



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO AMBIENTAL**

MICAÍAS ANTÔNIO DOS SANTOS JÚNIOR

**POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE PAVIMENTAÇÃO E
ESCAVAÇÃO GERADOS EM OBRAS DE MANUTENÇÃO DE REDES
COLETORAS DE ESGOTO: SUBSÍDIOS PARA GESTÃO AMBIENTAL**

Recife, 2019

MICAÍAS ANTÔNIO DOS SANTOS JÚNIOR

**POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE PAVIMENTAÇÃO E
ESCAVAÇÃO GERADOS EM OBRAS DE MANUTENÇÃO DE REDES
COLETORAS DE ESGOTO: SUBSÍDIOS PARA GESTÃO AMBIENTAL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva
Orientador

Prof Dr. Eduardo Alécio
Co-Orientador

Recife, 2019

- S237p Santos Júnior, Micaías Antônio dos.
Potencial de aproveitamento dos resíduos de pavimentação e escavação gerados em obras de manutenção de redes coletoras de esgoto: subsídios para gestão ambiental. / Micaías Antônio dos Santos Júnior. – Recife, PE: O autor, 2019.
212 f.: il., color. ; 30 cm.
- Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva.
Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Alécio.
- Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2019.
- Inclui referências.
1. Resíduos Sólidos. 2. Resíduos - Esgotos. 3. Construção - Resíduos. 4. Gestão Ambiental. I. Silva, Ronaldo Faustino da (Orientador). II. Alécio, Eduardo (Co-orientador). III. Título.
- 628.24 CDD (22 Ed.)

MICAÍAS ANTÔNIO DOS SANTOS JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DOS RESÍDUOS DE PAVIMENTAÇÃO E ESCAVAÇÃO GERADOS
EM OBRAS DE MANUTENÇÃO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO:
SUBSÍDIOS PARA GESTÃO AMBIENTAL**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da defesa: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva
Orientador (IFPE)

Prof.^a. Dr.^a Renata Maria Caminha Mendes de Oliveira Carvalho
Examinador Interno (IFPE)

Prof. Dr. João Manoel de Freitas Mota
Examinador Externo (IFPE)

APRESENTAÇÃO

O autor tem formação acadêmica em Engenharia Ambiental e Sanitária, curso técnico em Saneamento Ambiental e curso técnico em Edificações. Atualmente no mestrado em Gestão Ambiental e especialização em Tecnologia e Gestão da Construção, ambos em andamento.

Tem experiência na área de Engenharia Sanitária desde 2011, com ênfase em projetos de Saneamento, especificamente nos aspectos gráficos e de custos dos projetos de Sistema de Abastecimento de Água (SAA) e Sistema de Esgotamento Sanitário (SES). No momento trabalho como Supervisor de Manutenção de Redes de Esgoto na BRK Ambiental, na operação e manutenção dos Sistemas de Esgotamento Sanitário da Parceria Público Privada (PPP) de Pernambuco.

À minha família, por sua capacidade de acreditar no meu potencial e prover todo o suporte necessário para realização dos meus objetivos. Em especial à minha mãe, Rosângela Costa dos Santos, que com seu cuidado e dedicação, me deu diariamente a motivação para seguir

em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e meus guias espirituais, pela oportunidade de entrar no programa de Mestrado no IFPE, que me deram todo o suporte espiritual para conseguir concluir esse trabalho de dissertação.

Agradeço à minha família, especialmente aos meus irmãos Caio Costa, Jéssica Costa e Rennan Costa, os quais tenho como filhos, por todo o carinho diário. Estendo o agradecimento à minha tia Nadja Costa, por ser uma segunda mãe pra mim, que com sua generosidade e suporte é um anjo da guarda para toda família. Agradeço aos meus pais, Micaías Santos e Rosângela Costa, pela liberdade de escolha de vida e profissão, além de todo o amor incondicional.

Em especial, agradeço à minha mãe, que com toda dificuldade de vida soube me dar educação, amor e carinho, nunca deixando que nada a mim faltasse. É impossível não lembrar de quando era pequeno e dizia para ela que queria ser gari por achar o trabalho de limpeza urbana fantástico. Ela sempre me dizia: “você pode ser o que quiser na vida, eu vou sempre te apoiar, contanto que você busque ser o melhor naquilo que se propuser a fazer, sempre respeitando aqueles que trabalham junto a você.” Hoje sou Engenheiro Ambiental e Sanitarista, concluindo o mestrado em Gestão Ambiental e com tema voltado para resíduos. Gratidão.

Agradeço aos meus amigos e irmãos do coração: Giovanna Arruda, Giuliana Figueiredo Heberth Macedo, Henrique Costa, Ivy Rodrigues, Jéssica Barreto, Luan Sales, Maria Hortência, Stefany Gomes, Thalita Lacerda, Vicente Landim e Weslly Gomes, que perto ou longe se mantiveram presentes em minha vida, apoiando e emanando energias positivas. Amo vocês.

Agradeço à BRK Ambiental pela autorização do uso dos dados para estudo na dissertação, assim como estendo o agradecimento aos colegas de trabalho da BRK Ambiental, especialmente às áreas: Obras Operacionais, Comprovação de Investimentos, Comercial, Sustentabilidade, Suprimentos, Cartografia e Cadastro.

Meus agradecimentos aos professores da base da minha formação: curso técnico em Saneamento Ambiental. Com suas aulas e dedicação, passei amar a área do Saneamento, assim como tê-los como inspiração profissional: Clifford Ericsson, Ioná Rameh, Rejane Luna e Verônica Sarmiento.

Ao professor Ronaldo Faustino preciso agradecer por toda a compreensão e paciência, principalmente nos momentos em que não pude cumprir com os prazos acordados, como no período em que permaneci ausente das atividades de orientação. Apesar de toda a turbulência para poder conciliar o trabalho e mestrado, com a sua disponibilidade e orientação, foi possível concretizar esse sonho. Não tenho palavras para agradecer, apenas dizer obrigado por, apesar dos pesares, ainda acreditar no meu potencial e me proporcionar uma segunda chance.

Por fim, deixo o meu agradecimento para a Coordenadora do Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, Renata Caminha, por acreditar no meu potencial e me ajudar no momento mais difícil enquanto aluno do mestrado. Sem o seu apoio, decisivo para que fosse possível dar continuidade à minha pesquisa, eu não estaria concluindo o trabalho.

“Mas na profissão, além de amar, tem de saber. E o saber leva tempo pra crescer.”

Rubem Alves

RESUMO

O Brasil ainda possui baixos índices de coleta e tratamento de esgoto. Para que a universalização dos serviços de esgoto seja atingida, será necessária a realização de obras, que por sua vez geram resíduos, comumente dispostos em aterros. O trabalho de avaliação dos resíduos de pavimentação e escavação gerados em obras de manutenção de redes coletoras de esgoto visando obter subsídios para gestão ambiental, foi desenvolvido na Região Metropolitana do Recife, em Pernambuco, no período de janeiro a agosto de 2018. Esse trabalho realizou a análise e cálculo da geração de resíduos de 4797 obras e teve por objetivo diagnosticar os aspectos da geração de resíduos de construção e demolição das obras de manutenção nas redes e ramais coletores de esgoto; criar indicadores de geração de resíduos de modo a subsidiar a estimativa de geração de resíduos por parte dos gestores; identificar de forma preliminar, rotas tecnológicas para reutilização, reciclagem e disposição final dos resíduos estudados, de modo a fomentar a análise mais aprofundada de seus aspectos de viabilidade. O estudo foi realizado através de vistorias técnicas em campo; análise de relatórios; análise de planilha de controle de obras; levantamento de custos com gerenciamento de resíduos e aquisição de novos materiais; levantamento de aspectos e impactos ambientais; diagnóstico das rotas tecnológicas existentes. Na etapa de diagnóstico, foi possível constatar que apenas 15% das obras realizadas reaproveitavam o material proveniente da escavação, enquanto que 85% desse material seguia para aterros. Foram criados indicadores de geração de resíduos, levando em conta aspectos como quilometragem de rede coletora de esgoto, número de poços de visita, número de ligações de esgoto, população, quantidade de obras, custos com gerenciamento de resíduos e aquisição de novos insumos. Foi possível estimar os quantitativos de obras, assim como os custos com destinação e aquisição de novos insumos para as fases de implantação e pós universalização, chegando ao valor de aproximadamente US\$ 7,68 milhões. A partir das proposições de rotas tecnológicas para cada resíduo identificado, foi visto que, com exceção daqueles contaminados com esgoto, todos possuíam alternativas para reutilização ou reciclagem. A alocação dos resíduos na rota tecnológica existente indicou que 100% dos resíduos não reaproveitados *in loco* eram destinados em aterros sanitários, onde a partir das proposições das novas rotas tecnológicas, a possibilidade de reaproveitamento dos resíduos poderia chegar até 87% de todo material que é demolido ou escavado.

Palavras-chave: Resíduos de Construção e Demolição; Resíduos de obras de redes e ramais de esgoto; Rotas tecnológicas de resíduos.

ABSTRACT

Brazil still has low rates of sewage collection and treatment. In order for the universalization of sewage services to be achieved, it will be necessary to carry out works, which in turn generate waste, commonly disposed of in landfills. The work of evaluation of the paving and excavation residues generated in maintenance works of sewage collection networks in order to obtain subsidies for environmental management was developed in the Metropolitan Region of Recife, in Pernambuco, from January to August, 2018. This work carried out the analysis and calculation of the waste generation of 4797 works and had as objective to diagnose the aspects of the generation of construction waste and demolition of the maintenance works in the networks and extensions of sewage collectors; create indicators of generation of waste to subsidize the estimate of generation of waste by managers; to identify, in a preliminary way, the technological routes for reuse, recycling and final disposal of the waste studied, in order to stimulate a more in-depth analysis of its feasibility aspects. The study was carried out through field surveys; analysis of reports; worksheet control analysis; cost management with waste management and acquisition of new materials; survey of environmental aspects and impacts; diagnosis of existing technological routes. At the diagnostic stage, it was possible to verify that only 15% of the sewage collection constructions done reused material from the excavation, while 85% of this material went to landfills. Waste generation indicators were created, taking into account aspects such as sewerage network mileage, number of wells, number of sewage connections, population, quantity of works, waste management costs and acquisition of new inputs. It was possible to estimate the quantity of works, as well as the costs with destination and acquisition of new inputs for the implantation and post universalization phases, reaching the value of approximately US\$ 7,68 million. From the technological route propositions for each identified waste, it was seen that, with the exception of those contaminated with sewage, all had alternatives for reuse or recycling processes. Allocation of waste on the existing technological route indicated that 100% of the waste not reused on site was destined for landfills, where from the propositions of the new technological routes, the possibility of reuse of the waste could reach up to 87% of all material that is demolished or excavated.

Keywords: Construction and demolition waste; waste from sewer collection constructions; Technological routes of waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cobertura do Saneamento para as regiões ao redor do mundo.....	24
Figura 2 - Desenho esquemático de um Sistema de Esgotamento Sanitário e seus principais componentes.	26
Figura 3 - Material por tipo de categoria e processo de escavação. A. Material de 1ª categoria. B. Material de 2ª categoria. C. Material de 3ª categoria.....	37
Figura 4 - Poço de visita, tubo de queda e poço de queda.....	41
Figura 5 - Etapas do reaterro.	44
Figura 6 - Layout de uma ATT, que pode existir independentemente ou acoplada a recicladora e aterro de resíduo de construção.	65
Figura 7 - Área de Transbordo e Transporte. A. Entrada de uma ATT. B. Descarga de resíduos recebidos. C. Triagem de resíduos. D. Resíduos triados.	66
Figura 8 - Logística reversa na construção civil.....	67
Figura 9 - Processo de reciclagem de entulhos.....	69
Figura 10 - Representação esquemática de uma unidade recicladora de resíduos de construção classe A.....	71
Figura 11 - Unidade recicladora de RCD. A. Alimentação de equipamento para reciclagem de resíduo classe A. B. Britador de mandíbulas usado na britagem de RCD. C. Peneira sobre base separadora de agregados de vários tamanhos. D. Pilha de agregados reciclados.....	72
Figura 12 - Recuperadora de solo, com evidenciação da alimentação e transportador de correia.	72
Figura 13 - Esquema do equipamento de reciclagem a quente no local.....	78
Figura 14 - Agregados reciclados. A. Pilhas de agregados reciclados. B. Agregado reciclado graúdo. C. Agregado reciclado graúdo. D. Agregado reciclado miúdo.....	81
Figura 15 - Aplicação de resíduos de construção civil classe A reciclados em pavimentação. A. Uso de agregado reciclado em pavimentação. B. Via pavimentada com agregado reciclado nas camadas abaixo do revestimento asfáltico.....	82
Figura 16 - Agregados reciclados. A. Blocos produzidos com agregados reciclados. B. Blocos produzidos com agregados reciclados. C. Pré-moldados produzidos com agregados reciclados. D. Pré-moldados produzidos com agregados reciclados.	84
Figura 17 - Aterro para RCD e resíduos inertes. A. Frente de aterramento de RCD já triado. B. Equipamento manejando resíduo no aterramento. D. Aterramento de RCD já triados.....	86
Figura 18 - Pontos de recepção de pequenos volumes. A. Pontos de recepção. B. Transferência de resíduos para	87
Figura 19 - Estocolmo, São Francisco e Renânia-Palatinado: rotas tecnológicas (em %).	89
Figura 20 - Fluxograma das etapas metodológicas.	91
Figura 21 - Sistemas de Esgotamento Sanitário do município do Recife.	93
Figura 22 - Área de atuação da PPP de Saneamento de Pernambuco e divisão por regional. .	94
Figura 23 - Consulta de Ordem de Serviço (OS) via sistema GSAN.....	96
Figura 24 - Consulta dos registros fotográficos da Ordem de Serviço (OS) via sistema GSAN.	96
Figura 25 - Recuperações em PVs, CIs e TILs. A. Corte AA do dispositivo de inspeção. B. Vista de cima do dispositivo. C. Recuperação em 20% de sua estrutura. D. Recuperação em 50% de sua estrutura. E. Recuperação em 100% de sua estrutura. F. Legenda.....	100
Figura 26 - Etapas do processo de levantamento de aspectos e impactos ambientais.....	106
Figura 27 - Obras em tubulações de rede e ramal coletores de esgoto. A. Tubulação de rede coletora de esgoto danificada. B. Conserto de rede coletora de esgoto danificada. C. Execução de nova ligação de esgoto. D. Execução de nova ligação de esgoto.....	115
Figura 28 - Substituição de tampas de poço de visita e caixa de inspeção. A. Tampa de caixa	

