julho de 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **População das cidades médias cresce mais que no resto do Brasil.** 2008. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20090819081149/http://www.ipea.gov.br/003/00301009.jsp?ttCD_CHAVE=5499>. Acesso em: 15 de julho de 2019.

INTHARATHIRAT, R. *et al.* Forecasting of municipal solid waste quantity in a developing country using multivariate grey models. **Waste Management**, v. 39, p. 3-14, 2015.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

JADOVSKI, I. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição.** Porto Alegre, 2005. 178f. Trabalho de conclusão (Mestrado Profissional em Engenharia) – Programa de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

JAPIASSÚ, L. A. T.; LINS, R. D. B. As diferentes formas de expansão urbana. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 2, n. 13, 2014.

JAVAHERI, H. *et al.* Site selection of municipal solid waste landfills using analytical hierarchy process method in a geographical information technology environment in giroft. **Journal of Environmental Health Science & Engineering**, v. 3, n. 3, p. 177-184, 2006.

JIN, H. *et al.* Sustainable value recovery of NdFeB magnets: A multi-objective network

design and genetic algorithm. **Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 6, n. 4, p. 4767-4775, 2018.

JOHNSON, N. *et al.* The practice of participatory research and gender analysis in natural resource management. In: **Natural Resources Forum**. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd., 2004. p. 189-200.

JUCÁ, J. F. T. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. *In*: Congresso brasileiro de geotecnia ambiental – REGEO, 2003, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre, 2003.

KANNO, R. *et al.* CDW quantification in the several stages of life of a building: identification and characterization of the main methods. **MIX Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 67-75, 2020.

KARPINSK, L. A. *et al.* **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: Edipucrs, 2009.

KARTAM, Nabil *et al.* Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. **Waste Management**, v. 24, n. 10, p. 1049-1059, 2004.

KAZA, S. *et al.* **What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. World Bank Publications, 2018.

KERN, A, P, *et al.* Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression. **Waste Management**, v. 39, p. 35-44, 2015.

KHAN, D.; SAMADDER, S. R. Municipal solid waste management using Geographical Information System aided methods: A mini review. **Waste Management & Research**, v. 32, n. 11, p. 1049-1062, 2014.

KHAN, M. M. *et al.* Development of a decision model for the techno-economic assessment of municipal solid waste utilization pathways. **Waste Management**, v. 48, p. 548-564, 2015.

_____. Optimal siting of solid waste-to-value-added facilities through a GIS-based assessment. **Science of the Total Environment**, v. 610, p. 1065-1075, 2018.

KHANH, H. D.; KIM, S. Y. Development of waste occurrence level indicator in Vietnam construction industry. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2015.

KLEEMANN, F. *et al.* Using change detection data to assess amount and composition of demolition waste from buildings in Vienna. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 123, p. 37-46, 2017.

KLEIN, F. B.; DIAS, S. G. A deposição irregular de resíduos da construção civil no

município de São Paulo: um estudo a partir dos instrumentos de políticas públicas ambientais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 40, 2017.

KOLEKAR, K. A. *et al.* A review on prediction of municipal solid waste generation models. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 238-244, 2016.

KON, S. C.; TURNER, L. W. Neural network forecasting of tourism demand. **Tourism Economics**, v. 11, n. 3, p. 301-328, 2005.

KOVÁCS, Z. L. **Redes neurais artificiais: Fundamentos e aplicações**. Editora Livraria da Física, 2002.

LAGE, I. M. *et al.* Estimation of the annual production and composition of C&D Debris in Galicia (Spain). **Waste Management**, v. 30, n. 4, p. 636-645, 2010.

LAU, H. H. *et al.* Composition and characteristics of construction waste generated by residential housing project. **International Journal of Environmental Research**, v. 2, n. 3, p. 261-268, 2008.

LEAL, C. D.; FERREIRA, P. Aproveitamento da cinza do bagaço de cana-de açúcar como fíler em concreto asfáltico. **Vértices**, 2007.

LEBERSORGER, S.; BEIGL, P. Municipal solid waste generation in municipalities: Quantifying impacts of household structure, commercial waste and domestic fuel. **Waste Management**, v. 31, n. 9-10, p. 1907-1915, 2011.

LEE, Y.; TONG, L. Forecasting energy consumption using a grey model improved by incorporating genetic programming. **Energy Conversion and Management**, v. 52, n. 1, p. 147-152, 2011.

LEI, Y. *et al.* Does Urban planning affect urban growth pattern? A case study of Shenzhen, China. **Land Use Policy**, v. 101, p. 105100, 2021.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEITE, F. *et al.* Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 6, p. 2972-2979, 2011.

LEWIS, C. D. **Demand forecasting and inventory control: A computer aided learning approach**. Routledge, 1997.

LI, B. *et al.* Short-term load-forecasting method based on wavelet decomposition with second-order gray neural network model combined with ADF test. **IEEE Access**, v. 5, p. 16324-16331, 2017.

LI, H. *et al.* Application of integrated GPS and GIS technology for reducing construction waste and improving construction efficiency. **Automation in Construction**, v. 14, n. 3, p. 323-331, 2005.

LI, N. *et al.* Bibliometric analysis of research trends on solid waste reuse and recycling during 1992–2016. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 130, p. 109-117, 2018.

LI, J. *et al.* Key policies to the development of construction and demolition waste recycling industry in China. **Waste Management**, v. 108, p. 137-143, 2020.

LIANG, X. *et al.* Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: A case study in Wuhan, China. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 85, p. 101569, 2021.

LIANG, X. *et al.* Urban growth simulation by incorporating planning policies into a CA-based future land-use simulation model. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 32, n. 11, p. 2294-2316, 2018.

LIMA, A. J. Planos diretores e os dilemas da governança urbana no Brasil. **Textos & Contextos**, v. 11, n. 2, p. 362-375, 2012.

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

LIMA, C. *et al.* Physical properties and mechanical behavior of concrete made with recycled aggregates and fly ash. **Construction and Building Materials**, v. 47, p. 547-559, 2013.

LIMA, S. *et al.* Desafios do planejamento urbano na expansão das cidades: entre planos e realidade. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, 2019.

LIMONAD, E. Urbanização dispersa mais uma forma de expressão urbana? **Formação (Online)**, v. 1, n. 14, 2007.

LIU, G. *et al.* Factors influencing the service lifespan of buildings: An improved hedonic model. **Habitat International**, v. 43, p. 274-282, 2014.

LIU, T.; LI, Y. Green development of China's Pan-Pearl River Delta mega-urban agglomeration. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2021.

LIU, X. *et al.* Multi-scenario simulation of urban growth boundaries with an ESP-FLUS model: A case study of the Min Delta region, China. **Ecological Indicators**, v. 135, p. 108538, 2022.

LIU, Z. *et al.* Construction area expansion in relation to economic-demographic development and land resource in the Pearl River Delta of China. **Journal of**

geographical sciences, v. 26, n. 2, p. 188-202, 2016.

LIN, Y. et al. Predictive ability of logistic regression, auto-logistic regression and neural network models in empirical land-use change modeling—a case study. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 25, n. 1, p. 65-87, 2011.

LO, C. P.; YANG, X. Drivers of land-use/land-cover changes and dynamic modeling for the Atlanta, Georgia metropolitan area. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 68, n. 10, p. 1073-1082, 2002.

LOBER, D. J.; GREEN, D. P. NIMBY or NIABY: a logit model of opposition to solid-waste-disposal facility siting. **Journal of Environmental Management**, v. 40, n. 1, p. 33-50, 1994.

LOCKREY, S. et al. Recycling the construction and demolition waste in Vietnam: opportunities and challenges in practice. **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 757-766, 2016.

LONGLEY, P. A. et al. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LOPES, S. B. **Efeitos da dependência espacial em modelos de previsão de demanda por transporte**. 2005. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

LORENA, L. A. N. et al. Integração de modelos de localização a sistemas de informações geográficas. **Gestão & Produção**, p. 180-195, 2001.

LOZANO, J. M. et al. 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, 2013.

LU, W.; TAM, V. W. Y. Construction waste management policies and their effectiveness in Hong Kong: A longitudinal review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 23, 214-223, 2013.

LU, W.; YUAN, H. Exploring critical success factors for waste management in construction projects of China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 2, p. 201-208, 2010.

_____. A framework for understanding waste management studies in construction. **Waste Management**, v. 31, n. 6, p. 1252-1260, 2011.

LU, W. et al. Estimating and calibrating the amount of building-related construction and demolition waste in urban China. **International Journal of Construction Management**, v. 17, n. 1, p. 13-24, 2017.

LÚCIO, P. S. *et al.* Um modelo estocástico combinado de previsão sazonal para a precipitação no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 1, p. 70-87, 2010.

LÚCIO, R. F. **Diagnóstico do sistema de gerenciamento de resíduos de construção e demolição no município de Belo Horizonte/MG**. 2013. 121 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MA, T. *et al.* Quantitative estimation of urbanization dynamics using time series of DMSP/OLS nighttime light data: A comparative case study from China's cities. **Remote Sensing of Environment**, v. 124, p. 99-107, 2012.

MA, Y. *et al.* Prediction model of DnBP degradation based on BP neural network in AAO system. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 6, p. 4410-4415, 2011.

MAHAYUDDIN, S. A. *et al.* Construction waste management in a developing country: case study of Ipoh, Malaysia. **Transactions on Ecology and the Environment**, v. 109, p. 481-489, 2008.

MAIELLO, A. *et al.* Implementação da política nacional de resíduos sólidos. **Revista de Administração Pública**, v. 52, p. 24-51, 2018.

MAITHANI, S. A neural network based urban growth model of an Indian city. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 37, n. 3, p. 363-376, 2009.

MALARVIZHI, K. *et al.* Urban sprawl modelling and prediction using regression and Seasonal ARIMA: a case study for Vellore, India. **Modeling Earth Systems and Environment**, p. 1-19, 2021.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. John Wiley & Sons, 1999.

_____. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**, v. 62, n. 1, p. 3-65, 2004.

MAKRIDAKIS, S. *et al.* **Forecasting methods and applications**. John Wiley & sons, 2008.

MANCUZO, F. **Análise e previsão de demanda: estudo de caso em uma empresa distribuidora de rolamentos**. 2003. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MANOWONG, E. Investigating factors influencing construction waste management efforts in developing countries: an experience from Thailand. **Waste Management & Research**, v. 30, n. 1, p. 56-71, 2012.

MARRERO, M. *et al.* Assessing the economic impact and ecological footprint of construction and demolition waste during the urbanization of rural land. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 117, p. 160-174, 2017.

MARTINS, F. G. **Gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em obras de grande porte**: estudos de caso. 2012. 188 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MATOS, J. *et al.* Attractiveness of roads for illegal dumping with regard to regional differences in Slovenia. **Acta Geographica Slovenica**, v. 52, n. 2, p. 431-451, 2012.

MAUÉS, L. *et al.* Estimating construction waste generation in residential buildings: A fuzzy set theory approach in the Brazilian Amazon. **Journal of Cleaner Production**, v. 265, p. 121779, 2020.