de inspeção danificada. B. Tampa de caixa de inspeção substituída. C. Tampa de poço de visita danificada. D. Tampa, de poço de visita substituída.	117
Figura 29 - Recuperação de poço de visita e caixa de inspeção. A. Andamento de obra de recuperação de poço de visita em até 20% de sua estrutura com fornecimento de tampa articulada em ferro fundido. B. Andamento de obra de recuperação de poço de visita em até 20% de sua estrutura com fornecimento de tampa articulada em ferro fundido. C. Andamento de obra de recuperação de caixa de inspeção em até 70% de sua estrutura com fornecimento de tampa disco em concreto armado. D. Andamento de obra de recuperação de caixa de inspeção em até 70% de sua estrutura com fornecimento de tampa disco em concreto armado.	118
Figura 30 - Etapas das obras de redes coletoras de esgoto com maiores potenciais de geração de resíduos e aquisição de novos materiais. A. Demolição de pavimento. B. Escavação. C. Reaterro. D. Reposição de pavimento.	120
Figura 31 - Resíduos gerados a partir dos processos de escavação e demolição de pavimentos. A. Solo. B. Pavimento asfáltico. C. Pavimento em paralelo. D. Pavimento em concreto. ...	122
Figura 32 - Resíduos gerados a partir do processo de demolição de pavimentos. A. Cerâmica. B. Lajota. C. Pedra Portuguesa. D. Paver, <i>blokret</i> ou intertravado.	123
Figura 33 - Filmagem em tubulações de manilha cerâmica. A. Danificação da tubulação na geratriz superior esquerda. B. Sinais de fissuras nas paredes da tubulação.	125
Figura 34 - Materiais destinados em aterro. A. Tampas, tubulações, material de escavação e pavimentação. B. Estrutura de poço de visita substituída.	130
Figura 35 - Fluxograma do processo de execução de obras em redes e ramais coletores de esgoto.	146
Figura 36 - Coleta, transporte e transbordo dos resíduos nas obras de redes e ramais coletores de esgoto. A. Coleta de forma mecanizada e transporte dos resíduos em caminhão basculante. B. Coleta de forma manual e transporte dos resíduos em veículo leve. C. Coleta de forma manual e transporte dos resíduos em caminhão carroceria aberta. C. Área de transbordo de resíduos na ETE Ignez Andreazza.	148
Figura 37 - Depósito de material para reaterro de valas e cavas na ETE Ignêz Andreazza. A. Material para reaterro de valas e cavas (pó de pedra). B. Aterro da vala em obra com pó de pedra.	149
Figura 38 - Rota tecnológica da coleta e destinação final dos resíduos de execução de obras de redes e ramais coletores de esgoto.	149
Figura 39 - Exemplo de obra onde não há a segregação dos materiais, com o processo de reaterro sendo realizado com pó de pedra.	151
Figura 40 - Tendência evolutiva dos custos, obras e resíduos.	167
Figura 41 - Rota tecnológica proposta para os resíduos de componentes contaminados.	170
Figura 42 - Rota tecnológica proposta para os resíduos de pavimentação do tipo paralelo, pedra portuguesa e paver.	171
Figura 43 - Rota tecnológica proposta para os resíduos de pavimentação do tipo asfalto.	171
Figura 44 - Rota tecnológica proposta para os resíduos de pavimentação do tipo asfalto.	172
Figura 45 - Rota tecnológica proposta para os resíduos de escavação de solos.	173
Figura 46 - Separação de materiais durante a execução das obras. A. Visão geral da obra. B. À esquerda material proveniente da demolição de pavimento e materiais de base de pavimentação, à direita o solo do processo de escavação sendo reaproveitado.	174
Figura 47 - Alocação dos resíduos nas rotas tecnológicas da etapa de diagnóstico.	178
Figura 48 - Alocação dos resíduos nas rotas tecnológicas propostas.	179
Figura 49 - Layout da área de transbordo na ETES-01 Ignêz Andreazza.	182
Figura 50 - Área de Transbordo na ETES-01 Ignêz Andreazza. A. Visão geral da área de transbordo. B. Disposição dos materiais provenientes das obras de redes e ramais coletores de	

esgoto.....	183
Figura 51 - Layout da área de transbordo na EEJ-01 Fragoso.	184
Figura 52 - Área de Transbordo na EEJ-01 Fragoso. A. Visão geral da área de transbordo. B. Disposição dos materiais provenientes das obras de redes e ramais coletores de esgoto.	185
Figura 53 - Central de Armazenamento Temporário de Resíduos (CATRE). A. CATRE ETE Dancing Days. B. CATRE ETEJ-01 Peixinhos.	186
Figura 54 - CTR-PE Igarassu. A. Visão geral da CTR-PE Igarassu. B. Aterro sanitário.	188
Figura 55 - Layout da Central de Tratamento e Beneficiamento de Solo (CTBS) e Usina de RCD na ETEJ-01 Janga.	190
Figura 56 - Central de Tratamento e Beneficiamento de Solo (CTBS) e Usina de RCD na ETEJ-01 Janga.	191
Figura 57 - Usina de reciclagem de RCD da Ciclo Ambiental. A. Visão geral da usina de reciclagem de RCD. B. Material reciclado.	192
Figura 58 - Pista de homogeneização da Central de Solos na ETE Deodoro, Rio de Janeiro.	194
Figura 59 - Rotas tecnológicas e distribuição geográfica de unidades de transbordo, tratamento e disposição final.	197

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Representação da amostra estudada.....	98
Gráfico 2 - Gráfico com percentual de localização das obras em função do tipo de pavimento.	126
Gráfico 3 - Gráfico com percentual de geração de resíduo de demolição de pavimento em t por tipo.....	127
Gráfico 4 - Percentual de obras que reaproveitaram ou não o material proveniente de serviços de escavação.	128
Gráfico 5 - Percentual de geração em t de material reaproveitado e material para aterro.....	129
Gráfico 6 - Estratificação do material disposto em aterro em t.	130
Gráfico 7 - Estratificação dos volumes de demolição e escavação das obras em caixas de inspeção.	159
Gráfico 8 - Estratificação dos volumes de demolição e escavação das obras em poços de visita.	161
Gráfico 9 - Estratificação dos volumes de demolição e escavação das obras em tubulações.	162

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Material por tipo de categoria e processo de escavação.....	38
Quadro 2 - Informações preliminares a respeito da destinação e/ou disposição final dos resíduos de construção civil.....	62
Quadro 3 - Comparação entre consumo de energia.....	79
Quadro 4 - Requisitos para aplicação de agregados reciclados em camadas de pavimentação.	83
Quadro 5 - Tipos de obras realizadas nas redes e ramais coletores de esgoto.....	114
Quadro 6 - Atividades geradoras de resíduos de pavimentação e escavação ou inerentes à aquisição de novos materiais para reposição.	119
Quadro 7 - Tipos de resíduos gerados durante os processos de escavação ou demolição de pavimento.	121
Quadro 8 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de deslocamento das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.	133
Quadro 9 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de demolição de pavimento das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.	134
Quadro 10 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de escavação das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.	136
Quadro 11 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de conserto das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.	138
Quadro 12 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de reaterro das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.	139
Quadro 13 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de recomposição de pavimento das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.	141
Quadro 14 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de limpeza das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.	143
Quadro 15 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de gerenciamento dos RCC das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.....	144

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de atendimento com água e esgotos dos municípios cujos prestadores de serviços são participantes do SNIS em 2017, segundo região geográfica e Brasil.	25
Tabela 2 - Dados primários inseridos na planilha de geral de dados.	99
Tabela 3 - Dados secundários calculados na planilha geral de dados.	101
Tabela 4 - Valores de densidade de materiais usados para cálculo dos quantitativos de resíduos em toneladas.	104
Tabela 5 - Custos unitários com destinação de resíduos de obras de redes e ramais coletores de esgoto.	104
Tabela 6 - Custos unitários com transporte de resíduos de obras de redes e ramais coletores de esgoto.	105
Tabela 7 - Custos com aquisição de novos materiais para as obras de redes e ramais coletores de esgoto.	105
Tabela 8 - Quantitativo de obras realizadas por Sistema de Esgotamento Sanitário no período de janeiro a agosto de 2018.	124
Tabela 9 - Média dos custos com aquisição de materiais para reaterro e base.	131
Tabela 10 - Média dos custos com transporte e destinação final de resíduos de escavação e demolição de pavimentos.	132
Tabela 11 - Percentual de obras realizadas por tipo de serviço e grupo.	154
Tabela 12 - Indicadores gerais para estimativa do quantitativo de obras operacionais em um SES.	155
Tabela 13 - Indicadores gerais para estimativa da geração de resíduos em função de características de um SES.	156
Tabela 14 - Indicadores gerais para estimativa do custo com transporte e destinação de resíduos em função de características de um SES.	157
Tabela 15 - Indicadores gerais para estimativa do custo com aquisição de novos insumos para reaterro e base de pavimentação em função de características de um SES.	158
Tabela 16 - Projeção atual e para final de projeto da geração de resíduos de demolição e escavação das obras operacionais.	164
Tabela 17 - Projeção atual e para final de projeto dos custos inerentes à geração de resíduos de demolição e escavação das obras operacionais.	166

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APP	Áreas de Preservação Ambiental
ATT	Área de Transbordo e Triagem
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
BRK	<i>Brookfield</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAP	Cimento asfáltico de petróleo
CATRE	Central de Armazenamento Temporário de Resíduos
CBR	Ensaio de Índice de Suporte Califórnia
CI	Caixa de inspeção
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CP	Caixas de passagem
CPRH	Agência Estadual do Meio Ambiente
CTBS	Central de Tratamento e Beneficiamento de Solos
CTR	Controle de Transporte de Resíduos
CTR-PE	Central de Tratamento de Resíduos de Pernambuco
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DGD	Dispositivo Gerador de Descarga
DN	Diâmetro nominal
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DWG	Ambiente de tecnologia e arquivos
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
EMBASA	Empresa Baiana de Águas e Saneamento
EPC	Equipamento de Proteção Coletiva
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GSAN	Sistema Integrado de Gestão de Serviços de Saneamento
NBR	Norma Brasileira
OS	Ordem de Serviço
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEGRS	Programa Estadual de Gestão de Resíduos Sólidos
PET	Politereftalato de etileno
PGIRS	Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PI	Poço de inspeção
PN	Proctor Normal
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos

PP	Polipropileno
PPP	Parceria Público Privada
PS	Pontos de segurança
PV	Poço de visita
PVC	Policloreto de vinila
RCC	Resíduo de Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RECESA	Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental
RMR	Região Metropolitana do Recife
RN	Referência de nível
RS	Resíduos Sólidos
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SEIRES	Sistema Estadual de Informações sobre Resíduos Sólidos -
SEIRES	Sistema Estadual de Informações sobre Resíduos Sólidos
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SINIMA	Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SINISA	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente no Brasil
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária do Brasil
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
TIL	Tubo de inspeção e limpeza
TL	Terminal de limpeza

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
2 OBJETIVOS.....	23
2.1 Objetivo geral.....	23
2.2 Objetivos específicos.....	23
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
3.1 Redes e ramais coletores de esgoto.....	24
3.1.1 Saneamento e Sistema de Esgotamento Sanitário.....	24
3.1.2 Redes e ramais coletores de esgoto.....	27
3.2 Aspectos legais e definições dos resíduos sólidos.....	45
3.2.1 Aspectos legais dos resíduos sólidos.....	45
3.2.2 Resíduos sólidos.....	48
3.2.3 Resíduos de operação e manutenção de SES.....	53
3.2.4 Resíduos de Construção e Demolição.....	59
3.3 Destinação e disposição final de RCD.....	61
3.3.1 Coleta, transporte, transbordo e triagem.....	62
3.3.1 Destinação de RCD.....	66
3.3.1 Disposição final de RCD.....	85
3.3.1 Rotas tecnológicas.....	88
4 METODOLOGIA.....	91
4.1 Área de estudo.....	92
4.2 Etapas metodológicas.....	95
4.2.1 Diagnóstico.....	95
4.2.2 Indicadores de geração de resíduos.....	106
4.2.3 Proposição de rotas tecnológicas.....	111
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	113
5.1 Diagnóstico.....	113
5.1.1 Identificação das obras, atividades e tipos de resíduos gerados.....	113
5.1.2 Quantitativos das obras e aspectos influenciadores à geração de resíduos.....	123
5.1.3 Custos com a geração de resíduos e aquisição de novos insumos.....	131
5.1.4 Aspectos e impactos ambientais.....	132
5.1.5 Identificação das rotas tecnológicas existentes.....	146
5.2 Indicadores.....	153

5.2.1 Indicadores gerais	153
5.2.2 Indicadores de geração de resíduos	156
5.2.3 Projeção da geração de resíduos para as fases atual e final do projeto	163
5.2.4 <i>Dashboard</i>	168
5.3 Proposição de rotas tecnológicas	169
5.3.1 Rotas tecnológicas para os resíduos de demolição de pavimento e solos de escavação	169
5.3.2 Rotas tecnológicas e alocação quantitativa de resíduos	178
5.3.3 Rotas tecnológicas, distribuição espacial e proposição das unidades de transbordo, reciclagem e disposição final.....	180
6 CONCLUSÃO.....	199
REFERÊNCIAS	201

1 INTRODUÇÃO

As ações relativas à universalização do Saneamento sempre são tidas como ações mitigadoras de impacto ambiental. Contudo, se sabe que se seus aspectos de projeto, construtivos, de operação ou manutenção, forem negligenciados, ao invés de um agente mitigador, tem-se um potencializador de impactos ao meio ambiente. Com o Sistema de Esgotamento Sanitário não é diferente, sendo vários os riscos que a má gestão desse sistema pode oferecer: interligações clandestinas, extravasamentos de esgoto, despejo de esgoto in natura nos corpos hídricos, geração e disposição incorreta de resíduos, etc.

Os resíduos gerados durante as obras de manutenção da rede coletora de esgoto são compostos na sua grande parte por material de escavação, popularmente conhecidos como material de “bota fora” e material de demolição de pavimento (entulhos). Tais materiais, assim como a maioria dos Resíduos de Construção Civil, são encaminhados para aterros sanitários por ainda não serem aplicados em outros processos.

O Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) divulgou no ano de 2017 o “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos”. De acordo com esse documento, Pernambuco tinha o índice de 79,13 % de atendimento total de água e apenas 27,73 % de atendimento total de esgoto, dentro do universo de municípios atendidos com água (BRASIL, 2019).

A partir da Parceria Pública Privada (PPP) dos serviços de esgotamento sanitário na Região Metropolitana do Recife (RMR), haverá investimentos na ordem de 4,5 bilhões de reais em saneamento a serem investidos num período de 35 anos. Os investimentos serão aplicados na ampliação, implantação e recuperação dos Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES). O objetivo da parceria é elevar o percentual de coleta e tratamento de esgoto de 30% para 90% (PERNAMBUCO, 2013).

Avaliando o cenário descrito pelo SNIS no ano de 2017 e a proposta de universalização da PPP de Pernambuco, constata-se que com a elevação do percentual de atendimento dos serviços de esgoto, conseqüentemente haverá o aumento da geração de resíduos provenientes das atividades nos SES.

Do início da concessão em 2013, até o ano de 2037, haverá a implantação de novos Sistemas de Esgotamento Sanitário, a fim de se obter a universalização dos serviços de esgoto na RMR. Durante esse período, assim como na pós universalização, haverá o aumento de obras, geração de resíduos e custos inerentes ao gerenciamento de resíduos, que por sua vez serão destinados em aterros sanitários.

O objeto de estudo foi escolhido porque ainda existe uma lacuna na literatura em relação à existência de indicadores de geração desses resíduos, como os mesmos são gerados nas obras, quais os seus aspectos e impactos ambientais, assim como quais são as alternativas existentes para a devida reutilização e reciclagem dos RCD de obras de redes e ramais coletores de esgoto.

A relevância desta pesquisa está no fato de tratar um assunto até então não abordado no meio acadêmico (que pode desencadear em uma série de outros estudos relativos aos aspectos de viabilidade de reaproveitamento dos resíduos), analisando um tema que tende a ser cada vez mais relevante no Brasil, tendo em vista os crescentes estudos para realização de Parcerias Público Privadas de saneamento em todo o país. Ainda assim, é relevante para a gestão ambiental e sociedade, uma vez que fecha um ciclo de pesquisa com soluções para a redução e reaproveitamento de resíduos através da proposição de rotas tecnológicas, como também em função desses processos haver a possibilidade de geração de novos empregos e renda.

A presente pesquisa propõe o conhecimento dos resíduos de escavação e demolição de obras em redes de esgoto, fomentando a busca por inovações tecnológicas para reaproveitar os resíduos, proporcionando a diminuição da extração de recursos naturais e o aumento do tempo de vida útil dos aterros sanitários. O presente estudo traz proposições de alternativas e não substitui a necessidade da realização de estudos de viabilidade técnica, econômica, ambiental, social e legal, assim como a necessidade de estudos para elaboração de projetos de engenharia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar os resíduos de pavimentação e escavação gerados nas obras de manutenção de redes e ramais coletores de esgoto, de forma a obter subsídios para a gestão ambiental.

2.2 Objetivos específicos

A pesquisa deverá atender aos seguintes objetivos específicos:

- a. Diagnosticar nas obras de manutenção nas redes e ramais coletores de esgoto, de forma a avaliar suas características no que concerne à geração dos resíduos de escavação e pavimentação;
- b. Definir indicadores de geração para os resíduos de pavimentação e escavação das obras de manutenção das redes e ramais de esgoto;
- c. Propor rotas tecnológicas para reciclagem e disposição final dos resíduos estudados, de modo a fomentar a análise mais aprofundada de seus aspectos de viabilidade.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Ao longo do referencial teórico, serão abordadas as redes e ramais coletores de esgoto, os aspectos legais e definições relativos aos resíduos sólidos, finalizando com os processos para destinação e disposição final dos Resíduos de Construção e Demolição.

3.1 Redes e ramais coletores de esgoto

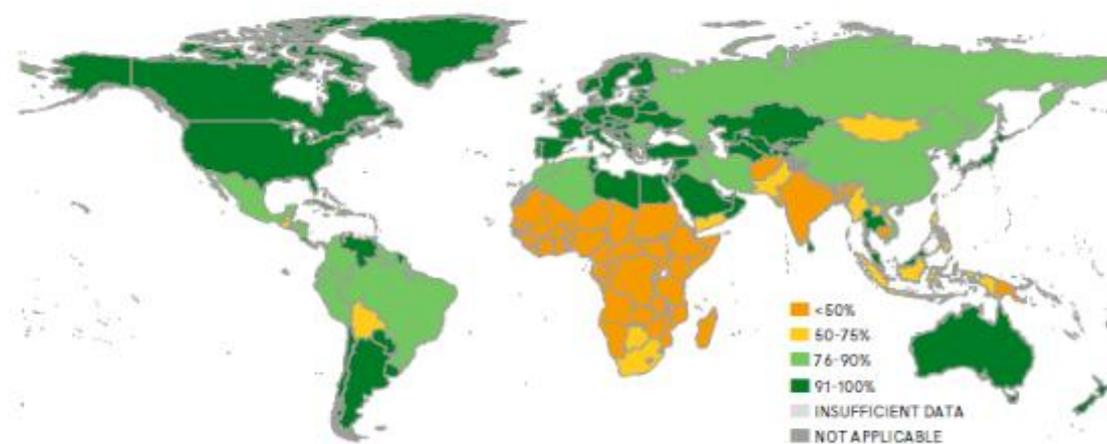
As redes e ramais coletores de esgoto estão inseridas em um Sistema de Esgotamento Sanitário, possuindo aspectos para concepção, elaboração de projeto, implantação e operação.

3.1.1 Saneamento e Sistema de Esgotamento Sanitário

Saneamento é o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar Salubridade Ambiental, preservando ou modificando as condições do meio ambiente, por meio do acesso ao abastecimento de água, coleta e tratamento dos efluentes, líquidos e gasosos, usando o solo adequadamente, promovendo a drenagem das águas pluviais, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas (FUNASA, 1999; TRATA BRASIL, 2012).

A Figura 1 demonstra o cenário do saneamento no mundo:

Figura 1 - Cobertura do Saneamento para as regiões ao redor do mundo.



Fonte: *World Health Organization et al (2017)*.

Muitos países possuem índices de menos de 50% em relação aos serviços de

saneamento, localizados principalmente no continente africano. O continente asiático, em especial na parte Sul, também possui baixa taxa de cobertura de saneamento. O estudo ainda apresenta que 2,3 bilhões de pessoas ainda estavam sem acesso aos serviços de Saneamento Básico, enquanto 892 milhões de pessoas no mundo não dispunham de banheiros, realizando a defecação a céu aberto. Os países do continente norte americano e europeu possuem os maiores valores de atendimento dos serviços de saneamento, tendo entre 91% a 100% de cobertura (WORLD HEALTH ORGANIZATION et al, 2017, tradução nossa).

O estudo realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2017) mostra que o atendimento com rede de água para o Brasil é de 93,0% para a área urbana, enquanto que para o país inteiro o índice é de 83,5 %. Em relação ao atendimento com rede de esgoto, para o país tem-se um valor bem abaixo do atendimento de água, que foi representado por 52,4%, enquanto que para as áreas urbanas o índice é de 60,2% (Tabela 1).

Tabela 1 - Níveis de atendimento com água e esgotos dos municípios cujos prestadores de serviços são participantes do SNIS em 2017, segundo região geográfica e Brasil.

Macrorregião	Índice de atendimento com rede (%)			
	Água		Coleta de esgotos	
	Total	Urbano	Total	Urbano
Norte	57,5	70,0	10,2	13,0
Nordeste	73,3	88,8	26,9	34,8
Sudeste	91,3	95,9	78,6	83,2
Sul	89,7	98,4	43,9	50,6
Centro-Oeste	90,1	98,1	53,9	59,5
Brasil	83,5	93,0	52,4	60,2

Fonte: Adaptado de SNIS (2017).

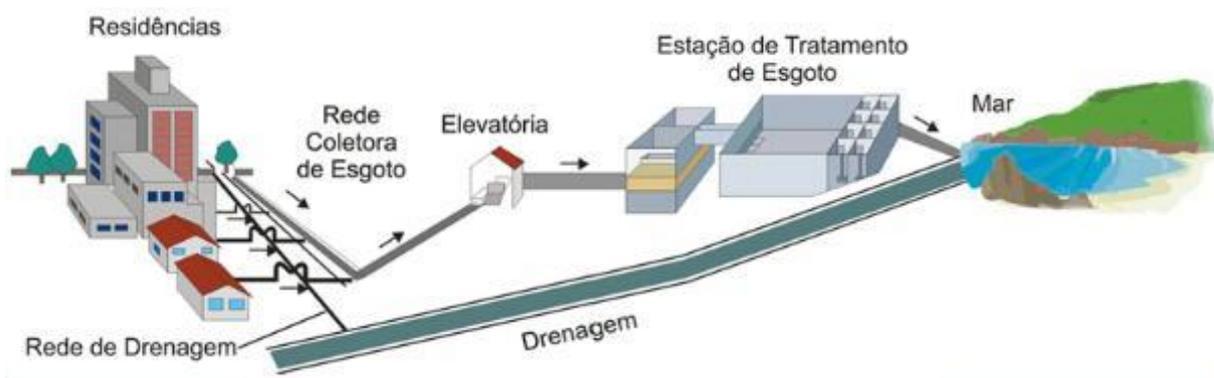
A região com maior cobertura de atendimento dos serviços urbanos de fornecimento de água foi a região Sul e com maior índice de coleta de esgoto foi a região Sudeste, enquanto que as regiões Norte e Nordeste obtiveram os índices mais baixos das regiões para os dois parâmetros. Em relação ao estado de Pernambuco, tem-se que o atendimento total de água é de 79,13 %, enquanto que para os serviços de coleta e transporte se tem um índice de 31,06 %, onde 68,4 % do esgoto coletado é tratado (SNIS, 2017).

Antes de definir qualquer parte de um Sistema de Esgotamento Sanitário, faz-se necessário definir o conceito de esgoto. O termo esgoto é usado para as águas que depois de utilizadas sofrem alteração nas suas características físicas, químicas ou biológicas. A composição das águas residuais é essencialmente da água de banho, fezes, papel higiênico,

restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem (FUNASA, 1999; TRATA BRASIL, 2012).

A Figura 2 ilustra quais são as partes principais constituintes de um Sistema de Esgotamento Sanitário:

Figura 2 - Desenho esquemático de um Sistema de Esgotamento Sanitário e seus principais componentes.



Fonte: CESAN (2010).