MAUND, K. *et al.* Key issues for implementation of environmental planning policy: construction management practice. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 2156, 2018.

MAYER, I.; JONG, M. Combining GDSS and gaming for decision support. **Group Decision and Negotiation**, v. 13, n. 3, p. 223-241, 2004.

MCBEAN, E. A.; FORTIN, M. H. A forecast model of refuse tonnage with recapture and uncertainty bounds. **Waste Management & Research**, v. 11, n. 5, p. 373-385, 1993.

MEENTEMEYER, R. K. *et al.* FUTURES: multilevel simulations of emerging urban–rural landscape structure using a stochastic patch-growing algorithm. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 103, n. 4, p. 785-807, 2013.

MEHDIYEV, N. *et al.* Evaluating forecasting methods by considering different accuracy measures. **Procedia Computer Science**, v. 95, p. 264-271, 2016.

MEIRELLES, J. *et al.* More from Less? Environmental Rebound Effects of City Size. **Sustainability**, v. 13, n. 7, p. 4028, 2021.

MENEGAKI, M.; DAMIGOS, D. A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. **Green and Sustainable Chemistry**, v. 13, p. 8-15, 2018.

MENEGHINI, M. *et al.* Ajuste de previsão de demanda quantitativa com base em fatores qualitativos: estudo de caso em um restaurante fast food. **Sistemas & Gestão**, v. 13, n. 1, p. 68-80, 2018.

MESQUITA, T. B.; REZENDE, E. N. Expansão urbana e a manutenção da reserva legal no plano diretor: uma análise do crescimento dos grandes centros urbanos frente à imperiosa proteção ambiental. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, v. 10, n. 3, p. 182-204, 2019.

MINGHUA, Zhu *et al.* Municipal solid waste management in Pudong new area, China. **Waste Management**, v. 29, n. 3, p. 1227-1233, 2009.

MOHAJERI, N. *et al.* Expansion and densification of cities: linking urban form to urban ecology. In: **International Conference on Future Building e Districts Sustainability from Nano to Urban Scale**. 2015.

MOHAYMANY, A. S. *et al.* GIS-based method for detecting high-crash-risk road segments using network kernel density estimation. **Geo-spatial Information Science**, v. 16, n. 2, p. 113-119, 2013.

MONDAL, B. *et al.* Integrating cellular automata and Markov techniques to generate urban development potential surface: a study on Kolkata agglomeration. **Geocarto International**, v. 32, n. 4, p. 401-419, 2017.

MONDAL, B. *et al.* Modeling spatial variation of explanatory factors of urban expansion of Kolkata: a geographically weighted regression approach. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 1, n. 4, p. 1-13, 2015.

MONTEIRO, K. C. R.; OLIVEIRA, R. P. S. Reflexões sobre as consequências da verticalização para o clima urbano na cidade de Vitória da Conquista/BA - Brasil. In: Encontro de geógrafos da América Latina, 14., 2013, Peru. **Anais [...]**. Peru, 2013.

MONTGOMERY, D. C. *et al.* **Forecasting and time series analysis**. McGraw-Hill Companies, 1990.

_____. **Introduction to time series analysis and forecasting**. John Wiley & sons, 2008.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira, 1998.

MOURÃO, S. A. *et al.* Diagnóstico da disposição dos resíduos sólidos da construção civil na cidade de Montes Claros, MG. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, p. 251-261, 2015.

MURRAY, A. T. Advances in location modeling: GIS linkages and contributions. **Journal of Geographical Systems**, v. 12, n. 3, p. 335-354, 2010.

MUSA, H. D. *et al.* Delphi method of developing environmental well-being indicators for the evaluation of urban sustainability in Malaysia. **Procedia Environmental Sciences**, v. 30, p. 244-249, 2015.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2014.

NAGAPAN, S. *et al.* Study's of sites construction waste in Batu Paha, Johor. **Procedia Engineering**. Malásia, n. 53, p. 99-103, 2013.

NANNI, A. *et al.* **QGIS - User Guide**, Versão 2.18. 473p. 2019. Disponível em: <https://docs.qgis.org/2.18/pdf/pt_BR/QGIS-2.18-UserGuide-pt_BR.pdf>. Acesso em: 02 de julho de 2019.

NARUO, M. K. **O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando sistema de informações geográficas**. 2003. 287 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

NETO, A. H.; FIORELLI, F. A. S. Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 12, p. 2169-2176, 2008.

NETO, G. C.; CORREIA, J. M. F. Environmental and economic advantages of adopting reverse logistics for recycling construction and demolition waste: A case study of Brazilian construction and recycling companies. **Waste Management & Research**, v. 37, n. 2, p. 176-185, 2019.

NETO, F. G. **Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de Parnaíba-PI**. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

NETO, J. B. XXI: O século das cidades no Brasil. In: MONTORO, G. C. *et al.* **Um olhar territorial para o desenvolvimento**: Sul. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2014. p. 270-309.

NETO, J. V. R. **Banco de dados georreferenciado para aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (AS-RSU) no estado da Bahia**. 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

NETO, R. O. **Modelo de estimativa dos custos em aterros sanitários para apoio de estudos de pré-viabilidade no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos**. 2008. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Materiais e Metalurgia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

NOORI, R. *et al.* Prediction of municipal solid waste generation with combination of support vector machine and principal component analysis: a case study of Mashhad. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 28, n. 2, p. 249-258, 2009.

NUGROHO, F.; ALSANJARY, O. I. A review of simulation urban growth model. **International Journal of Engineering & Technology**, v. 7, n. 4, 2018.

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, n. 4, p. 415-422, 2020.

NUNES, K. R. A. *et al.* Reverse logistics in the Brazilian construction industry. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 12, p. 3717-3720, 2009.

NUNES, N. Gestão Ambiental Urbana: planejar antes de verticalizar. **Revista Complexus**, v. 2, n.1, 2011.

ONU. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. 2015. Disponível em: < <https://sdgs.un.org/2030agenda> >. Acesso em: 30 de junho de 2023.

_____. **World Urbanization Prospects**. United Nations Department of Public Information. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>>. Acesso em: 21 de maio de 2020.

OJHA, C.S. *et al.* Applying Fuzzy logic and the point count system to select landfill sites. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 135, n. 1-3, p. 99-106, 2007.

OLIVEIRA, D. M. **Desenvolvimento de ferramenta para apoio à gestão de resíduos de construção e demolição com uso de geoprocessamento: caso Bauru-SP**. 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

OLIVEIRA; V. F. O papel da indústria da construção civil na organização do espaço e do desenvolvimento regional. *In: The 4th International Congress University Industry Cooperation*, 4., 2012, Taubaté. **Anais [...]**. Taubaté, 2012.

OSMANI, M.; VILLORIA-SÁEZ, P. Current and emerging construction waste management status, trends and approaches. *In: Waste*. Academic Press, 2019. p. 365-380.

OSSA, A. *et al.* Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 379-386, 2016.

PAGNUSSAT, D. T. **Utilização de escória granulada de fundição (EGF) em blocos de concreto para pavimentação**. 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PAN, X. *et al.* Designing recycling networks for construction and demolition waste based on reverse logistics research field. **Journal of Cleaner Production**, p. 120841, 2020.

PANZONE, L. *et al.* A ridge regression approach to estimate the relationship between landfill taxation and waste collection and disposal in England. **Waste Management**, v. 129, p. 95-110, 2021.

PASSARINI, K. C. *et al.* Assessment of the viability and sustainability of an integrated waste management system for the city of Campinas (Brazil), by means of ecological cost accounting. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 479-488, 2014.

PAZ, D. H. F. *et al.* GIS-based planning system for managing the flow of construction and demolition waste in Brazil. **Waste Management & Research**, v. 36, n. 6, p. 541-549, 2018.

PEIXOTO, M. C. D. Expansão urbana e proteção ambiental: um estudo a partir do caso de Nova Lima/MG. *In: XI Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional*, 2005, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: ANPUR, 2005.

PELLEGRINI, F. R. **Metodologia para implementação de sistemas de previsão de demanda**. 2000. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PEPE, M. *et al.* Alternative processing procedures for recycled aggregates in structural concrete. **Construction and Building Materials**, v. 69, p. 124-132, 2014.

PIJANOWSKI, B. C. *et al.* Calibrating a neural network - based urban change model for two metropolitan areas of the Upper Midwest of the United States. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 19, n. 2, p. 197-215, 2005.

PINHEIRO, M. C. *et al.* Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 14., 2009, Natal. **Anais [...]**. Natal: INPE, 2009, p. 4247-4254.

PINTO, T. P. **Metodologia Para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

_____. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do SidusCon – SP**. São Paulo, 2005.

PINTO, T. P. *et al.* **Guia profissional para uma gestão correta dos resíduos da construção**. São Paulo/SP, 2005.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. R. Manejo e gestão de resíduos da construção civil. **Manual de orientação**, v. 1, 2005.

PIRES, A. *et al.* Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 4, p. 1033-1050, 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (PMBH). **Prefeitura dá continuidade às ações de combate ao bota-fora clandestino**. 2007. Disponível:

<<http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/contents.do?evento=conteudo&idConteudo=40537&chPlc=40537>>. Acesso em: 21 de maio de 2019.

_____. **Informações gerais sobre o serviço de limpeza urbana.** 2018. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/slu>>. Acesso em: 21 de maio de 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (PMSP). **ECOPONTO - Estação de Entrega Voluntária de Inservíveis.** 2022. Disponível: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/spregula/limpeza_urbana/ecopontos/index.php?p=4626>. Acesso em: 26 de julho de 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VARGINHA (PMV). **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PMGIRS.** 2013a. Disponível: <[http://www.varginha.mg.gov.br/Pdfs_e_arquivos_de_leis/article/10027/Dec6560\(AnexoPlanoMunicipalGIRS\).pdf](http://www.varginha.mg.gov.br/Pdfs_e_arquivos_de_leis/article/10027/Dec6560(AnexoPlanoMunicipalGIRS).pdf)>. Acesso em: 16 de julho de 2019.

_____. **Decreto nº 6.613/2013:** Institui o plano de gestão de resíduos sólidos da construção civil. 2013b. Disponível: <<http://www.varginha.mg.gov.br/legislacao-municipal/decretos/472-2013/10415-decreto-nd-66132013-institui-o-plano-de-gestao-de-residuos-solidos-da-construcao-civil>>. Acesso em: 16 de julho de 2019.

_____. **Projeto de Lei Complementar:** faz a revisão do plano diretor participativo de varginha e dá outras providências. 2018. Disponível: <[https://www.varginha.swop.com.br/arquivos/projcomplementar_-_plano_diretor_2018_\(3\)_05041745.pdf](https://www.varginha.swop.com.br/arquivos/projcomplementar_-_plano_diretor_2018_(3)_05041745.pdf)>. Acesso em: 15 de julho de 2019.

POON, C. S. Management and recycling of demolition waste in Hong Kong. **Waste Management & Research**, v. 15, n. 6, p. 561-572, 1997.

POON, C. S. *et al.* Management of construction waste in public housing projects in Hong Kong. **Construction Management & Economics**, v. 22, n. 7, p. 675-689, 2004.