O sistema de esgotamento sanitário possui diversos componentes, cujas definições dos principais são dadas abaixo:

- ramal predial: são os ramais que transportam os esgotos das casas até a rede pública de coleta. Caracterizam a ligação do imóvel na rede coletora de esgoto (FUNASA, 1999);
- ramal condominial: rede coletora que reúne os efluentes das casas que compõem um condomínio e pode ser de passeio, de fundo de lote, de jardim (FUNASA, 1999);
- coletor secundário: tem a função de receber a contribuição de esgotos das residências, transportá-los e direcioná-los para os coletores tronco (FUNASA, 1999);
- coletor tronco: tubulação que tem função de receber esgoto de outros coletores (FUNASA, 1999);
- rede coletora: conjunto das tubulações representadas pelos coletores tronco e secundários, que tem o objetivo de receber e conduzir os esgotos para as estações elevatórias de esgoto e estação de tratamento de efluentes (SOBRINHO; TSUTIYA, 1999);

- interceptor: recebem coletores ao longo de seu caminhamento, sem receber ligações prediais de esgoto. Correm nos fundos de vale margeando cursos d'água ou canais. Geralmente possuem diâmetros maiores que o coletor tronco em função de maior vazão (SOBRINHO; TSUTIYA, 1999; FUNASA, 1999);
- emissário: similares aos interceptores, diferenciando apenas por não receber contribuição de esgoto ao longo do seu trajeto. Conduzem em sua maioria os esgotos de uma estação de tratamento para o ponto de lançamento, ou de uma estação elevatória de esgoto para um ponto da rede de esgoto ou para outra elevatória (SOBRINHO; TSUTIYA, 1999; FUNASA, 1999);
- poços de visita (PV): são câmaras cujo objetivo é permitir a realização da inspeção e limpeza da rede coletora de esgoto (FUNASA, 1999);
- estação elevatória de esgoto (EEE): tem o objetivo de elevar o esgoto de uma cota mais baixa para uma cota mais alta, para que a partir desse ponto os esgotos possam ter fluxo por gravidade (SOBRINHO; TSUTIYA, 1999; FUNASA, 1999);
- estação de Tratamento de Esgotos (ETE): conjunto de instalações que visa remoção dos poluentes a partir de tratamento físico, biológico e/ou químico, de forma a adequar o lançamento a uma qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente antes de ir para o meio ambiente (SOBRINHO; TSUTIYA, 1999; VON SPERLING, 1996);
- disposição final: após o tratamento, os esgotos podem ser lançados ao corpo d'água receptor ou, eventualmente, aplicados no solo (FUNASA, 1999).

3.1.2 Redes e ramais coletores de esgoto

As redes coletoras de esgoto, assim como os ramais coletores de calçada, têm função de transportar os efluentes advindos das residências, indústrias, comércios, entre outros. Sabe-se que nesses esgotos há a contribuição de sólidos grosseiros por parte da população que pode vir a ocasionar em obstruções na rede. Com o intuito de proporcionar pontos de inspeção e manutenção, foram desenvolvidos ao longo dos anos, dispositivos com a finalidade de facilitar as inspeções e resolver problemas de obstrução na rede coletora de esgoto (SOBRINHO; TSUTIYA, 1999).

O poço de visita é o mais usual dos dispositivos de inspeção para a rede coletora de

esgoto, enquanto que a caixa de inspeção é a mais usada nos ramais coletores de calçada. Por representarem custos significativos para as obras dos sistemas de esgotamento sanitário, os mesmos também podem ser substituídos de forma alternativa por outros dispositivos de inspeção, como: terminal de limpeza (TL), caixas de passagem (CP), tubo de inspeção e limpeza (TIL). Os mesmos possuem relevante importância para o bom funcionamento da rede de esgoto uma vez que facilitam as manutenções e pelo fato da sua parte inferior, denominada calha ou canaleta, definirem a orientação do fluxo do esgoto. A parte do caminhamento da rede ou ramal que fica entre dois dispositivos de inspeção é denominada trecho (SOBRINHO; TSUTIYA, 1999).

Segundo Sobrinho e Tsutiya (1999) a implantação das redes coletoras representa cerca de 75% do custo total de implantação de um Sistema de Esgotamento Sanitário. Tendo em vista o grande custo gerado pelas redes, alguns estudiosos desenvolveram alternativas para a coleta e transporte de esgoto de modo a minimizar os custos das redes coletoras convencionais. São alternativas para o transporte de esgoto o sistema condominial de esgoto, as redes de coleta e transporte de esgoto decantado, as redes pressurizadas e a vácuo, rede coletora de baixa declividade com a utilização do dispositivo gerador de Descarga (DGD).

O ramal coletor de esgoto ou ramal predial é o trecho da tubulação que compreende a interligação do coletor de esgoto para a caixa de inspeção ou outro dispositivo normalmente localizado na calçada. Após a caixa de inspeção, em sentido da residência, tem-se o início da instalação predial (SOBRINHO; TSUTIYA, 1999).

Os tipos de ligações prediais variam de acordo com a profundidade e o tipo da rede coletora, as condições do terreno, a pavimentação do local, etc. As variantes das ligações prediais constam no sistema ortogonal que pode ser de ligações simples ou múltiplas, sistema radial com ligações múltiplas (SOBRINHO; TSUTIYA, 1999).

3.1.2.1 Aspectos de projeto e concepção das redes e ramais coletores de esgoto

As NBR 14486 e NBR 9649, assim como Nuvolari (2011) preconizam que o projeto das redes coletoras de esgoto deve ser composto com o mínimo das seguintes partes: memorial descritivo, memorial de cálculo, planta de locação, peças gráficas, orçamento, lista de especificação de materiais e equipamentos, aspectos de operação e manutenção, cronograma físico-financeiro (ABNT, 2000; ABNT, 1986a; NUVOLARI, 2011).

Segundo as indicações da NBR 14486, o memorial descritivo deve conter: a área que o projeto irá abranger; as definições das concepções adotadas, incluindo justificativas

técnicas, econômicas e ambientais; descrição dos processos adotados; vazões de contribuição de esgoto e de infiltração por trecho atuais e futuras; considerações de projeto. A memória de cálculo, por sua vez, precisa apresentar as fórmulas e métodos utilizados para cálculos de vazão de infiltração por trecho, vazão de contribuição por trecho, diâmetro nominal escolhido, declividade, raio hidráulico, tensão trativa, lâmina d'água, velocidades no trecho e velocidade crítica (ABNT, 2000).

De acordo a ABNT (2000), na NBR 14486, as plantas de locação e peças gráficas devem ser apresentadas de forma que haja o entendimento do projeto, que proporcione a licitação e implantação das obras e instalações. Para o projeto de redes, seja em vias ou calçadas, ou até mesmo intra-lotes, deverão ser apresentadas: plantas de conjunto de ruas; indicação das bacias e sub-bacias com as informações relativas à densidade demográfica; redes construídas anteriormente à elaboração do projeto, ou seja, redes existentes, evidenciando quais serão os pontos de conexão entre o que será projetado e o que já existe; plantas dos loteamentos com aval da prefeitura; designação dos logradouros e bairros; distância em metros entre os poços de visita, poços de inspeção, TIL e TL; DN e tipo de material das tubulações do processo de projeção; numeração dos coletores e poços de visita; sentido de escoamento e declividade das tubulações; cotas das superfícies superiores dos tampões dos poços de visita; cotas dos fundos dos poços e cota de chegada dos coletores; profundidade dos poços de visita; travessias especiais, sejam em vias ou de outros tipos; perfil longitudinal de todas as redes coletoras.

Devem ainda ser apresentadas de acordo com a NBR14486, peças gráficas com o perfil das tubulações e do terreno, assim o detalhamento dos órgãos acessórios, como PV e CI, travessias, sifão invertido, interferências em sistemas de drenagem, fundações para assentamento da rede coletora (ABNT, 2000).

Conforme indica a ABNT (2000) na NBR 14486, devem ser consideradas nas peças gráficas, seja em planta ou perfil, as informações relativas às redes de outras concessionárias de serviços públicos, levantamentos específicos realizados em campo, interligações com as redes existentes, blocos de ancoragem, sondagens, abrigos de válvulas e equipamentos.

De forma geral, as NBR 14486 e NBR 9649 indicam que as peças gráficas geram os seguintes produtos: planta de locação da rede coletora, incluindo as redes de calçada, redes na rua ou intra-lotes; planta de locação e perfil dos coletores, interceptores e emissários; detalhamento dos órgãos acessórios, em escala mais apropriada ao detalhamento do órgão e; planta geral do sistema, como locação dos coletores tronco, interceptores; estações elevatórias, estações de tratamento, emissários (ABNT, 2000; ABNT, 1986a).

A NBR 9648 define o que seria o estudo de concepção da seguinte forma: “Estudo de arranjos das diferentes partes de um sistema, organizadas de modo a formarem um todo integrado e que devem ser qualitativa e quantitativamente comparáveis entre si para a escolha da concepção básica.”

Para a concepção do sistema de esgotamento sanitário, a NBR 9648 define que deve ser observada a topografia na determinação do traçado, de forma a otimizar a coleta e o transporte dos efluentes através de soluções que priorizem o esgotamento por gravidade e baixas profundidades. Devem ser analisadas informações a respeito dos recursos hídricos locais, que podem influir sobre o sistema de esgotamento sanitário, assim como sofrerem influência deste. As características físicas da região também devem ser levadas em consideração, tais como: relevo do solo, condições meteorológicas, informações geológicas, dados fluviométricos, corpos receptores existentes e prováveis (ABNT, 1986b).

Segundo a ABNT (1986b) os dados demográficos e informações de infraestrutura local devem ser avaliados conforme a NBR 9648: meios de comunicação, como correios, telefonia; os acessos disponíveis (estradas, ferrovias, tipos de navegação disponíveis); mão de obra local; disponibilidade de material para construção do sistema; disponibilidade, confiabilidade, características técnicas e econômicas do fornecimento de energia elétrica local.

Informações a respeito do sistema de esgotamento sanitário existente local, como plantas e diagnósticos, locais ainda não atendidos por coleta e tratamento e como dispõe seus efluentes, como se dá a atual operação e gestão do SES, assim como dados dos sistemas existentes de outras concessionárias e disposição de resíduos sólidos, são itens preconizados na norma 9648. Ainda assim, são necessários dados de uso da terra, desenvolvimento sócio-econômico local e legislação, visando identificar pontos que possam influenciar no estudo de concepção do sistema de esgotamento sanitário a ser proposto (ABNT, 1986b).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986b) sugere na NBR 9648 que sejam fixadas as características preliminares do esgoto, assim como as situações relativas às cargas poluidoras em função da ocupação do solo atual e futura, assim como avaliação das condições dos corpos hídricos receptores, levando em conta não só os pontos onde há o lançamento de esgoto, mas também demais pontos onde haja influência deste lançamento. Deve ser avaliada a capacidade de autodepuração do recurso hídrico, de forma a requerer os padrões padrões de qualidade do lançamento e impactos ambientais relativos à concepção adotada.

Aconselha a NBR 14486 que deve ser apresentado um traçado das redes coletoras para o atendimento de cada unidade contribuinte, o ponto de lançamento e/ou interligação no

sistema existente, e o dimensionamento constando, em planilha de indentificação: extensão, cota de montante e jusante (terreno, tubulação e poços de visita e/ou inspeção), vazões de contribuição (atual e futura) e ponto de lançamento. O traçados das redes coletoras podem ser realizados no leito carroçável (no eixo ou no terço da rua) ou nas calçadas (ABNT, 2000).

A partir de recomendação da NBR 14486, para definição do traçado das redes coletoras de esgoto devem ser avaliadas as melhores alternativas ou suas combinações, de forma a permitir a ligação dos imóveis por gravidade. Devem-se avaliar os seguintes pontos: pavimentação da rua e calçadas; interferências para implantação; larguras das ruas e calçadas; altura do lençol freático; tipo de solo; profundidade da rede; número de ligações por metro de redes (ABNT, 2000).

Prescreve a NBR 14486 que a ligação da instalação intra-domiciliar à rede será feita por meio dos ramais prediais, que deve possuir um ponto de inspeção. Para a inspeção, preferencialmente deve ser utilizado o Tubo de Inspeção e Limpeza (TIL) para os casos em que não for possível, usar caixas de inspeção. Como regra geral deve ser evitado projeto de rede que passe total ou parcialmente dentro da área de qualquer tipo de imóvel (intra-lotes). Caso não seja possível a implantação da rede pela rua ou calçada, a rede poderá ser implantada intra-lote, sendo que esta situação deverá ser discutida e aprovada (ABNT, 2000).

Conforme apregoa a NBR 9648 Para as situações em que a topografia não permita a solução de esgotamento por gravidade, a alternativa escolhida deverá resultar no menor custo de operação e manutenção sem, entretanto, comprometer sua qualidade. Deverão ser estudadas alternativas de redes coletoras de esgoto que ajudem a buscar inovações para as condições locais, como o sistema a vácuo, ou outro (ABNT, 1986b).

O dimensionamento das canalizações deve ser feito de acordo com as Normas Brasileiras da ABNT em vigor. Para realização do dimensionamento das redes coletoras de esgoto normalmente utiliza-se um software que deve operar em conjunto com o AutoCAD, com lançamento da rede e órgãos acessórios sobre a planta topográfica em formato DWG, georreferenciada ou não, inclusive com a obtenção do desenho final sobre a base tipográfica (plantas e perfis longitudinais). Deve permitir a realização de simulações, ensaios e imposições diversas na rede objeto do dimensionamento e desenho, permitir a obtenção de quantitativos de materiais e serviços por etapa útil de projeto, assim como a verificação hidráulica de redes coletoras existentes (SOBRINHO, TSUTIYA, 1999; NUVOLARI, 2011).

O software ainda precisa dispor de recursos como geração automática dos perfis longitudinais dos coletores, geração de arquivos de dados, planilhas, plantas e ordens de serviço para execução. Deve possibilitar a mudança e entrada de critérios distintos, como

tensão tratativa, diâmetros, declividade, vazões concentradas, tipo de pavimentação, tipo de contribuição, recobrimento mínimo por trecho, entre outros aspectos. Deve fornecer planilha final de dimensionamento, com apresentação dos dados físicos de cada trecho da rede (cotas, extensão, PV de montante e de jusante), além das informações hidráulicas resultantes do dimensionamento, tais como vazões iniciais e finais, velocidade de escoamento, velocidade crítica, tensão tratativa e lâminas d'água iniciais e finais (SOBRINHO, TSUTIYA, 1999; NUVOLARI, 2011).

Seguindo recomendações da NBR 9649 (ABNT, 1986a), o cálculo das vazões inicial (Q_i) e final (Q_f) para o dimensionamento da rede coletora de esgotos deve seguir as seguintes expressões (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986a):

$$Q_i = K_2 \cdot Q_i + Q_{inf.i} + \sum Q_{ci} \quad (1)$$

$$Q_f = K_1 \cdot K_2 Q_f + Q_{inf.f} + \sum Q_{cf} \quad (2)$$

Onde:

- Q_i : Vazão máxima inicial (l/s)
- Q_f : Vazão máxima final (l/s)
- K_1 : Coeficiente de máxima vazão diária
- K_2 : Coeficiente de máxima vazão horária
- Q_i : Vazão média inicial (l/s)
- Q_f : Vazão média final (l/s)
- $Q_{inf.i}$: Vazão de infiltração inicial (l/s)
- $Q_{inf.f}$: Vazão de infiltração final (l/s)
- Q_{ci} : Vazão concentrada ou singular inicial (l/s)
- Q_{cf} : Vazão concentrada ou singular final (l/s)
- Coeficiente de retorno (C): 0,8
- Coeficiente de máxima vazão diária (K_1): 1,2
- Coeficiente de máxima vazão horária (K_2): 1,5

As redes com escoamento livre devem ter declividade determinadas com base nas normas vigentes, sendo adotada a NBR 14486/2000 para tubos em PVC e a NBR 9649/1986 para os demais materiais (ABNT, 2000; ABNT, 1986a).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2000), para tubulações

de PVC deverá ser considerada Tensão Trativa $> 0,6$ Pa, conforme NBR 14486. Para os demais materiais deverá ser considerada Tensão Trativa $> 1,00$ Pa. A velocidade crítica deverá ser calculada para a vazão final (Q_f) pela seguinte expressão:

$$V_c = 6 (gR_h)^{1/2}$$

Onde:

- V_c = Velocidade crítica (m/s);
- g = aceleração da gravidade (m/s^2);
- R_h = raio hidráulico (m).

A lâmina máxima deverá ser calculada de acordo com as normas NBR 9649 e NBR 14486. É necessário fazer os respectivos estudos em relação às lâminas de entrada e saída dos PVs nos trechos, para prever e controlar possíveis casos de remanso na rede. Assim, se as cotas do nível da lâmina de esgoto de saída estiverem acima das cotas de lâmina de esgoto de chegada, devem ser corrigidas garantindo as condições de escoamento livre. Caso contrário, haverá o represamento de esgoto dentro do poço de visita, acarretando em sedimentação de material e consequentes situações de obstruções e extravasamento de esgoto (ABNT, 2000; ABNT, 1986a).

A profundidade da rede coletora deverá atender as condições adequadas de ligação predial e proteção da tubulação contra cargas externas. Em casos de unidades habitacionais com soleiras abaixo do greide da rua, deverá ser analisadas as condições de atendimento destas casas nos seguintes parâmetros: percentual de casas com cotas abaixo o greide; análise de possibilidade de recuperação das profundidades de jusante caso a rede seja aprofundada para atender estas unidades; possibilidade de outro traçado. Após estas análises, poderão ser discutidos os recobrimentos adotados ou outras soluções de proteção para as tubulações rasas. (ABNT, 1986a).

Os recobrimentos devem atender as normas vigentes NBR 9648 e NBR 14486, nas condições normais de projeto. Para coletores localizados em vias, deve-se adotar o recobrimento mínimo de 0,90 m, enquanto para os localizados nos passeios o recobrimento mínimo necessário é de 0,65 m. Caso existam particularidades nestas, como regiões planas com lençol freático alto, o uso de recobrimentos menores deverá ser justificado com soluções para garantir a proteção contra as cargas (ABNT, 2000; ABNT, 1986b).

Os poços de visita devem ser localizados conforme NBR 9649, sempre nos pontos

onde houver mudança de direção, mudança de material constituinte da rede, início do trecho coletor, junção de coletores e poços intermediários. Os PVs deverão ser impermeabilizados internamente e externamente, quando executados em concreto. Deverá ser previsto tubo de queda quando o desnível for superior a 75 cm. No fundo do PV as calhas devem ter conformação hidráulica de forma a conduzir o fluxo afluyente em direção à saída. (ABNT, 1986a).

3.1.2.2 Aspectos construtivos das redes e ramais coletores de esgoto

De acordo com a RECESA (2008a) e a NBR 9814 da ABNT (1987) as obras de redes e ramal de esgoto são compostas no geral pelas seguintes etapas: locação, sinalização da obra, sondagem do local, locação da vala, demolição da pavimentação, escavação da vala, escoramento, esgotamento e/ou rebaixamento do lençol freático, regularização do fundo da vala, assentamento da tubulação do ramal ou rede, interligação na tubulação ou no poço de visita, aterro da vala com material de empréstimo ou reaproveitado, compactação da vala, construção de poços de visita, ligações prediais, testes e ensaios, recomposição da pavimentação, limpeza final da obra e cadastramento.

Levantamento topográfico

Em concordância com a NBR 9814, primeiramente o construtor deve reconhecer o local onde será executada a obra. No levantamento topográfico para execução de obras de implantação ou recuperação de redes coletoras de esgoto, deve-se considerar a necessidade dos marcos geo-referenciados, referência de nível (RN) e indicação de transporte de referência de nível (ABNT, 1987; NUVOLARI, 2011).

A NBR 9814 informa que durante os serviços de campo, são deixadas referências de nivelamento, no mínimo um RN secundário por quadra, e pontos de segurança (PS) em pontos notáveis da via onde será executada a obra, como em soleiras de construções de grande evidência, que devem ficar materializados com pinos de aço ou marcos de concreto. Não existindo tais construções, os mesmos podem ser materializados em outros locais. Este referenciais precisam ter seus croquis elaborados, com registro das amarrações de forma que tais dados não se percam (ABNT 1987).

Orientado pela NBR 9814 da ABNT (1987), todos os pontos locados em campo representativos das singularidades e do estaqueamento, ou pontos notáveis (mudança de

greide e direção), devem ser nivelados pelo processo geométrico e contra nivelados, tendo seus valores altimétricos definidos pela média aritmética, expressos com precisão de milímetros.

Levantamento de interferências

Uma das grandes dificuldades para a execução das obras de rede ou ramal de esgoto está na incidência de interferências. As interferências são caracterizadas por tubulações de outras concessionárias, como as redes de drenagem de águas pluviais, redes de telefonia, redes de gás, rede de água potável, condutos de TV a cabo, entre outras, que precisam ser levantadas e verificadas em campo. Em algumas situações se faz necessário um estudo das interferências, visando realocá-las, demoli-las, adequar o projeto da rede coletora de esgoto, assim como prever anteparos para sustentação das interferências de modo a permitir a escavação (SOBRINHO, TSUTIYA, 1999; NUVOLARI, 2011; NINA, 1975).

Limpeza do terreno

Antes do início das obras é preciso realizar a limpeza do terreno que, de acordo com suas características, pode ser dada através dos processos de roçado, capinação, remoção de troncos e remoção de entulhos, podendo ser dada de forma manual ou mecanizada (NUVOLARI, 2011).

Sinalização da obra

A NBR 9814 expressa que os serviços executados nas redes coletoras de esgoto, pertinentes às obras de recuperação e implantação, devem ser bem sinalizados, de forma a proteger a integridade física dos operadores e prevenir a ocorrência de acidentes (ABNT, 1987).

Nuvolari (2011) e Nina (1975) acrescentam que se faz necessário o isolamento do local da obra, por meio de dispositivos adequados, como cavaletes, tapumes, faixas, fitas zebreadas, gelo-baiano, barreitas e afins. É preciso manter a população informada sobre a necessidade de obras no local com alguma antecedência, sempre que possível.

Locação da obra

A marcação da vala pode ser dada através de linhas que marcam os limites de largura, sendo realizada com uma picareta, ou em pavimentos pode ser feito através da pintura de uma linha delimitadora (NINA, 1975).

Ainda no processo de locação de obra, se deve prever uma folga de 30 cm da demolição do pavimento em relação ao que está previsto para a largura de escavação da vala, de forma a evitar acidentes. Para poços de visita, a demarcação deve ocorrer de forma a se obter um quadrado com 2,20 m de lado, enquanto que para os TILs deve haver 1,60 m de lado, mantendo a folga dos 15 cm de cada lado. Os TLs e caixas de inspeção, por sua vez, têm a sua marcação realizada conforme seu tamanho e posicionamento, sem necessidade de alargamento extra da vala (NUVOLARI, 2011).

Demolição da pavimentação

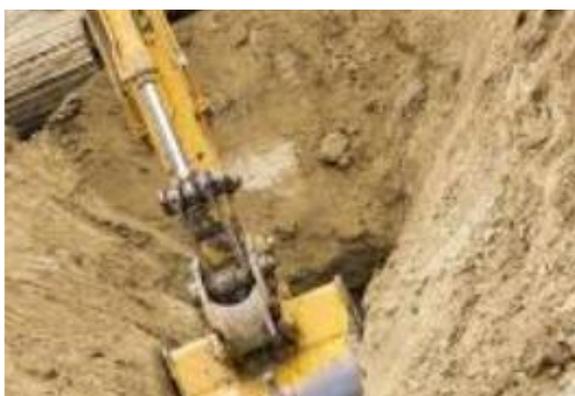
Conforme indicação da NBR 9814 a demolição da pavimentação, realizada antes do processo de escavação, deve ser feita na largura da vala acrescida de 20 cm para cada lado quando a vala estiver localizada na via e acrescida de 5 cm para cada lado quando estiver localizada em calçadas. Os materiais provenientes da demolição do pavimento e que podem ser reaproveitados, precisam ser limpos e armazenados de forma a não prejudicar o andamento da obra (ABNT, 1987).

Para o pavimento do tipo asfáltico, o corte é feito com marteleto ou picaretas. Para paralelepípedos e bloquetes a remoção é feita manualmente com uso de alavancas, picaretas e ferramentas manuais de forma geral. As demolições das pavimentações de passeio, a remoção pode ser dada através de ferramentas manuais e/ou mecanizadas, como retroescavadeiras, picaretas, alavancas, etc. (NUVOLARI, 2011).

Escavação

De acordo com a norma DNIT 109/2009 – ES do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2009) e PINI (2014) durante o processo de movimentação de terras, pode-se classificar os solos em 3 categorias, sendo elas o material de 1ª categoria, material de 2ª categoria e material de 3ª categoria (Figura 3):

Figura 3 - Material por tipo de categoria e processo de escavação. A. Material de 1ª categoria. B. Material de 2ª categoria. C. Material de 3ª categoria.



A



B



C

Fonte: PINI (2014).

As categorias podem ser definidas da seguinte forma (PINI, 2014; DNIT, 2009):

- Material de 1ª Categoria, que compreende os solos em geral, residuais ou sedimentares, seixos rolados ou não, com diâmetro máximo e inferior a 0,15 m, qualquer que seja o teor de umidade apresentado. Em geral, o material de 1ª categoria é escavado por processos mais simplificados, como por tratores escavo-transportadores de pneus, empurrados por tratores esteiras de peso compatível ou por escavadeiras hidráulicas. Sua escavação não exige o emprego de explosivo.
- Material de 2ª Categoria, compreendendo os solos mais resistentes que os de 1ª

categoria, com menos resistência em relação ao material de 3ª categoria, cuja extração se processe por combinação de métodos que obriguem a utilização de maquinários específico. A extração se processa por combinação de métodos que obrigam a utilização do maior equipamento de escarificação exigido contratualmente. A extração eventualmente poderá envolver o uso de explosivos ou processo manual adequado. Esse tipo de solo é o mais difícil de ser identificado, em virtude de seu caráter misto e intermediário, entre os solos de 1ª e 3ª categoria.