PRAMANIK, M. M.; STATHAKIS, D. Forecasting urban sprawl in Dhaka city of Bangladesh. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 43, n. 4, p. 756-771, 2016.

PUCCI, R. B. **Logística reversa de resíduos da construção civil:** Atendendo à Resolução CONAMA 307. 2006. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

QIAO, L. *et al.* Generation and Prediction of Construction and Demolition Waste Using Exponential Smoothing Method: A Case Study of Shandong Province, China. **Sustainability**, v. 12, n. 12, p. 5094, 2020.

QINGSONG, G. *et al.* A Study on the Reasons and Strategies for Slow Industry Development of Construction Waste Recycling in China. **Ecological Economy**, v. 12, p. 128-135, 2012.

RADA, E. C. et al. Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies. **Waste Management**, v. 33, n. 4, p. 785-792, 2013.

RAM, V. G.; KALIDINDI, S. N. Estimation of construction and demolition waste using waste generation rates in Chennai, India. **Waste Management & Research**, v. 35, n. 6, p. 610-617, 2017.

REZA, B. *et al.* Sustainability assessment of flooring systems in the city of Tehran: An AHP-based life cycle analysis. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 4, p. 2053-2066, 2011.

RIBEIRO, C. V. *et al.* Uma Proposta de Método Híbrido Fuzzy para Previsão de Séries Temporais. *In*: 5^o International Conference on Information Systems and Technology Management (CONTECSI), 5., 2008, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2008.

RIBEIRO, F. A.; DIAS, J. F. Deposição irregular dos resíduos de construção civil em Uberlândia/MG. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 1, n. 5, 2013.

RIBEIRO, V. P. **Aplicação de sistema de informação geográfica na identificação de área para aterro sanitário**. 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Informação Geográfica) - Centro de Informação Geográfico, Universidade Católica de Moçambique, Moçambique, 2011.

RITCHIE, H.; ROSER, M. **Urbanization**. Our world in data, 2019.

ROCHA, E. G. A. **Os resíduos sólidos da construção e demolição**: gerenciamento, quantificação e caracterização - Um estudo de caso no Distrito Federal. 2006. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

ROCHA, J. S. **Mapeamento por SIG e Random Forest do impacto dos resíduos da suinocultura na qualidade das águas da Bacia do Rio Piranga-MG**. 2016. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

RODRIGUES, E. M. **Direito ambiental–gestão de resíduos sólidos e o princípio da responsabilidade alargada do produtor na legislação portuguesa e na brasileira**. 2022. 177 f. (Mestrado em Direito) - Universidade Autónoma de Lisboa, Lisboa, 2022.

RODRÍGUEZ, G. *et al.* Assessment of Construction and Demolition Waste plant management in Spain: in pursuit of sustainability and eco-efficiency. **Journal of Cleaner Production**, v. 90, p. 16-24, 2015.

RUIZ, L. A. L. *et al.* The circular economy in the construction and demolition waste sector—a review and an integrative model approach. **Journal of Cleaner Production**,

v. 248, p. 119238, 2020.

SANTORO, P. F. **Planejar a expansão urbana: dilemas e perspectivas**. 2012. 361 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SANTOS, A. *et al.* A utilização do método Delphi em pesquisas na área da gestão da construção. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 2, p. 51-59, 2005.

SANTOS, G. *et al.* Previsão de Demanda: Revisão Bibliográfica e análise acadêmica atual. *In: XXXV ENEGEP*, 2015, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza, 2015.

SCHAMNE, A. N. **Avaliação do potencial de aplicação dos preceitos da logística reversa de resíduos sólidos ao setor da construção civil em Curitiba, Paraná**. 2016. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SCHWEIGERT, L. R. *et al.* **Plano diretor e sustentabilidade ambiental da cidade**. 2006. 144 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em arquitetura e urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2006.

SEISDEDOS, A. P. G. M. **Incentivos fiscais na reciclagem de resíduos sólidos: a tributação ecológica e seu impacto no desenvolvimento econômico sustentável**. 2015. 111 f. (Mestrado em Direito) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015.

SENER, S. *et al.* Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). **Waste Management**, v. 30, n. 11, p. 2037-2046, 2010.

SEO, S.; HWANG, Y. An estimation of construction and demolition debris in Seoul, Korea: waste amount, type, and estimating model. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 49, n. 8, p. 980-985, 1999.

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

SETO, K. C.; KAUFMANN, R. K. Modeling the drivers of urban land use change in the Pearl River Delta, China: Integrating remote sensing with socioeconomic data. **Land Economics**, v. 79, n. 1, p. 106-121, 2003.

SHAMSHIRY, E. *et al.* Integrated models for solid waste management in tourism regions: Langkawi Island, Malaysia. **Journal of environmental and public health**. 2011.

SHANG, C. *et al.* Prediction and Analysis on the Amount of Construction Decoration Waste in Haikou, Hainan Province. **Construction and Operation in the Context of Sustainability**. 2013.

SHAREEFDEEN, Z. *et al.* Review of current technologies used in municipal solid waste-to-energy facilities in Canada. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 17, n. 7, p. 1837-1846, 2015.

SHI, J.; XU, Y. Estimation and forecasting of concrete debris amount in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 49, n. 2, p. 147-158, 2006.

SILVA, A. A. **Avaliação dos pontos de apoio (ecopontos) na gestão dos resíduos sólidos urbanos**: estudo de caso de São José do Rio Preto-SP. 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

SILVA, D. C.; CAPANEMA, L. X. L. **Políticas públicas na gestão de resíduos sólidos: experiências comparadas e desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018.

SILVA, S. C. G. **Sistema de Apoio à Decisão Espacial Multicritério na Localização de Centrais de Biogás**. 2014. 252 f. Tese (Doutorado em Gestão) – Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.

SILVA, R. V. *et al.* Availability and processing of recycled aggregates within the construction and demolition supply chain: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 598-614, 2017.

SILVA, T. *et al.* Inovação tecnológica no gerenciamento de resíduos de construção civil (RCC) na cidade de Guarulhos: estudo de caso usina de reciclagem de entulho. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 7, n. 53, 2019.

SILVESTRI, S.; OMRI, M. A method for the remote sensing identification of uncontrolled landfills: formulation and validation. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 4, p. 975-989, 2008.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Programa de modernização do setor de saneamento**: diagnóstico da gestão e manejo de resíduos sólidos urbanos – 2017. Brasília: Cidades, SNSA, 2019.

SLACK, N. *et al.* **Administração da Produção**. 3. ed., São Paulo: Atlas, 2009.

SMOL, M. *et al.* The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 95, p. 45-54, 2015.

SOFESKA, E. Relevant factors in sustainable urban development of urban planning methodology and implementation of concepts for sustainable planning (Planning

documentation for the Master Plan Skopje 2001–2020). **Procedia Environmental Sciences**, v. 34, p. 140-151, 2016.

SOKKA, L. *et al.* Municipal solid waste production and composition in Finland—Changes in the period 1960–2002 and prospects until 2020. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 50, n. 4, p. 475-488, 2007.

SOLIS-GUZMAN, J. *et al.* A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste Management**, v. 29, n. 9, p. 2542-2548, 2009.

SONG, Y. *et al.* Critical management measures contributing to construction waste management: Evidence from construction projects in China. **Project Management Journal**, v. 44, n. 4, p. 101-112, 2012.

SONG, Y. *et al.* Development of a hybrid model to predict construction and demolition waste: China as a case study. **Waste Management**, v. 59, p. 350-361, 2017.

SONG, Z. *et al.* Analysis and Forecast of Construction Waste Based on ARIMA Model. *In: 5th International Conference on Civil Engineering and Transportation*, 2015, China. **Anais [...]**. China: Atlantis Press, 2015.

SOUZA, U. E. L. *et al.* Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, v. 4, n. 4, p. 33-46, 2004.

SPEEDING, T. A.; CHAN, K. K. Forecasting demand and inventory management using Bayesian time series. **Integrated Manufacturing Systems**, 2000.

SPIGOLON, L. M. G. **A otimização da rede de transporte de RSU baseada no uso do SIG e análise de decisão multicritério para a localização de aterros sanitários**. 2015. 217 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

STAMM, C. *et al.* A população urbana e a difusão das cidades de porte médio no Brasil. **Interações**, v. 14, p. 251-265, 2012.

SUN, Z. *et al.* Sales forecasting using extreme learning machine with applications in fashion retailing. **Decision Support Systems**, v. 46, n. 1, p. 411-419, 2008.

TAFNER, M. A. Redes neurais artificiais: aprendizado e plasticidade. **Cérebro Mente**, São Paulo, v. 5, 1998.

TAM, V. *et al.* Cross-cultural comparison of concrete recycling decision-making and implementation in construction industry. **Waste Management**, v. 30, n. 2, p. 291-297, 2010.

TAVARES, G. *et al.* Optimization of MSW collection routes for minimum fuel

consumption using 3D GIS modelling. **Waste Management**, v. 29, n. 3, p. 1176-1185, 2009.

TAVARES, L. P. M. **Levantamento e análise da deposição e destinação dos resíduos da construção civil em Ituiutaba, MG**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

TEIXEIRA, E. C. *et al.* Modelling waste generated during construction of buildings using regression analysis. **Waste Management & Research**, v. 38, n. 8, p. 857-867, 2019.

TESSARO, A. B. *et al.* Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 121-130, 2012.

THEMELIS, N. J.; MUSSCHE, C. **Energy and economic value of municipal solid waste (MSW), including non-recycled plastics (NRP), currently landfilled in the fifty**. 2014. Disponível: < <https://www.americanchemistry.com/Policy/Energy/Energy-Recovery/2014-Update-of-Potential-for-Energy-Recovery-from-Municipal-Solid-Waste-and-Non-Recycled-Plastics.pdf>>. Acesso em: 7 de abril de 2020.

TONETTI, E. L. **Potencialidades de adensamento populacional por verticalização das edificações e qualidade ambiental urbana no município de Paranaguá, Paraná, Brasil**. 2011. 235 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Pós-graduação em ciências da terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

TORCHETTO, N. L. *et al.* O uso do Quantum Gis (QGIS) para caracterização e delimitação de área degradada por atividade de mineração de basalto no município de Tenente Portela (RS). **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas**. UFMS, Santa Maria. REGET, v. 18, n. 2, p. 710-717, 2014.

TOSIC, N. *et al.* Multicriteria optimization of natural and recycled aggregate concrete for structural use. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 766-776, 2015.

TOWNSEND, T. **Waste Management Principles and Practice**. 1 ed., New York: Springer, 2015.

TOWS, R. L.; MENDES, C. M. O estudo da verticalização urbana como objeto da geografia: enfoques e perspectivas metodológicas. *In*: Simpósio de estudos urbanos: desenvolvimento regional e dinâmica ambiental, 2011, Maringá. **Anais [...]**. Maringá, 2011.

TROCHU, J. *et al.* Reverse logistics network redesign under uncertainty for wood waste in the CRD industry. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 128, p. 32-47, 2018.