- Material de 3ª Categoria compreende os materiais com resistência ao desmonte mecânico equivalente à rocha não alterada e blocos de rocha, cuja extração de redução, a fim de possibilitar o carregamento, se processem com o emprego de explosivo, diferenciando do de 2ª categoria, por exemplo, por ser um emprego de explosivos de forma contínua.

Em relação ao método de escavação para cada tipo de material, tem-se no Quadro 1:

Quadro 1 - Material por tipo de categoria e processo de escavação.

Categoria	Material	Processo
1ª	Solo	Escavação simples
2ª	Solo resistente	Escarificação
3ª	Rocha	Desmonte com explosivo

Fonte: Adaptado de PINI (2014).

A NBR 9814 preconiza que as valas só deverão ser devidamente escavadas quando houver o conhecimento prévio de possíveis interferências no local, como galerias de drenagem, tubulações de água, gás, energia e telefonia, por exemplo, assim como quando todos os materiais e ferramentas necessários para execução do serviço estiverem no local (ABNT, 1987).

A escavação pode ser feita de forma manual ou mecanizada, onde a largura da vala deve levar em consideração as características do solo local, o tipo de tubulação a ser empregada, o escoramento a ser usado, como também a profundidade da vala. Em relação às ferramentas manuais, se tem a pá de bico, pá quadrada, picareta, chibanca, alvião e alavanca. Os equipamentos mecanizados comumente utilizados no processo de escavação são as retroescavadeiras, escavadeiras hidráulicas, *drag-lines*, *clam-shell* e pás-carregadeiras

(NUVOLARI, 2011; NINA, 1975).

De acordo com a NBR 9814 da ABNT (1987) a largura útil de trabalho dentro da vala deve ser, para profundidades de até 2,00 m, igual ao diâmetro do tubo mais 0,60 m, onde para cada metro de profundidade acrescido ou fração do mesmo, deverá ser acrescido 0,10 m de largura. Para os poços de visita, suas cavas podem ter largura interna livre, contanto que atenda ao mínimo exigido, referente à dimensão externa da câmara de trabalho ou balão, com mais 0,60 m.

A NBR 9814 enfatiza que o material proveniente da escavação, deverá sempre que possível, ser depositado a 1,00 m metro da borda da vala ou cava e os taludes das escavações com alturas maiores que 1,50 m devem ser seguramente escorados, de forma a prevenir o colapso de material (ABNT, 1987).

Esgotamento da vala

A NBR 9814 indica que ao sinal de interferência de lençol freático na vala, a mesma deverá ser esgotada de forma permanente, para a correta drenagem do terreno. O processo de esgotamento da vala deve ser realizado através de bombas, sendo executado no fundo da vala dispositivos para drenagem junto ao escoramento, fora da faixa de assentamento do tubo, para que a água seja coletada pelas bombas, em poços de sucção, com a devida proteção através de cascalho ou pedra britada (ABNT, 1987).

A NBR 12266 informa que em casos excepcionais, poderá ser realizado o rebaixamento do lençol por meio de outros dispositivos e equipamentos, como ponteiros filtrantes, poços profundos ou injetores. Desta forma, deve ser apresentado o projeto com detalhamento de toda a situação, inclusive indicando os equipamentos a serem utilizados, que mais se adequam à situação proposta (ABNT, 1992).

Ainda assim, além dos problemas relativos ao nível do lençol freático, há também a interferência de chuvas nos locais das obras de redes e ramais coletores de esgoto, também sendo necessário usar os equipamentos necessários para realização do esgotamento da vala (NUVOLARI, 2011).

Escoramento de valas, cavas e poços

A profundidade da vala escavada e o tipo de solo, podem ser os fatores determinantes na escolha do tipo de escoramento a ser adotado, de acordo com a norma 9814:

- a) Pontaleteamento
 - constituído de um par de tábuas de 0,027 m x 0,30 m dispostas verticalmente, espaçadas de 1,35 m. Estas tábuas são travadas horizontalmente por estroncas distanciadas verticalmente de 1 m, devendo a mais profunda situar-se cerca de 0,50 m do fundo da vala e a mais rasa a 0,20 m do nível do terreno ou pavimentação;
- b) Descontínuo
 - constituído de tábuas de 0,027 m x 0,30 m, espaçados de 0,30 m dispostas na vertical, contidas por longarinas de 0,06 m x 0,16 m, colocadas horizontalmente e travadas por estroncas espaçadas de 1,35 m, a menos das extremidades de onde as estroncas ficam a 0,40 m. As longarinas devem ser espaçadas verticalmente de 1 m, devendo a mais profunda situar-se cerca de 0,50 m do fundo da vala e a mais rasa;
- c) Contínuo
 - constituído de tábuas de 0,027 m x 0,30 m, colocadas verticalmente de modo a cobrir toda a parede da vala, contidas por longarinas de 0,06 m x 0,16 m, dispostas horizontalmente e travadas por estroncas espaçadas de 1,35 m, a menos das extremidades, de onde ficam a 0,40 m. As longarinas devem ser espaçadas verticalmente de 1 m, devendo a mais profunda situar-se cerca de 0,50 m do fundo da vala e a mais rasa a 0,20 m do nível do terreno ou pavimentação;
- d) Especial
 - constituído de pranchas de 0,05 m x 0,16 m, do tipo macho e fêmea, colocadas verticalmente de modo a cobrir toda a parede da vala, contidas por longarinas de 0,08 m x 0,18 m, dispostas horizontalmente e travadas por estroncas espaçadas de 1,35 m, a menos das extremidades, de onde ficam a 0,40 m. As longarinas devem ser espaçadas verticalmente de 1 m, devendo a mais profunda situar-se cerca de 0,50 m do fundo da vala e a mais rasa, a 0,20 m do nível do terreno ou pavimentação. (ABNT, 1987, p. 04).

O escoramento não deve ser desmontado até que o reaterro atinja uma altura de 0,60 m acima da geratriz superior da tubulação assentada ou 1,50 m abaixo da cota do terreno natural, levando em consideração o bom estado do solo em questão. Não se tratando de um solo de boa qualidade, o escoramento só deve ser retirado após reaterro total da vala (ABNT, 1987).

Assentamento de tubulações e conexões PVC para esgoto

De acordo com a NBR 7367, os tubos e conexões deverão ser transportados convenientemente apoiados e empilhados, cuidando-se especialmente das extremidades, para que não sejam danificadas. Os tubos, no transporte para a vala, não devem ser rolados sobre os obstáculos que produzam choque. Os tubos serão alinhados ao longo da vala, ficando livres de eventuais choques, resultantes principalmente da passagem de veículos ou máquinas (ABNT, 1988a).

Conforme preconiza a NBR 7367, para assentamento das tubulações, a vala deve estar isenta de terra, entulhos e da presença de água. O fundo da vala deverá ser regular e uniforme, obedecendo às cotas previstas no projeto, isentos de saliências e reentrâncias. As eventuais reentrâncias deverão ser preenchidas com material adequado, convenientemente compactado, de modo a se obter as mesmas condições de suporte da vala original. As tubulações devem ser

examinadas antes da descida à vala para verificação de algum defeito, devendo estar insentas de quaisquer objetos e/ou defeitos (ABNT, 1988a).

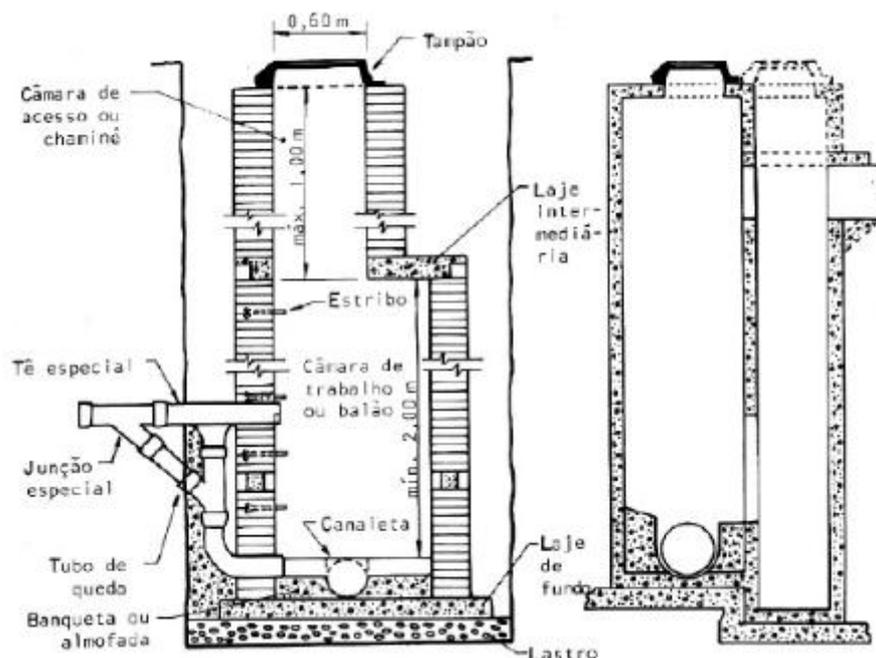
Os tipos de apoio e envolvimento também podem ser definidos em função do tipo de tubo a ser assentado. Os tipos de base de assentamento de tubulação podem ser classificados em assentamento simples, assentamento com lastro de brita, assentamento com lastro, laje e berço, assentamento sobre estacas (NUVOLARI, 2011).

No caso dos tubos flexíveis, onde se enquadra os tubos em PVC rígido, os apoios e envolvimento podem ser em material granular fino. Em situação do coletor não ter possibilidade de obtenção de recobrimento mínimo estabelecido por norma, o mesmo deverá ter sua proteção, de modo que possa suportar às cargas que estará sujeito (ABNT, 1987).

Órgãos acessórios

Em acordo com a NBR 9814 e conforme exemplifica a Figura 4, como constituintes dos poços de visita, tem-se, mas não se limitando aos mesmos: laje de fundo, câmara de trabalho ou balão, peça de transição, câmara de acesso ou chaminé, tampão (ABNT, 1987).

Figura 4 - Poço de visita, tubo de queda e poço de queda



Fonte: ABNT (1987).

A laje de fundo deverá ser executada sobre lastro de brita ou cascalho após o processo

de regularização da cava para construção do poço, podendo requerer fundação de acordo com as características do terreno, podendo ser do tipo estacas, pedra de mão, etc. As calhas ou canaletas devem ser construídas sobre a laje de fundo, de forma a proporcionar o correto escoamento do esgoto dentro do poço, em acordo com as tubulações de chegada e saída. Além das calhas, deve-se ter atenção à almofada ou banquetta do poço, que requer inclinação de 10%. As canaletas e banquetas devem ser revestidas com argamassa de cimento e areia no traço 1:3, sendo alisadas e queimadas à colher (ABNT, 1987).

Segundo a ABNT (1987) as paredes da câmara ou balão do poço são assentadas nas laterais do fundo, devendo ser em formato circular, onde o contrário deve ser justificado, com diâmetro interno atendendo à NBR 9649. As paredes da câmara do poço de visita pode ser construída por diversos tipos de materiais, entre eles: alvenaria de tijolos; alvenaria de pedra; alvenaria de blocos de concreto, curvos; anéis de concreto armado, pré-fabricados; concreto armado fundido no local; PVC rígido, poliéster armado com fios de vidro; tubo de concreto; tubo de fibrocimento. Para as paredes em alvenaria em tijolos e blocos de cimento, as mesmas deverão ser revestidas com a mesma argamassa indicada para revestimento das calhas e almofadas.

A ABNT (1987) através da NBR 9649 preconiza que após construção da câmara ou balão do poço de visita, se inicia a inserção de uma peça de transição (laje de concreto armado ou peça troncocônica), com a conclusão da inserção da peça de transição, será construída a câmara de acesso ou chaminé em alvenaria de tijolos ou blocos de cimento, ou ainda, com anéis de concreto. Essa chaminé deverá alcançar a cota do terreno, descontando a altura necessária para a colocação do tampão.

Na NBR 9649, o poço de visita só irá dispor de chaminé quando o greide da cava estiver a uma profundidade superior a 2,50 m. Quando se tratar de poços que não atendam a essas condições, o tampão será assentado diretamente sobre a peça de transição, devendo ser construída a fim de suportar a carga do tráfego em que será submetida (ABNT, 1987).

Conforme a ABNT (1987), NBR 9649, em cima do respaldo da alvenaria, da parede de concreto ou o último anel da chaminé, será inserido o tampão, que pode ser em ferro fundido ou outros tipos de materiais de acordo com o critério adotado pela contratante ou de normas técnicas brasileiras, sendo apropriado para passeios ou para o leito dos logradouros. As paredes das câmaras podem dispor de degraus fixados em ferro fundido ou aço galvanizado, com distância de 0,40 m de um para o outro. No caso de partes da estrutura do poço de visita, como paredes ou laje de fundo, não suportarem as cargas do tráfego de veículos, o aro do tampão deve ser inserido sobre uma base, sendo esta a parte da parede de chaminé. Se a

tubulação de chegada apresentar desnível maior que 0,75 m em relação à tubulação de saída, a chegada ao PV deve ser feita com o uso de poço ou tubo de queda.