UNIÃO EUROPÉIA. **Diretiva 2008/98/CE**: Parlamento Europeu e do Conselho de 19

de novembro de 2008 relativa aos resíduos e que revoga certas diretivas. 2008. Disponível em < <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0098-20150731&from=EN#:~:text=A%20presente%20directiva%20estabelece%20medidas,melhorando%20a%20efici%C3%Aancia%20dessa%20utiliza%C3%A7%C3%A3o.>> . Acesso em: 7 de abril de 2020.

VINHAS, L. **Um subsistema extensível para o armazenamento de geo-campos em bancos de dados geográficos**. 2006. 113 f. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

WANG, J. *et al.* Identifying best design strategies for construction waste minimization. **Journal of Cleaner Production**, v. 92, p. 237-247, 2015.

WANG, T. *et al.* Estimating the environmental costs and benefits of demolition waste using life cycle assessment and willingness-to-pay: A case study in Shenzhen. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 14-26, 2018.

WANG, Z. *et al.* The nexus between urbanization, road infrastructure, and transport energy demand: empirical evidence from Pakistan. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 34, p. 34884-34895, 2019.

WEI, J. *et al.* Work safety evaluation in Mainland China using grey theory. **Applied Mathematical Modelling**, v. 39, n. 2, p. 924-933, 2015.

WEI, Y. *et al.* Prediction of municipal solid waste generation in China by multiple linear regression method. **International Journal of Computers and Applications**, v. 35, n. 3, p. 136-140, 2013.

WESSELOW, M.; KLEEMANN, S. Role - playing games in natural resource management and research: Lessons learned from theory and practice. **The Geographical Journal**, v. 184, n. 3, p. 298-309, 2018.

WIMALASENA, B. A. *et al.* A. Modeling construction waste generation towards sustainability. *In: Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice*, 2010, Alberta. **Anais [...]**. Alberta: ASCE, 2010. p. 1498-1507.

WORLD BANK GROUP. **Demographic Trends and Urbanization**. 2020.

WRIGHT, J.; GIOVINAZZO, R. A. Delphi: uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Pesquisas em Administração**, v. 1, n. 12, p. 54-65, 2000.

WU, H. *et al.* An innovative approach to managing demolition waste via GIS (geographic information system): a case study in Shenzhen city, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 494-503, 2015.

WU, Ji. *et al.* Urban landscape ecology: Past, present, and future. *In: FU, B.; JONES,*

K. **Landscape ecology for sustainable environment and culture**. Dordrecht: Springer, 2013. p. 37-53.

WU, Z. *et al.* Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. **Waste Management**, v. 34, n. 9, p. 1683-1692, 2014.

WU, Z. *et al.* Investigating the determinants of contractor's construction and demolition waste management behavior in Mainland China. **Waste Management**, v. 60, p. 290-300, 2017.

YAN, Y. *et al.* Suitability evaluation of urban construction land based on an approach of vertical-horizontal processes. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 7, n. 5, p. 198, 2018.

YAZDANI, M. *et al.* Landfill site suitability assessment by means of geographic information system analysis. **Solid Earth**, v. 6, n. 3, p. 945-956, 2015.

YE, G. *et al.* Estimating the generation of construction and demolition waste by using system dynamics: a proposed model. In: 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2010. **Anais [...]**. IEEE, 2010. p. 1-4.

YEHEYIS, M. *et al.* An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. **Clean Technologies and Environmental Policy**, 15, 81-91, 2013.

YOST, P. A.; HALSTEAD, J. M. A methodology for quantifying the volume of construction waste. **Waste Management & Research**, v. 14, n. 5, p. 453-461, 1996.

YOUNES, M. K. *et al.* Prediction of municipal solid waste generation using nonlinear autoregressive network. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 12, p. 753, 2015.

YOUSEFLOO, A.; BABAZADEH, R. Designing an integrated municipal solid waste management network: A case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, p. 118824, 2019.

YUAN, H. A SWOT analysis of successful construction waste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 39, p. 1-8, 2013.

YUAN, H.; SHEN, L. Trend of the research on construction and demolition waste management. **Waste Management**, v. 31, n. 4, p. 670-679, 2011.

YUAN, J. *et al.* Urbanization, rural development and environmental health in China. **Environmental Development**, v. 28, p. 101-110, 2018.

ZAINUN, N. Y. *et al.* Of Construction Waste Illegal Dumping Using Geographical Information System (GIS). **Materials Science and Engineering**. 2016.

ZAMBON, I. *et al.* Horizontal vs vertical growth: Understanding latent patterns of urban expansion in large metropolitan regions. **Science of the Total Environment**, v. 654, p. 778-785, 2019.

ZHANG, G. *et al.* Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. **International Journal of Forecasting**, v. 14, n. 1, p. 35-62, 1998.

ZHANG, N. *et al.* 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, n. 25, p. 25513-25525, 2019.

ZHANG, W. *et al.* Analyzing horizontal and vertical urban expansions in three East Asian megacities with the SS-coMCRF model. **Landscape and Urban Planning**, v. 177, p. 114-127, 2018.

ZHAO, W. *et al.* A system dynamics model for evaluating the alternative of type in construction and demolition waste recycling center: The case of Chongqing, China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 11, p. 933-944, 2011.

ZHONGMING, Z. *et al.* **World Cities Report 2020**: The Value of Sustainable Urbanization. 2020.

ANEXOS

A - Distribuição territorial de Varginha / MG (PMV, 2018)

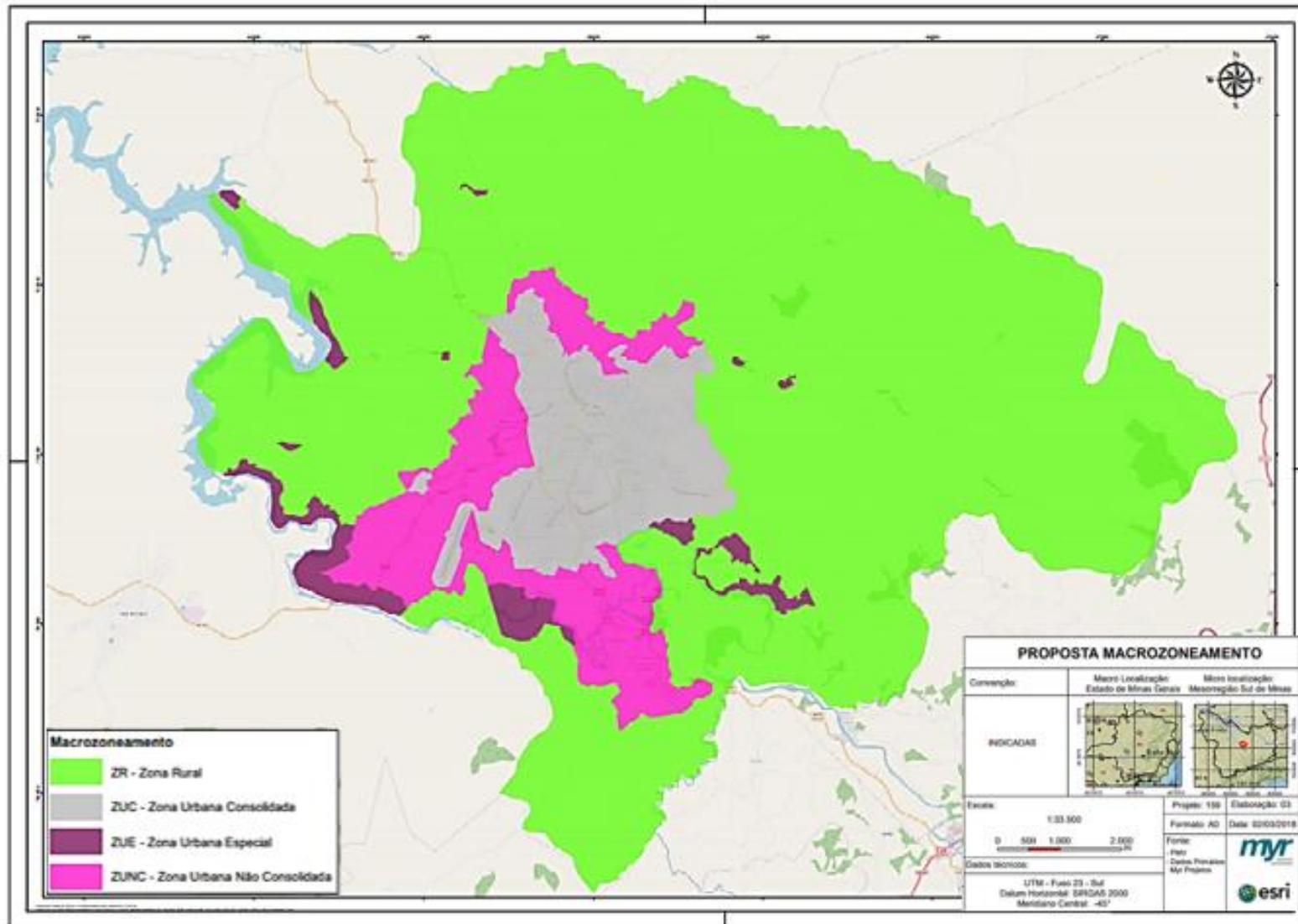


Figura 59: Macrozoneamento de Varginha.
Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Varginha (2017).