Os tubos de inspeção e limpeza (TIL) ou Poço de Inspeção (PI) são dispositivos que diferentemente dos poços de visita, os mesmos não podem ser visitados, permitindo apenas uma inspeção visual e com uso de equipamentos. Podem ser utilizados no início da rede (pontas secas), intermediários às locações dos poços de visita consecutivos e intermediário às ligações prediais para facilitar o processo de manutenção (SOBRINHO, TSUTIYA, 1999).

Sobrinho e Tsutiya (1999) sugerem que o Terminal de Limpeza (TL) também só deve ser usado em pontas secas, ou seja, no início de coletores de esgoto. A instalação dos terminais de limpeza segue as mesmas especificações do TIL, sendo sempre o diâmetro das peças igual ao da rede coletora.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986a), através da NBR 9649, evidencia que o Terminal de Inpeção e Limpeza TIL, deve ser usado para ligações prediais quando for possível executar a ligação através destes dispositivos. A caixa de inspeção deve ser utilizada para as ligações prediais caso não seja possível a utilização do TIL. O material das caixas de inspeção pode ser em concreto, PEAD ou PP.

A caixa de inspeção geral ou dispositivo tubular será instalado na calçada frontal da edificação e será o elo entre a tubulação do esgoto sanitário oriundo do imóvel e o coletor predial. Ainda assim, vale acrescentar que as caixas de inspeção vêm sendo menos utilizadas por companhias de saneamento, em função de sua construção ser dada fora das especificações técnicas e haver dificuldade na sua instalação (SOBRINHO, TSUTIYA, 1999).

Execução de ligações domiciliares

Havendo a disponibilidade da rede coletora de esgoto, pode ser construída a ligação predial., de forma a interligar as instalações hidro sanitárias à rede coletora existente. Em função das características urbanísticas, como também da rede coletora do local, há a definição de sistemas de ligação, podendo ser definidos como sistema ortogonal de ligações simples, sistema ortogonal de ligações múltiplas, sistema radial de ligações múltiplas (SOBRINHO, TSUTIYA, 1999; AZEVEDO NETTO, 1977).

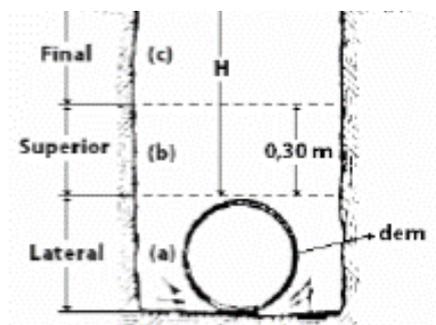
Reaterro da vala

Segundo a NBR 9814, após procedimento de envolvimento do tubo, a vala deverá ser

reaterrada com material de boa qualidade, isento de pedras, ou outros materiais com essas características. A camada de 0,30 m acima da geratriz superior do tubo deve ser apiloada de forma leve, para não causar nenhum tipo de danificação no tubo, sendo realizada de forma manual. O restante da vala até o nível do pavimento, deve ser compactado em camadas de 0,20 m de forma mecânica, visando adquirir as mesmas características de compactação originais do solo (ABNT, 1987).

Para o reaterro das redes coletoras, consideram-se três zonas distintas conforme Figura 5 abaixo:

Figura 5 - Etapas do reaterro.



Fonte: ABNT (1988a).

De acordo com a NBR 7367, a zona lateral compreende o fundo da vala e a geratriz superior do tubo, a zona superior está localizada sobre a geratriz superior da tubulação com 0,30 m acima e a zona final completa o reaterro até a superfície do terreno (ABNT, 1988a).

No reaterro das laterais, a tubulação deve ficar continuamente apoiada no fundo da vala e com berço bem executado quando aplicável, nas duas laterais. Se houver escoramento na vala, o mesmo deve ser retirado progressivamente, preenchendo todos os vazios. O reaterro superior é feito com material selecionado, isento de pedras e entulhos. A compactação é executada nas laterais de cada lado, sendo que a parte diretamente acima da tubulação não é compactada, evitando deformações dos tubos. O restante do material de reaterro da vala deve ser lançado em camadas sucessivas, sendo compactado de tal forma que tenha o mesmo estado do terreno das laterais da vala (ABNT, 1988a).

Nuvolari (2011) preconiza que o reaterro da vala seja preferencialmente realizado com uso do material escavado, ou seja, fazendo o reaproveitamento do material. Caso o solo não apresenta boas características para o reaproveitamento, o mesmo pode ser substituído com o uso de material proveniente de jazida.

Recomposição de pavimentação

De acordo com Nuvolari (2011) as principais funções do pavimento estão ligadas à distribuição dos esforços provenientes da passagem de pessoas e veículos, podendo ser classificados em pavimentos rígidos e flexíveis. Devem ser providenciadas as diversas reposições, reconstruções e reparos, de qualquer natureza, de modo a tornar o executado melhor, ou no mínimo igual ao que foi removido, demolido ou rompido. Na reposição dos pavimentos dos logradouros devem ser obedecidas as recomendações de projeto bem como as exigências municipais.

Limpeza final

Após a reposição da pavimentação, toda a área afetada pela execução da obra deve ser limpa e varrida, removendo-se da via pública toda a terra solta, entulho e demais materiais não utilizados, deixados ao longo das ruas e logradouros onde foram assentados coletores de esgotos. Também vale considerar após a finalização dos serviços a necessidade de lavagem da rua (NUVOLARI, 2011).

3.2 Aspectos legais e definições dos resíduos sólidos

Para melhor entendimento a respeito dos aspectos legais e definições dos resíduos gerados nas obras de redes e ramais coletores de esgoto, é preciso entender quais são as leis que regem os Resíduos Sólidos Urbanos, assim como as leis que regem os Resíduos de Construção Civil.

3.2.1 Aspectos legais dos resíduos sólidos

A Lei nº 12305 de 02 de agosto de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), trazendo consigo definições importantes a respeito dos resíduos sólidos (RS), seus princípios e objetivos, instrumentos e diretrizes. Entre os princípios da PNRS, podem ser citados: a prevenção e a precaução; a avaliação dos aspectos ambientais, econômico, social, técnico e de saúde pública na gestão dos resíduos sólidos; a agregação de valor aos RS; a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (BRASIL,

2010).

São objetivos da PNRS do Brasil (2010): avaliação de todas as etapas possíveis de gerenciamento de resíduos antes de considerá-los como rejeitos, partindo da não geração, indo para os princípios preventivistas dos 3Rs e concluindo o processo em um tratamento, para pôr fim se propor a disposição final; desenvolvimento de tecnologias limpas; incentivo à reciclagem e incorporação de materiais reciclados em ciclos produtivos; capacitação técnica na área de resíduos sólidos; estímulo à avaliação do ciclo de vida do produto, assim como à rotulagem ambiental.

A Lei 12305/2010 no seu art. 8º apresenta os instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

- I - os planos de resíduos sólidos;
- II - os inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos;
- III - a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- IV - o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
- V - o monitoramento e a fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária;
- VI - a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos;
- VII - a pesquisa científica e tecnológica;
- VIII - a educação ambiental;
- IX - os incentivos fiscais, financeiros e creditícios;
- X - o Fundo Nacional do Meio Ambiente e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico;
- XI - o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir);
- XII - o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (Sinisa);
- XIII - os conselhos de meio ambiente e, no que couber, os de saúde;
- XIV - os órgãos colegiados municipais destinados ao controle social dos serviços de resíduos sólidos urbanos;
- XV - o Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos;
- XVI - os acordos setoriais;
- XVII - no que couber, os instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente, entre eles: a) os padrões de qualidade ambiental;
- b) o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;
- c) o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;
- d) a avaliação de impactos ambientais;
- e) o Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente (Sinima);
- f) o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;
- XVIII - os termos de compromisso e os termos de ajustamento de conduta; XIX - o incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados, com vistas à elevação das escalas de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos. (BRASIL, 2010, p. 04-05).

Lei 14236 de 13 de dezembro de 2010 dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Pernambuco (2010) que tem como instrumentos: Programa Estadual de

Gestão de Resíduos Sólidos (PEGRS); Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), Sistema Estadual de Informações sobre Resíduos Sólidos (SEIRES); inventários de resíduos sólidos; licenciamento ambiental; monitoramento e fiscalização ambiental; cooperação técnica e financeira entre os setores públicos e privados para a sua implementação; pesquisa científica e tecnológica; logística reversa; educação ambiental; incentivos fiscais, financeiros e creditícios.

No seu capítulo VIII, a Lei 14236 estabelece as responsabilidades dos geradores e do poder público, onde é importante destacar que nesse capítulo instituiu-se a corresponsabilidade em relação ao manejo inadequado de resíduos. Desta forma, para situações em que se terceiriza a destinação dos resíduos, para o caso de má gestão dos mesmos por parte dos terceiros, em qualquer etapa que seja, haverá a corresponsabilidade para o gerador (PERNAMBUCO, 2010).

A resolução nº 307, de 5 de julho de 2002 do CONAMA (2010) estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

Seguindo os preceitos da PNRS, a resolução 307/2002 do CONAMA também define que o gerador é o responsável pela destinação adequada do resíduo, minimizando os riscos do mesmo se abster da responsabilidade quando da terceirização dos serviços de coleta, transporte, destinação ou disposição final. Desta forma, a resolução obriga o gerador a melhor escolher as empresas que farão o processo de gerenciamento dos seus resíduos, evitando empresas de confiabilidade dúbia (CONAMA, 2002).

A partir da obrigatoriedade expressa no seu art. 10, a resolução nº 307/2002 do CONAMA se faz necessária a triagem dos resíduos de construção civil de acordo com as suas classes (A, B, C e D), direcionando-os de forma adequada para as etapas necessárias à sua destinação ou disposição final. Havendo a separação, há uma tendência ao aumento dos processos de reciclagem ou reutilização, uma vez que os materiais estarão em condições favoráveis de segregação (CONAMA, 2002).

É dada a devida notoriedade aos grandes geradores de resíduos de construção civil que, para aprovação de seus projetos, precisam elaborar um Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, devendo contemplar (CONAMA, 2002):

- I - caracterização: nesta etapa o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;
- II - triagem: deverá ser realizada, preferencialmente, pelo gerador na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas no art. 3º desta Resolução;
- III - acondicionamento: o gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a

geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem;
 IV - transporte: deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;
 V - destinação: deverá ser prevista de acordo com o estabelecido nesta Resolução. (CONAMA, 2002, p. 06).

3.2.2 Resíduos sólidos

De acordo com a NBR 10004 que trata da classificação dos resíduos sólidos, se tem a seguinte definição para os mesmos:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT, 2004a, p. 01).

A classificação dos resíduos sólidos é dada com base no potencial de riscos que tal material pode proporcionar ao meio ambiente ou à saúde humana, onde os parâmetros de periculosidade estão ligados às propriedades físicas, química e biológicas dos materiais. Sendo assim, a NBR 10004 (ABNT, 2004a) faz a distinção dos resíduos sólidos da seguinte forma:

- Resíduos de Classe I – Perigosos, que devem apresentar características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade;
- Resíduos de Classe II – Não perigosos
 - ✓ Resíduos de Classe II A – Não inertes, que apresentam as características relacionadas à biodegradabilidade, combustibilidade ou por serem solúveis em meio aquoso;

Resíduos de Classe II B – Inertes, apresentando característica contrária aos não inertes, no que tange à solubilidade em água, de forma que não há modificação dos padrões de potabilidade da mesma (exceto aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor), quando o material é submetido à submersão ao líquido.

A Lei nº 12.305/10 define o conceito de rejeitos, como sendo aqueles materiais cujas possibilidades de tratamento e ou uso de tecnologias para recuperação não sejam viáveis, em termos econômicos ou técnicos (BRASIL, 2010).

Apesar de serem usadas sem diferenciação, as definições para lixo, dejetos ou resíduos

precisam ter uso distinto, de forma a não generalizar características relativas à inutilização dos materiais. Para o caso dos resíduos sólidos, há a possibilidade valorização dos materiais, quando para os dejetos e lixo não há essa possibilidade, devendo seguir para o processo de destinação final (BARROS, 2012).

Barros (2012) afirma que tal conceito de que os resíduos sólidos são materiais sem valor, pode ser mudado a partir dos conceitos de matéria e energia, que acabam sendo ignorados em função do consumismo. É preciso estabelecer uma cultura de produção de fluxo circular, levando em conta todos os impactos ambientais inerentes ao processo, rejeitando ao máximo os processos de produção linear, voltados apenas para extração, produção e descarte.

Os resíduos sólidos podem ser classificados: residencial ou domiciliar, compostos basicamente das atividades realizadas na cozinha e manutenção da casa no geral; comercial, sendo compostos essencialmente por embalagens, papéis e matéria orgânica; dos serviços de saúde cujos resíduos provêm de refeitórios, centros cirúrgicos, ambulatórios, etc.; industrial, sendo resíduos sólidos ou semissólidos que sejam provenientes de atividades industriais; varrição e feiras, constituídos de vegetação, papéis, embalagens plásticas, terra, cigarros, entre outros (BARROS, 2012).