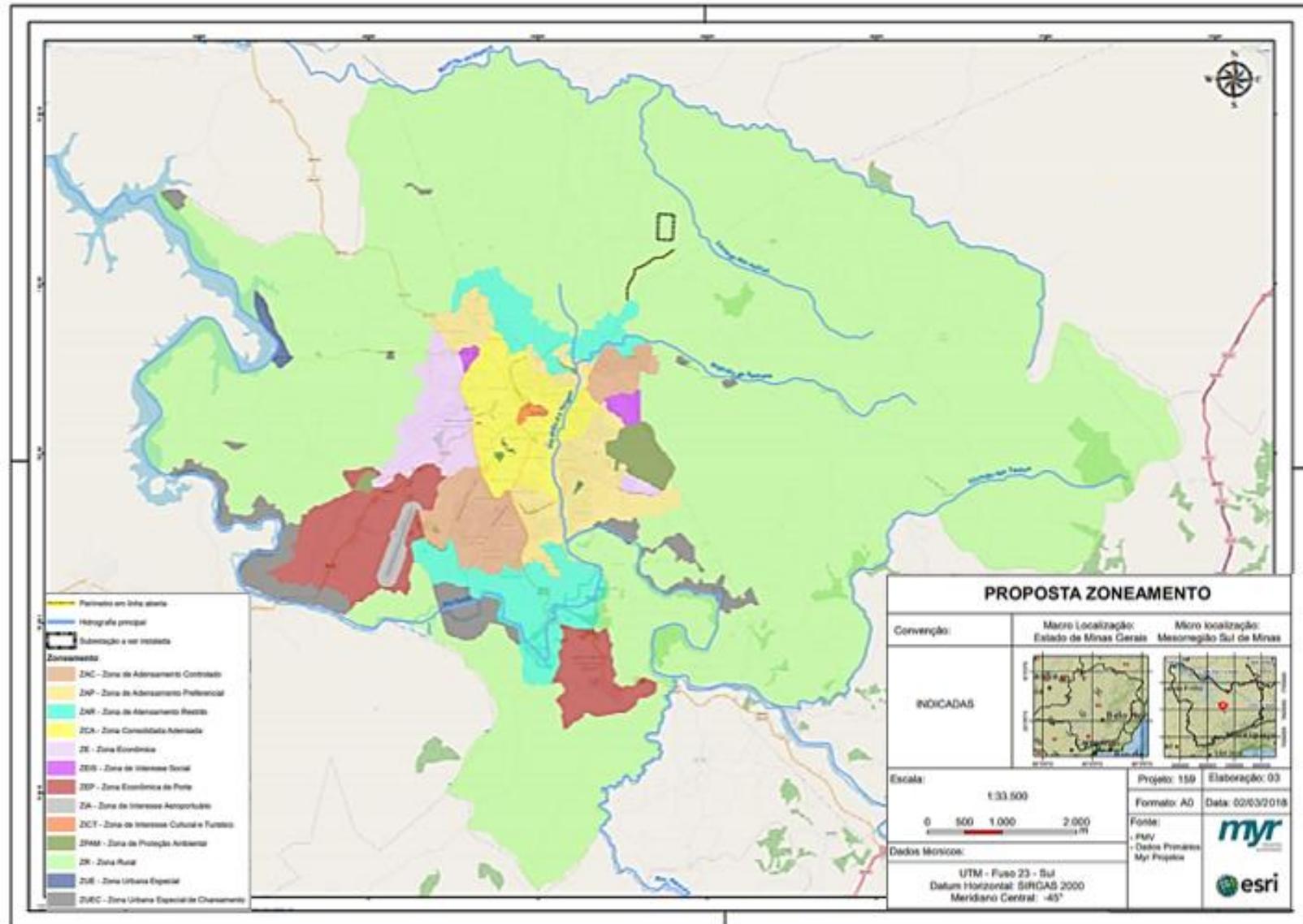
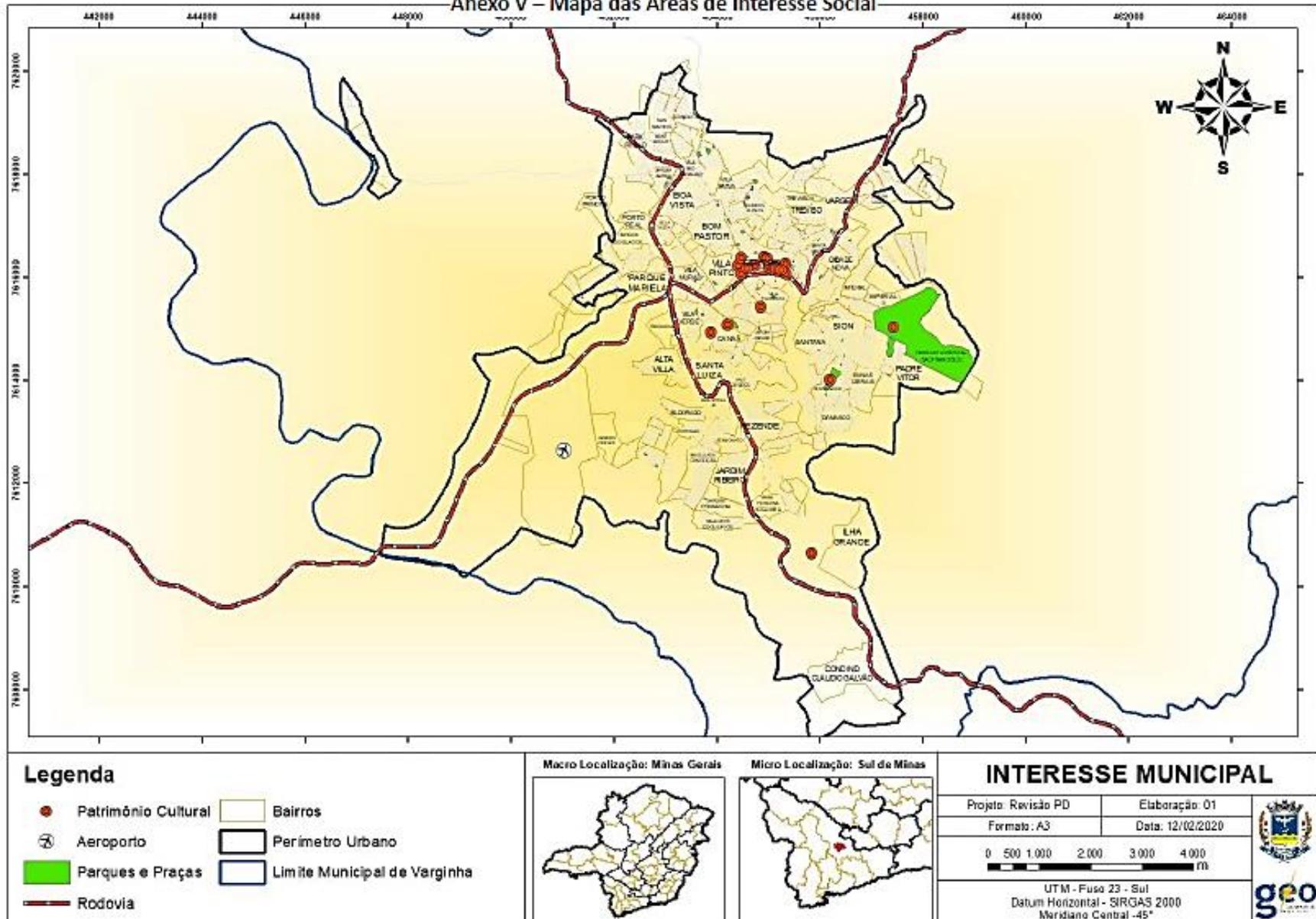
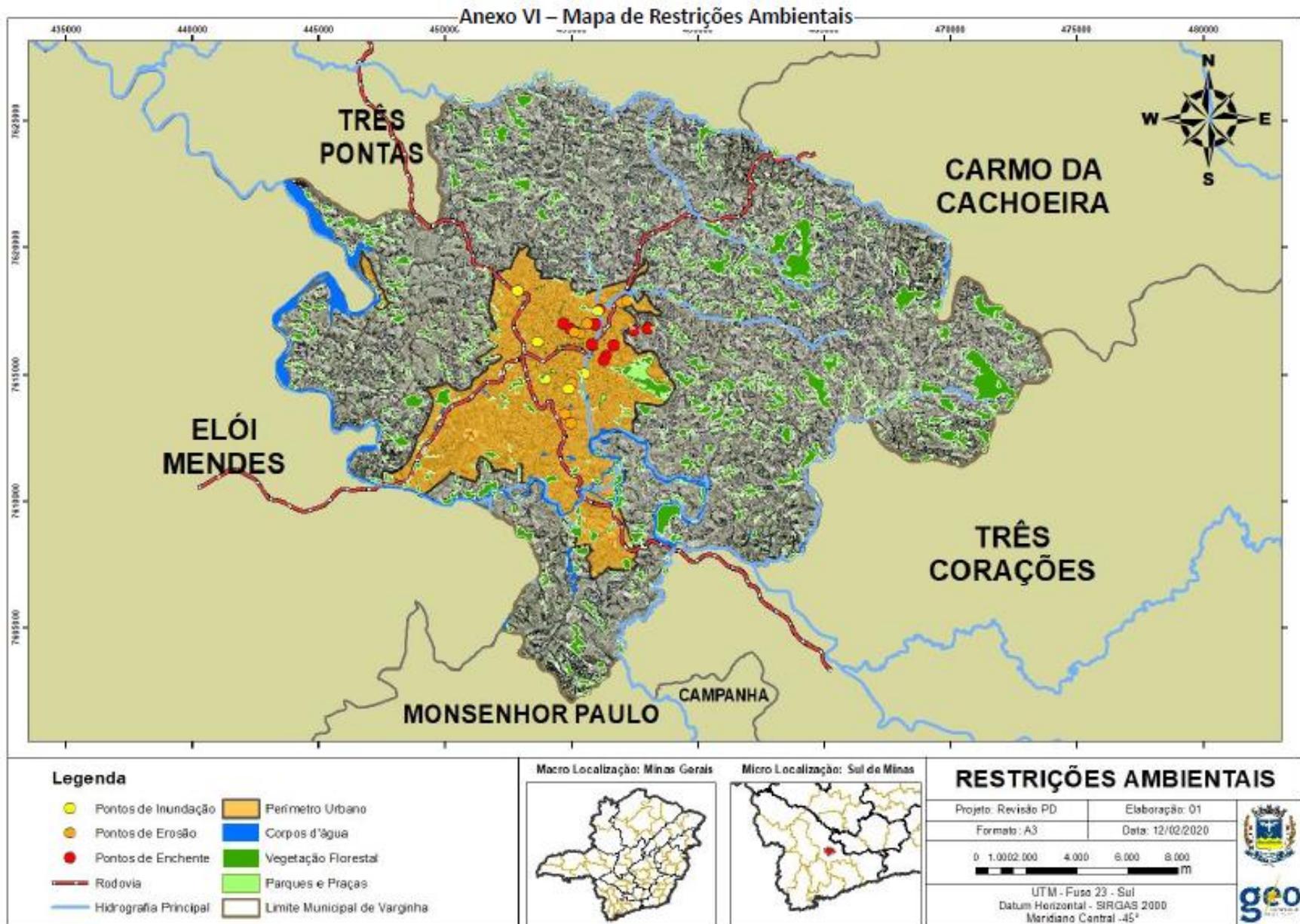


Figura 60: Zoneamento de Varginha.
Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Varginha (2017)

Anexo V – Mapa das Áreas de Interesse Social





APÊNDICES

A - Evolução das variáveis independentes nos municípios de médio porte populacional

Tabela 26: Evolução da área urbana dos municípios em um modelo linear.

Ano	Equação ($y = ax + b$): Área urbana (km ²) = $a \times \text{ano} + b$						
	Varginha/MG	Passo fundo/RS	Criciúma/SC	Juazeiro do Norte/CE	Itabira/MG	Guarapuava /PR	Ariquemes/RO
2000	18,86	39,58	59,56	40,87	24,19	46,83	31,04
2001	19,73	39,71	60,12	41,43	24,82	47,22	31,13
2002	20,19	40,19	60,54	41,61	25,06	47,41	31,40
2003	20,37	40,52	60,98	42,38	25,11	47,60	31,55
2004	20,58	40,75	61,29	42,95	25,23	47,80	32,08
2005	20,72	41,16	61,79	43,49	25,40	47,89	32,84
2006	21,40	41,49	62,41	44,10	25,50	48,12	32,95
2007	21,77	42,14	62,88	44,33	25,81	48,30	33,68
2008	21,76	42,71	63,56	44,74	26,12	48,67	33,90
2009	22,52	43,16	64,37	45,10	26,48	48,86	34,15
2010	22,95	43,83	65,59	45,34	26,65	49,06	34,27
2011	23,51	44,43	66,13	45,64	26,64	49,24	34,51
2012	24,22	45,25	66,80	45,67	26,64	49,49	34,81
2013	25,25	45,82	67,57	46,15	26,96	49,82	35,32
2014	25,91	46,53	68,09	46,78	27,26	50,52	35,55
2015	26,63	46,93	68,36	47,44	27,49	51,21	35,66
2016	27,11	47,47	68,97	48,01	28,16	51,77	35,71
2017	27,12	47,81	69,27	48,88	28,43	52,59	35,83
2018	28,77	48,01	69,77	49,34	28,63	52,87	35,88
Eq.	$0,5126x - 1006,8$	$0,4363x - 831,6$	$0,6091x - 1159,1$	$0,5169x - 994,8$	$0,2225x - 420,6$	$0,3109x - 575,3$	$0,2998x - 568,4$
R ²	0,9673	0,9837	0,9896	0,9873	0,9727	0,9309	0,9666

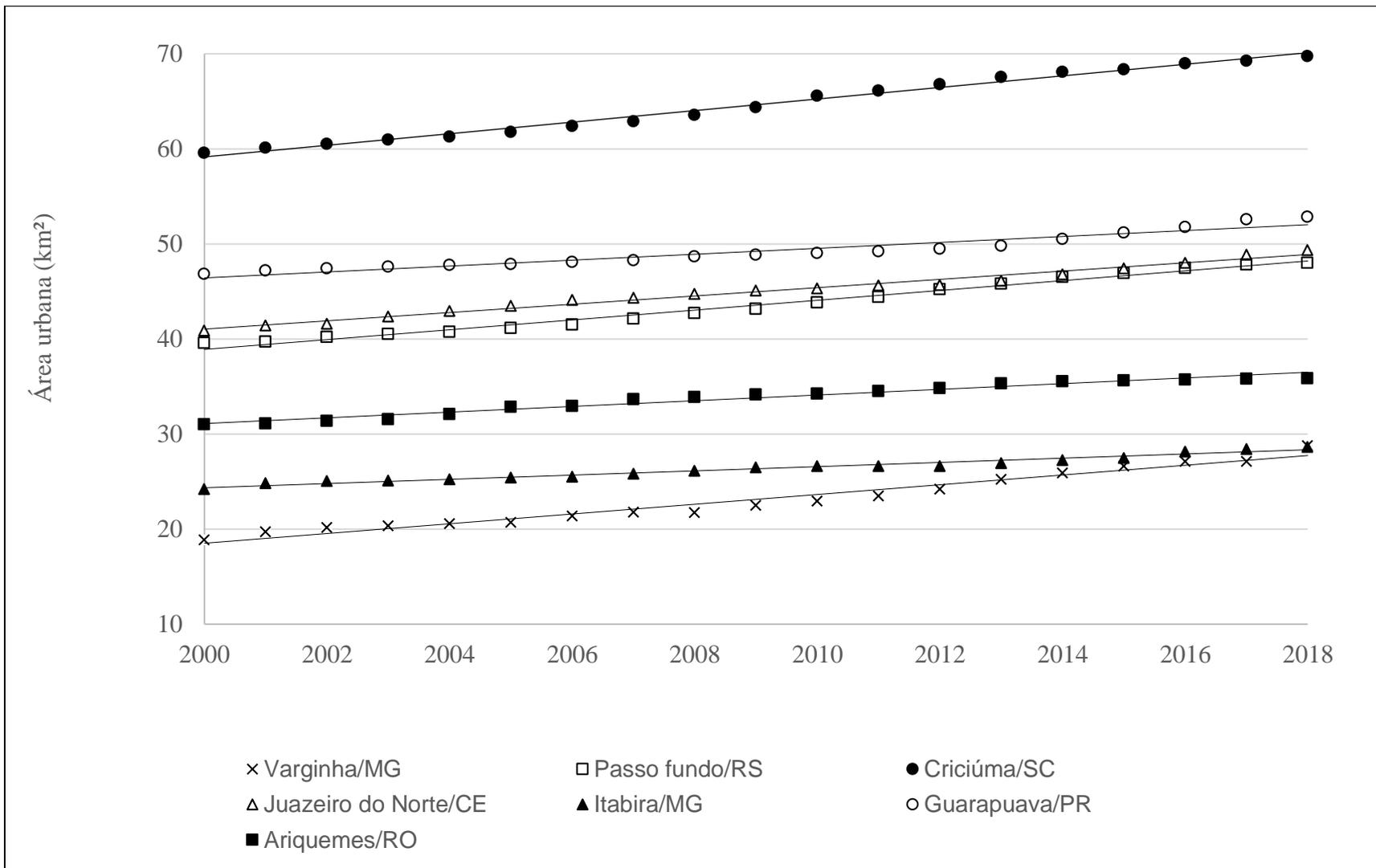


Figura 61: Evolução da área urbana nos municípios de médio porte populacional.

Tabela 27: Evolução do PIB dos municípios em um modelo linear.

Ano	Equação (y = ax + b): PIB (R\$ x 1000) = a x ano + b						
	Varginha/ MG	Passo fundo/RS	Criciúma/SC	Juazeiro do Norte/CE	Itabira/MG	Guarapuava /PR	Ariquemes/ RO
2000	1026550	1436416	1221207	474629	1138226	980090	381793
2001	1039480	1496695	1350061	531172	1168812	1141708	399805
2002	1052409	1521887	1492601	639519	1238096	1043406	449593
2003	1190417	1812027	1687204	720985	1426430	1414696	539636
2004	1413418	2004468	1922944	812130	1943421	1613752	657193
2005	1743855	2093361	2119512	907642	2274875	1618878	749021
2006	1900975	2290435	2357832	1116498	2089731	1689411	790697
2007	2460065	2555036	2570339	1246312	2140568	2038658	905203
2008	2479261	3071387	2873156	1423758	3043597	2130899	1064822
2009	2694418	3302338	3261862	1649601	2276112	2243906	1133095
2010	3234145	3903722	3870771	2151335	4137155	2507593	1364694
2011	3547542	4650219	4758666	2475504	5253017	2913277	1651885
2012	3685867	5950713	5016311	2829796	5559082	3439875	1703642
2013	4064743	7232715	5496582	3232446	6187543	4139712	1799853
2014	4559730	7385322	6349390	3819082	5641990	4428627	1921532
2015	4609287	7817190	6998879	3921616	3798890	4776925	2037799
2016	4493128	8342538	6898752	4183987	3726627	5239647	2184346
2017	5444355	8636758	7149694	4428414	5223193	5608156	2287910
2018	5512853	9150642	7686780	4815935	6625484	6115717	2464704
Eq.	269322x - 5E+08	480332x - 1E+09	391738x - 8E+08	257762x - 5E+08	290079x - 6E+08	286025x - 6E+08	122878x - 2E+08
R ²	0,9791	0,9300	0,9609	0,9508	0,7715	0,9336	0,9832

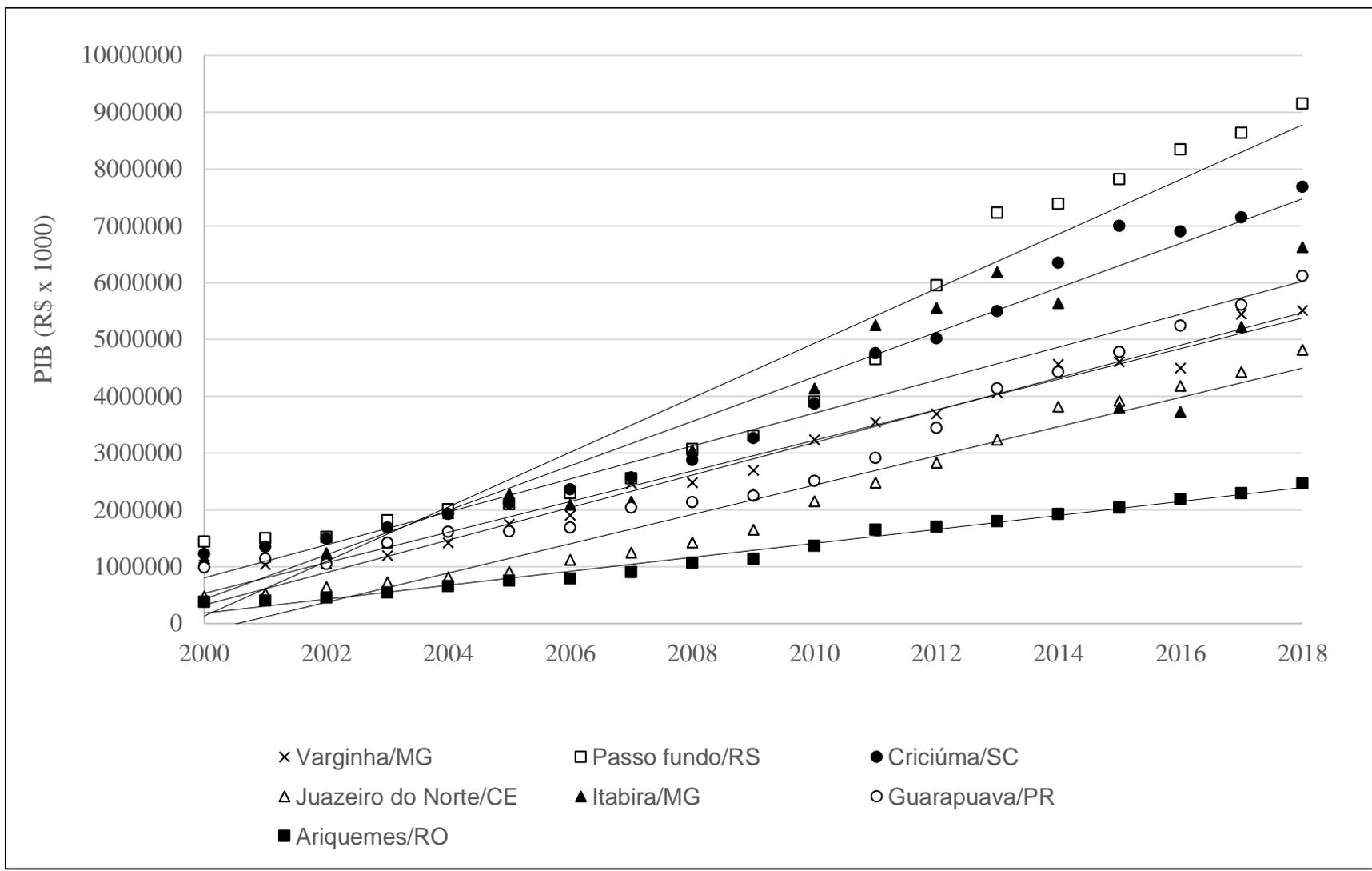


Figura 62: Evolução do PIB nos municípios de médio porte populacional.

Tabela 28: Evolução do PIB per capita dos municípios em um modelo linear.

Ano	Equação ($y = ax + b$): PIB per capita (R\$ / hab) = $a \times \text{ano} + b$						
	Varginha/ MG	Passo fundo/RS	Criciúma/SC	Juazeiro do Norte/CE	Itabira/MG	Guarapuava /PR	Ariquemes/ RO
2000	9418,06	8373,55	6999,64	2178,89	11286,33	6177,65	5018,24
2001	9348,83	8593,15	7638,55	2390,22	11428,02	7127,79	5117,05
2002	9279,6	8628,36	8343,35	2824,76	11953,85	6458,20	5618,30
2003	10310,21	10162,06	9321,98	3130,32	13612,66	8687,70	6599,20
2004	11802,09	11125,92	10502,50	3470,17	18345,06	9837,61	7874,35
2005	14277,51	11504,76	11442,78	3817,94	21253,56	9797,07	8800,00
2006	15268,63	12480,30	12586,72	4624,98	19335,93	10151,80	9117,92
2007	19394,87	13824,23	13574,04	5088,15	19632,65	12170,95	10259,82
2008	20542,22	16505,47	15011,42	5730,82	27675,61	12640,21	11873,31
2009	22123,84	17621,96	16859,61	6549,44	20522,89	13224,50	12439,56
2010	26276,56	21116,15	20135,52	8607,54	37764,65	14974,01	15103,86
2011	28571,88	24990,02	24530,59	9790,76	47468,59	17304,98	18039,59
2012	29437,95	31771,37	25643,93	11069,11	49850,98	20323,98	18368,70
2013	31233,86	37199,20	27157,70	12371,15	53425,17	23550,66	17772,99
2014	34735,77	37753,41	31023,03	14482,46	48327,47	25024,31	18681,04
2015	34825,71	39733,81	33824,41	14741,70	32294,15	26817,67	19518,96
2016	33685,66	42177,06	32984,24	15597,46	31453,37	29229,97	20627,28
2017	40519,45	43444,68	33825,65	16378,30	43787,51	31093,54	21313,62
2018	40994,76	45352,52	36084,27	17710,46	55589,45	33913,28	23215,13
Eq.	$1930,8x - 4E+06$	$2359,0x - 5E+06$	$1793,7x - 4E+06$	$932,7x - 2E+06$	$2354,6x - 5E+06$	$1550,2x - 3E+06$	$1074,4x - 2E+06$
R ²	0,9778	0,9331	0,9650	0,9556	0,7326	0,9423	0,9768

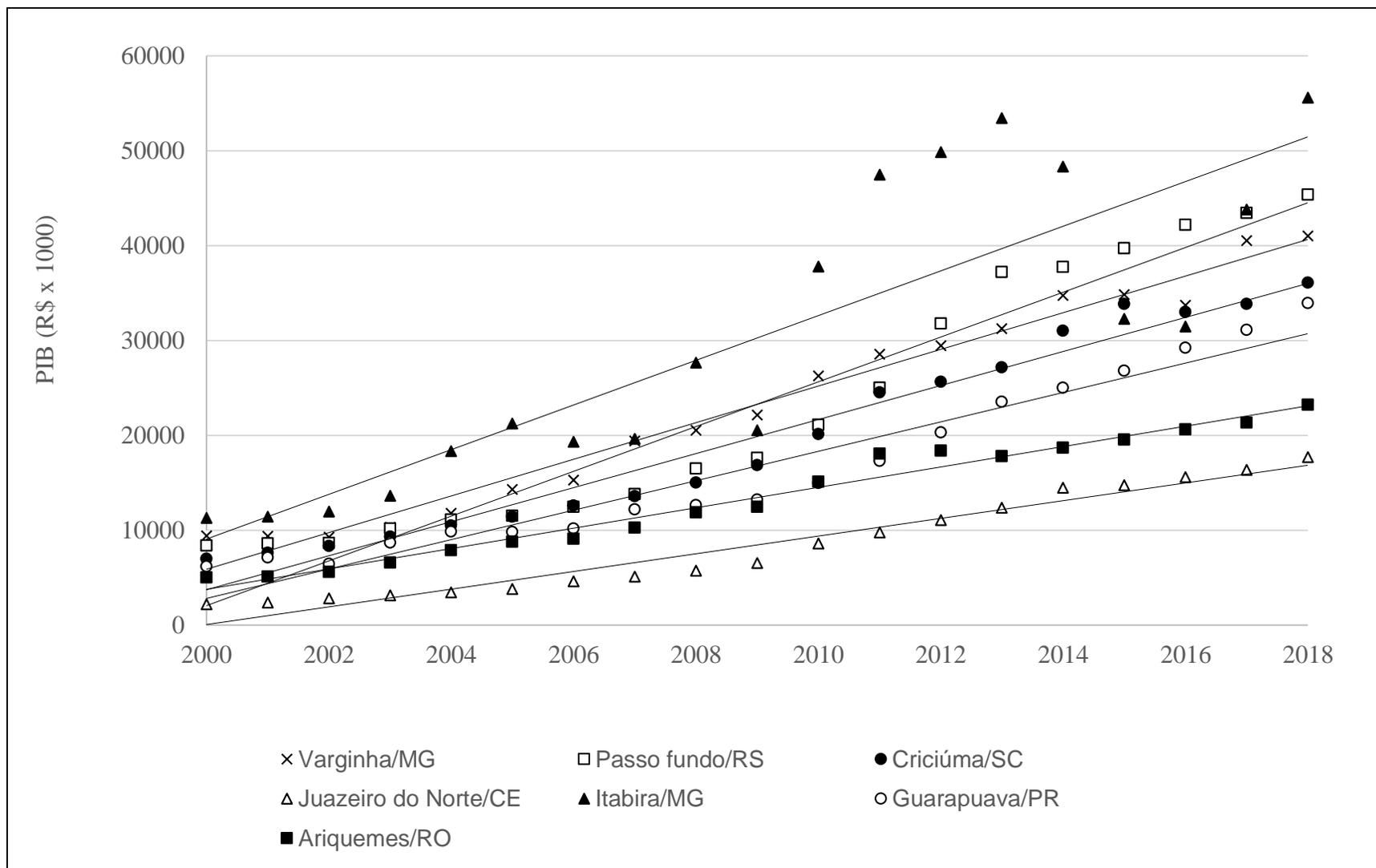


Figura 63: Evolução do PIB per capita nos municípios de médio porte populacional.

B - Pontos de deposição irregular em Varginha / MG

Ponto	Endereço	Observação	Latitude	Longitude
1	Avenida do Contorno	Próximo ao shopping / retorno	21°34'2.65"S	45°27'7.12"O
2	Avenida do Contorno	Próximo à passarela	21°33'30.65"S	45°27'11.00"O
3	Avenida do Contorno	Próximo ao posto de combustíveis	21°33'19.73"S	45°27'14.17"O
4	Avenida do Contorno	Próximo ao trevo de Elói Mendes	21°32'23.87"S	45°27'2.59"O
5	Avenida Almirante barroso	Próximo ao posto de combustíveis	21°32'17.63"S	45°27'13.11"O
6	MG-167 Varginha / Três Pontas	Próximo ao trevo	21°32'17.75"S	45°27'16.76"O
7	Avenida Dr. João Eugênio do Prado	Entroncamento com MG-167	21°32'13.73"S	45°27'18.78"O
8	Avenida Dr. João Eugênio do Prado	Estrada de terra / fundo da MG-167	21°32'15.84"S	45°27'14.28"O
9	Rua 7	Bairro Alto dos pinheiros	21°32'3.84"S	45°26'59.62"O
10	Rua Hésio Bertoli	Bairro Alto dos pinheiros	21°31'56.18"S	45°26'59.95"O
11	Avenida João Martinho da Ponte	Terreno com placa da PMV sobre descarte ilegal	21°31'59.47"S	45°27'9.86"O
12	Rua Rosa Miareli Delfraro	Próximo a curso d'água	21°32'6.17"S	45°27'24.63"O
13	Rua Zulmira Reis	Próximo a curso d'água	21°31'59.60"S	45°27'28.26"O
14	Rua Luiz Rossignoli	Próximo ao loteamento	21°31'46.67"S	45°27'31.69"O
15	Rua José Thomaz Lara	Próximo a construção abandonada	21°32'2.17"S	45°27'36.34"O
16	Avenida Benjamin Elisei	Próximo a terreno particular - PAVICAN	21°32'5.83"S	45°27'37.31"O
17	Avenida Waldemar Barroso de Rezende	Bairro Parque Rinaldo	21°32'16.87"S	45°27'35.52"O
18	Rua Manoel Salvador Costa	Na frente de construções	21°32'21.77"S	45°27'34.70"O
19	Estrada Samuel Costa	Novo loteamento	21°32'36.89"S	45°27'53.88"O
20	Estrada águas verdes	Novo loteamento	21°32'25.19"S	45°27'59.53"O
21	Rua Roberto Siqueira da Cruz	Na frente de construções	21°33'16.46"S	45°27'58.97"O
22	Avenida Sérgio de Biagi Bueno	Esquina com Rua José Ribeiro de Almeida	21°33'38.47"S	45°28'5.22"O
23	Rua José Jaime de Faria	Ao lado de construções	21°33'48.48"S	45°28'9.51"O
24	Rua Antônia Esper Kalas	Próximo ao hospital Varginha	21°33'39.36"S	45°27'42.22"O
25	Avenida Comendador Manoel Sendas	Esquina com Avenida Murilo Paiva	21°33'30.11"S	45°27'14.09"O
26	Avenida Comendador Manoel Sendas	Em frente ao condomínio Parque Imperador	21°33'12.68"S	45°27'24.47"O
27	Avenida José Pinto de Oliveira	Ao lado do UNIS	21°34'23.56"S	45°28'13.17"O
28	Bairro Aeroporto	Estrada de terra / Próximo ao UNIS	21°34'23.55"S	45°28'0.21"O
29	MG-491	Próximo ao retorno do UNIS	21°34'17.43"S	45°28'10.97"O
30	Avenida José Ribeiro Tristão	Em frente a Empresas Tristão	21°34'44.13"S	45°28'21.73"O

31	Avenida José Ribeiro Tristão	Final da rua / Próximo ao aeroporto	21°35'21.72"S	45°28'37.64"O
32	Rua Ronald Swerts	Esquina com Rua Parque das Grevíleas	21°35'11.69"S	45°27'19.85"O
33	Rua Ernesto Alves Pereira	Esquina com Avenida Vice-prefeito Rafael Barros	21°35'6.44"S	45°27'12.29"O
34	Avenida Rogassiano Francisco Coelho	Esquina com Rua Carlos Jaime Maiolini	21°34'59.27"S	45°27'25.25"O
35	Avenida Rogassiano Francisco Coelho	Esquina com Rua Manoel Augusto da Silva	21°34'56.25"S	45°27'22.05"O
36	Avenida Rogassiano Francisco Coelho	Entre a Rua Francisco R. da Silva	21°34'51.27"S	45°27'18.84"O
37	Avenida Rogassiano Francisco Coelho	Estrada de terra / Próximo ao córrego São José	21°34'46.72"S	45°27'25.63"O
38	Rua Gabriela de Rezende Paiva	Esquina com Rua José Gonçalves Dias	21°34'22.01"S	45°26'43.99"O
39	Rua Portugal	Esquina com Rua Prefeito José Vilhena	21°34'11.31"S	45°26'36.48"O
40	Rua José Justiniano de Paiva	Praça	21°33'47.20"S	45°26'41.00"O
41	Avenida Imigrantes	Em frente ao CEFET-MG	21°32'58.57"S	45°25'14.09"O
42	Avenida Imigrantes	Fundos do CEFET-MG	21°32'58.98"S	45°25'0.88"O
43	Rua Delfim Moreira	Próximo à praça João Gonzaga	21°33'19.75"S	45°25'55.61"O
44	Rua Misael Aparecido Sales	Esquina com Rua José Balbino dos Reis	21°33'46.03"S	45°27'7.63"O
45	Avenida Clodegano de Oliveira	Final da rua	21°33'50.23"S	45°27'9.28"O
46	Avenida Nove	Esquina com Avenida Quatro	21°33'54.91"S	45°27'8.56"O
47	Avenida Cinco	Próximo a vegetação	21°33'59.39"S	45°27'6.44"O
48	Rua Sallum Assad David	Curva do bairro Santa Luiza	21°34'41.14"S	45°26'41.97"O
49	Rua Sallum Assad David	Curva do bairro Santa Luiza	21°34'43.52"S	45°26'43.51"O
50	Rua Sallum Assad David	Curva do bairro Santa Luiza	21°34'45.13"S	45°26'46.48"O
51	Avenida Estado Unidos	Esquina com Rua Chile	21°34'6.77"S	45°26'30.19"O
52	Rua Padre Lupércio Perreira Simões	Final da rua / Próximo a vegetação	21°33'50.01"S	45°26'27.22"O
53	Rua Japão	Esquina com Rua Paris	21°34'22.01"S	45°26'5.25"O
54	Rua Projetada B	Próximo a Fundação Pró-café	21°34'25.73"S	45°26'1.61"O
55	Rua Geraldo Pereira Simões	Próximo a alteração para Rua Dez	21°34'43.24"S	45°25'51.31"O
56	Rua Ismael Onofre	Próximo à Avenida Celina Ferreira Ottoni	21°34'49.24"S	45°25'52.50"O
57	Rua Zeca Ponciano	Esquina com Rua Planalto	21°35'5.35"S	45°26'0.34"O
58	Rua Zeca Ponciano	Esquina com Rua Guarujá	21°35'4.08"S	45°25'52.54"O
59	Rua Cabo frio	Esquina com Rua Zeca Ponciano	21°35'8.20"S	45°25'45.77"O
60	Rua dos Inconfidentes	Paralela à Rua Zeca Ponciano	21°35'11.49"S	45°25'40.29"O
61	Rua dos Inconfidentes	Esquina com Rua Guarapari	21°35'14.73"S	45°25'50.06"O
62	Rua Planalto	Esquina com Rua dos Inconfidentes	21°35'18.55"S	45°25'53.57"O
63	Rua Atalaia Rezende	Esquina com Avenida Francisco Gonçalves Valim	21°35'21.78"S	45°26'5.46"O
64	Avenida Ayrton Senna da Silva	Próximo à Rua Nossa Senhora do Pêrtetuo Socorro	21°35'53.12"S	45°25'56.34"O

65	Estrada Varginha 475	Paralela à Avenida Ayrton Senna da Silva	21°36'1.12"S	45°25'47.12"O
66	Rua Joaquim de Oliveira Tatim	Esquina com Rua Professor Carvalho	21°35'15.57"S	45°26'22.44"O
67	Avenida Dr. Alcebiades Viana de Paula	Próximo à Rua Joaquim de Oliveira Tatim	21°35'11.94"S	45°26'27.15"O
68	Avenida Dr. Alcebiades Viana de Paula	Próximo à Rua José Luís Pressato	21°35'10.60"S	45°26'31.11"O
69	Rua São Lucas	Próximo à Avenida Rio São Francisco	21°35'21.68"S	45°26'40.92"O
70	Rua São Lucas	Esquina com Rua Santa Rita de Cássia	21°35'19.14"S	45°26'46.05"O
71	Avenida Rio São Francisco	Esquina com Avenida Rio Verde	21°35'28.34"S	45°26'42.94"O
72	Avenida Manuel Vida	Esquina com Rua Rio Doce	21°35'32.35"S	45°26'56.05"O
73	Rua Natália Dominguet Zanetti	Próximo à Rua José Sanches	21°35'27.24"S	45°27'15.30"O
74	Rua Rita Isméria de Carvalho	Esquina com Rua Bernard Johnson Júnior	21°35'21.33"S	45°27'21.40"O
75	Rua Vereador José Leandro	Próximo à Avenida Celina Ferreira Ottoni	21°34'44.22"S	45°25'38.10"O
76	Avenida Padre Bruno	Esquina com Avenida Osvaldo Valadão de Rezende	21°34'45.14"S	45°25'27.43"O
77	Avenida Padre Bruno	Paralela à Rua Pastor Luiz Rodrigues	21°34'48.01"S	45°25'22.95"O
78	Avenida Celina Ferreira Ottoni	Próximo a Igreja Assembléia de Deus	21°34'34.45"S	45°25'35.92"O
79	Avenida Celina Ferreira Ottoni	Em lote vago / lado direito	21°34'23.39"S	45°25'38.81"O
80	Avenida Celina Ferreira Ottoni	Em lote vago / lado esquerdo	21°34'22.37"S	45°25'40.49"O
81	Rua Nove	Próximo à Rua José Pereira Sales	21°34'34.88"S	45°24'59.78"O
82	Rua José Pereira Sales	Próximo à Rua Nove	21°34'38.03"S	45°25'0.88"O
83	Próximo à Avenida Celina Ferreira Ottoni	Referência: Exculmetro	21°34'37.82"S	45°24'11.94"O
84	Avenida Projetada	Próximo a Proluminas	21°34'34.44"S	45°24'4.25"O
85	Estrada Varginha 040	Próximo à Avenida Projetada	21°34'55.55"S	45°23'54.74"O
86	Rua Jair Santana	Próximo à Avenida Projetada	21°34'19.17"S	45°24'34.27"O
87	Rua Jair Santana	Esquina com Avenida José Elias de Oliveira	21°34'14.28"S	45°24'33.69"O
88	Próximo ao Estádio Melão	Referência: Vonstrução abandonada	21°34'5.79"S	45°24'53.51"O
89	Rua Nicolino Morães	Terreno vago	21°34'7.67"S	45°25'5.30"O
90	Rua Antônio Plácido de Barros		21°34'10.47"S	45°25'5.85"O
91	Avenida Júlio Fonseca	Esquina com Rua Ruth Carvalho	21°33'52.93"S	45°24'54.69"O
92	Avenida Júlio Fonseca	Esquina com Rua Gabriela Fraus Miranda	21°33'53.52"S	45°25'0.46"O
93	Alameda dos Guaratãs	Próximo à Rua Santa Paulina	21°33'36.54"S	45°25'18.71"O
94	Alameda dos Guaratãs	Esquina com Avenida Caetano Pássaro Filho	21°33'26.46"S	45°25'10.85"O
95	Rua 0	Esquina com Rua Orlando Junqueira Neto	21°33'14.46"S	45°24'58.66"O
96	Rua Adolfo Ferreira de Oliveira	Próximo à Rua Luiz Dominguito	21°33'23.10"S	45°24'50.24"O

97	Rua Lídia de Alvarenga Carvalho	Esquina com Avenida Cornélia de Carvalho Dominguito	21°33'19.71"S	45°24'41.50"O
98	Rua Lídia de Alvarenga Carvalho	Esquina com Rua Inês Leonina Bichara	21°33'25.21"S	45°24'37.28"O
99	Rua Lídia de Alvarenga Carvalho	Próximo à Rua Sérgio Bueno Pinto	21°33'31.74"S	45°24'31.85"O
100	Rua Inês Leonina Bichara	Esquina com Rua Geraldo Bráz	21°33'34.29"S	45°24'35.69"O
101	Rua Alzira de Paula Norente	Próximo à Rua João Ossani	21°33'28.89"S	45°24'19.64"O
102	Rua João Ribeiro da Silva	Próximo à Rua Professora Iza Rezende Cardoso	21°33'18.51"S	45°24'24.36"O
103	Rua José Cardoso Gomes	Próximo à Rua Edmundo Silva	21°33'11.88"S	45°24'28.58"O
104	Estrada Fazenda Edgar Rogão	Próximo aos fundos do CEFET-MG	21°32'59.68"S	45°24'48.76"O
105	Rua Antônio Bregaldo	Entroncamento com Avenida Imigrantes	21°32'27.63"S	45°25'3.09"O
106	Estrada Varginha 135		21°32'23.05"S	45°25'14.49"O
107	Estrada Varginha 136		21°32'17.22"S	45°25'9.21"O
108	Rua Ana Simões Madeira	Próximo à Rua Abrãao Caineli	21°32'45.19"S	45°25'30.77"O
109	Avenida Santo Afonso	Esquina com Rua Professor Fernando Máximo	21°32'52.51"S	45°26'19.96"O
110	Avenida Zoroastro Franco de Carvalho	Próximo ao córrego	21°33'18.97"S	45°25'34.41"O
111	Avenida Zoroastro Franco de Carvalho	Próximo ao córrego	21°33'10.70"S	45°25'26.73"O
112	Rua José Ferreira de Brito	Esquina com Rua Professora Zilda Rodrigues de Moura	21°32'30.28"S	45°25'32.73"O
113	Rua Antônio Bernardes Pereira	Próximo à Rua Antônio Resende Condé	21°31'38.50"S	45°26'54.49"O
114	Avenida Santo Afonso	Esquina com Rua Professor Fernando Máximo	21°33'1.05"S	45°26'13.01"O
115	Rua Geraldo Laurindo de Andrade	Próximo à Rua Luís Sérgio Viana	21°32'59.52"S	45°27'9.28"O
116	Rua Michel Mansur	Próximo à Rua Antônio Ribeiro Barra	21°32'47.62"S	45°27'8.70"O

C - Resultados estatísticos do modelo desenvolvido

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão

R múltiplo	0,9382243
R-Quadrado	0,8802648
R-quadrado ajustado	0,8563178
Erro padrão	851,48647
Observações	19

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	3	79953641,02	26651213,67	36,75881415	3,74273E-07
Resíduo	15	10875438,02	725029,2016		
Total	18	90829079,05			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	32012,365	8686,936332	3,685115643	0,002205312	13496,59847	50528,13146	13496,59847	50528,13146
Variável X 1	66,979253	460,0250334	0,145599147	0,886176378	-913,5408958	1047,499401	-913,5408958	1047,499401
Variável X 2	0,0055732	0,0037492	1,486495242	0,157863603	-0,002418063	0,013564399	-0,002418063	0,013564399
Variável X 3	-0,6064815	0,440168859	-1,377838262	0,188462706	-1,544679211	0,331716219	-1,544679211	0,331716219