Para separar os resíduos sólidos, os mesmos podem ser classificados em: grandes grupos de materiais; materiais degradáveis e materiais não degradáveis; materiais combustíveis e materiais não combustíveis; materiais reaproveitáveis e materiais não reaproveitáveis (BARROS, 2012).

Os resíduos sólidos também podem ser classificados em função do seu grau de biodegradabilidade em: fácil, tendo como exemplo a matéria orgânica; moderada, incluindo o papel, o papelão e produtos celulósicos; difícil, onde são elencados os trapos, couros, borracha, madeira; não degradável, devendo ser considerados os materiais do tipo plástico, vidros, entulhos, pedras, terra e outros (BARROS, 2012).

Duas definições importantes expressas pela Lei 12305/2010 são a de gerenciamento e gestão dos resíduos sólidos onde:

[...] X - gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei;

XI - gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável; [...] (BRASIL, 2010, p. 02).

Após gerados, os resíduos sólidos (RS) precisam ser coletados, acondicionados de forma adequada, para que sejam transportados seguramente para a unidade de transbordo, destinação ou disposição final. A coleta de RS pode ser feita com base em quatro sistemas diferenciados, sendo eles: sistema regular de coleta, coleta especial, coleta realizada pelo próprio produtor e coleta seletiva. A escolha dos veículos a serem usados no transporte dos resíduos está ligado às características técnicas, econômicas e sanitárias destes materiais (BARROS, 2012).

Em função da distância das unidades de tratamento ou destinação final, geralmente instalados em locais fora do meio urbano, se faz necessário a construção de Estações de transferência ou de transbordo, de modo a armazenar temporariamente os resíduos sólidos, até que sigam para as unidades finais de processo. Como são instaladas mais próximas do meio urbano, as unidades de transbordo precisam ser fechadas ou parcialmente fechadas, visando evitar a ocorrência de maus odores na vizinhança e a desvalorização do local (BARROS, 2012).

A etapa de pré-tratamento serve para condicionar e preparar os resíduos sólidos para os tratamentos a serem realizados posteriormente. São processos que exigem alto índice de mecanização, que por consequência também necessitam de um grande aporte financeiro inicial, assim como custos relativos à manutenção. Como exemplos se tem o separador magnético com esteira de triagem, prensa, balança e fardos. A principal função da etapa de pré-tratamento é atuar nos RS de modo a reduzir o seu volume (BARROS, 2012).

A PNRS define os processos de destinação final e disposição final:

[...] VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;
VIII - disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;
[...] (BRASIL, 2010, p. 02).

Quando os resíduos não puderem ser reduzidos na fonte de geração, os mesmos deverão ser avaliados quanto às possibilidades de reutilização e reciclagem, antes de serem enviados para disposição final em aterro sanitário. A primeira estratégia a ser adotada é a redução na fonte, através de modificações em relação ao modo de produção, maior

conscientização, assim como avaliação dos materiais e insumos utilizados (Barros, 2012).

Seguindo o conceito dos “R”, princípio básico da educação ambiental voltada para a geração dos resíduos sólidos, se tem que se faz necessário a redução da produção dos resíduos; a reutilização do resíduo, introduzindo um material não alterado física, química ou biologicamente em outro processo produtivo, diferente do que o originou; o reemprego do resíduo sólido, em um uso análogo a sua primeira utilização; a reciclagem, processo em que há a promoção da alteração das características do resíduo sólido, de modo a reintroduzi-lo nos ciclos econômicos de produção (BARROS, 2012; BRASIL, 2010).

De acordo com a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a reciclagem é:

[...] processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa; [...] (BRASIL, 2010., p. 02).

Entre os principais benefícios apontados por Barros (2012) em relação ao processo de reciclagem, se tem: diminuição da exploração dos recursos naturais, que não serão mais extraídos em função da reutilização, reemprego ou reciclagem; redução da poluição do solo, uma vez que os resíduos antes destinados inadequadamente podem ser reinsertos em processos produtivos; melhorias das condições urbanas do município, como a limpeza; aumento do tempo de vida útil dos aterros sanitários; a partir da segregação dos resíduos, há uma melhoria nos compostos orgânicos; geração de empregos diretos e indiretos; geração de receita; promove a conscientização e educação ambiental.

A compostagem também se apresenta como uma alternativa para reciclagem dos resíduos sólidos, especificamente os resíduos orgânicos. Através das ações dos processos físicos, químicos e biológicos de microrganismos normalmente aeróbios juntamente com a ação humana, o resíduo orgânico é convertido em um material mais estabilizado, denominado composto (BARROS, 2012).

Esse tipo de solução para reciclagem dos resíduos orgânicos, propicia a redução dos volumes dos RS orgânicos que seriam destinados aos aterros sanitários, assim como atuam na preservação da vegetação local, como parques, praças públicas, jardins botânicos, etc. (BARROS, 2012).

Segundo Barros (2012) através da combustão controlada é possível reduzir em 70% o peso e em 90% o volume dos resíduos sólidos, processo denominado incineração. Esse tipo de disposição para os resíduos sólidos é indicado para localidades cuja construção de aterros

sanitários seja dificultosa em razão da necessidade de grandes áreas, quando os aterros sanitários estiverem muito distantes do ponto de geração dos RS, para resíduos perigosos (industriais, serviços de saúde, etc.). É importante que os resíduos sólidos a serem direcionados para este tipo de tratamento, sejam resíduos secos e comburentes.

Há vários posicionamentos que vão de encontro ao processo de incineração, tais como: custos altos para realização do processo; emprego de muito capital e pouca mão de obra; impacto ao setor informal; necessário grande controle para evitar contaminação; produção de cinzas tóxicas; custos altos com consultoria; prejudicial à saúde pública; promoção da geração contínua de resíduos e abnegação em relação aos princípios dos “R” (BARROS, 2012).

Em relação à disposição final, apesar de estar longe de ser uma solução ambientalmente correta, os lixões, locais sem o devido controle operacional, de funcionamento e encerramento, ainda são uma realidade dos municípios brasileiros (BARROS, 2012).

De acordo com a norma ABNT NBR número 8849/85, que define as diretrizes para realização de projetos de aterros controlados, caracteriza os mesmos como:

Técnica de disposição de RS urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos cobrindo-os com uma camada de terra ou material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. (BRASIL, 1985, p. 02).

Apesar de na sua concepção de projeto ser levada em conta a necessidade de minimização de impactos ambientais, são por muitas vezes mal operados e passando da condição de aterro controlado, para lixões. Os aterros controlados. Ainda assim, não há a impermeabilização do solo (base), tratamento de chorume e queima ou coleta de gases (Barros, 2012).

De acordo com a norma ABNT NBR número 8419/96, que define as diretrizes para realização de projetos de aterros sanitários, caracteriza os mesmos como:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário. (ABNT, 1996, p. 01).

Nos aterros sanitários é proibida a destinação de resíduos perigosos, como os industriais, de serviços de saúde e de construção civil, devendo ser destinados aqueles não perigosos provenientes destas áreas, assim como de domicílios, de serviços de limpeza

urbana, pequenos comércios e demais com características afins aos gerados nas residências (Barros, 2012).

Faz-se necessário, além de todo o investimento com tecnologias e processos para reaproveitamento de RS, assim como para destinação final, o estímulo a programas sociais. Os programas sociais devem ter sempre o foco na educação ambiental, visando mudar o comportamento da população em relação ao seu papel e responsabilidade com a geração dos resíduos gerados (BARROS, 2012).

3.2.3 Resíduos de operação e manutenção de SES

Durante a operação de um Sistema de Esgotamento Sanitário, a destinação dos resíduos sólidos é uma grande preocupação, tendo em vista os grandes volumes gerados para serem geridos, assim como os custos relativos à destinação dos mesmos. Os resíduos avindos do processo de operação e manutenção de um Sistema de Esgotamento Sanitário podem ser gerados de diversas formas: através do aporte inadequado por parte da população; durante a realização de análises físicas, químicas e biológicas de laboratório; através da realização de obras de manutenção nas unidades de tratamento, elevação e redes coletoras de esgoto; nos processos das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) e operação de Estações Elevatórias de Esgoto (EEE).

3.2.3.1 Resíduos de áreas administrativas

As áreas administrativas da operação de um sistema de esgotamento sanitário geram resíduos comuns às áreas de escritório de uma forma geral. Rodrigues D. (2015) observou que nas áreas de alimentação, como copa e cozinha, eram gerados rejeitos de comida e café, guardanapos, embalagens plásticas e longa vida, metal, como latinhas de refrigerantes, papel, vidro. Nas áreas de escritório foi comum encontrar rejeitos de frutas, embalagens e papel, ainda assim foram evidenciados resíduos como eletroeletrônicos, toner de impressoras, vidros e metais. Os banheiros dispunham de resíduos compostos por papel higiênico usado, papel para enxugar mãos, embalagens de plástico ou papel. Onde eram realizadas as refeições, foram também encontradas embalagens que compunham as quentinhas dos integrantes, de material isopor ou metálicas.

Os almoxarifados, por sua vez, além de embalagens plásticas ou de papel, podem contar também com peças danificadas, devido ao transporte ou manuseio indevido, que

acabam sendo inutilizadas e virando resíduos. O auditório ou salas de reunião, por servirem apenas para ocasiões de eventos, reuniões, apresentaram resíduos em sua maioria compostos por copos descartáveis. Comuns às áreas de apoio administrativo à operação de um sistema de esgotamento sanitário, tem-se a geração resíduos de lâmpadas, pilhas, rejeitos de varrição de áreas internas e externas, podas vegetais, restos de cigarro (RODRIGUES D., 2015).

3.2.3.2 Resíduos de Estação de Tratamento de Esgoto e Laboratório

Após passar pelos processos químicos, físicos e biológicos, que estão distribuídos entre as etapas de tratamento de nível preliminar, primário, secundário e terciário, o esgoto terá grande parte da sua carga orgânica removida, gerando o efluente tratado e o lodo, que devem ser dispostos no meio ambiente de forma adequada (VON SPERLING, 1996; JORDÃO, PESSÔA, 1995; ANDRADE, 1999 apud PEDROZA et al, 2010).

Ao passar pela etapa de gradeamento, há a geração de resíduos sólidos grosseiros, assim como na caixa de areia, onde haverá a remoção de areia do processo. Nas etapas de tratamento secundário, onde há a predominância de processos biológicos, também haverá a geração de resíduo sólido, representado pelo lodo. No tratamento terciário, há a remoção de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, utilizando o processo de lodos ativados e uso de produtos químicos, respectivamente. Por fim, é realizada a remoção de organismos patogênicos através do processo de desinfecção, que também pode gerar embalagens contaminadas (VON SPERLING, 1996; JORDÃO, PESSÔA, 1995).

Para confirmar a eficiência dos processos realizados nas estações de tratamento de efluentes se faz necessária à coleta de amostras de efluente, de forma a realizar testes de demanda química e bioquímica de oxigênio, DQO e DBO, respectivamente. Na realização das análises em laboratório, que pode existir dentro da própria ETE, há a geração de resíduos em grande parte de vidro, recipientes plásticos, embalagens de produtos químicos e reagentes, produtos químicos vencidos, efluentes provenientes das análises (FRANCO, BILOTTA, 2014; GARCEZ, 2004; RODRIGUES D., 2015).

3.2.3.3 Resíduos de Estação Elevatória de Esgoto

As Estações Elevatórias de Esgoto (EEE) produzem basicamente quatro tipos de resíduos: o lixo, a areia, o lodo e os sobrenadantes (BORGES, 2003; RECESA, 2008b; SANTOS et al, 2016).

O esgoto que chega à estação elevatória de esgoto pode vir primeiramente para um poço de visita (PV) de chegada, localizado à montante da unidade. Após passar pelo PV, pode ser encaminhado para uma caixa de areia, que tem a função de remover a areia, cascas de ovos, silte, resto de café, partículas finas de carvão, cinzas, sementes de frutas e pedaços de ossos; após a caixa de areia segue para o gradeamento mecânico ou manual, de forma a retirar os sólidos grosseiros presentes no esgoto, encaminhado em seguida para o poço de sucção, onde é gerado o lodo e os sobrenadantes (BORGES, 2003; SILVA, CANOZZO, FEHR, 2004; CAMP, 1942 apud PRADO, CAMPOS, 2008).

O gradeamento de uma estação elevatória de esgoto pode apresentar resíduos incomuns, como cadeiras plásticas, galhos de árvores (LILIAMTIS, MANCUSO, 2003; SELINGARDI JUNIOR, 2013).

Durante o processo de operação das EEE, se faz necessário a realização de manutenções corretivas e preventivas. Tais manutenções tem por objetivo manter o bom funcionamento dos equipamentos componentes das estações. O processo de manutenção envolve a inspeção, lubrificação, recuperação ou substituição de componentes como bombas, motores, boias, fiações, rotores, peças, painel elétrico, que podem gerar resíduos durante a execução desses serviços (BORGES, 2003; MELO, 2012).

São essenciais a presença de alguns materiais e equipamentos para realização de atividades de manutenções em bombas de estações elevatórias de esgoto, assim como no estoque da área. Tendo em vista tais materiais e equipamentos, vê-se que há a geração de resíduos sólidos em virtude dessas atividades, sendo em sua maioria: ferramentas; equipamentos de proteção individual e coletiva usados; cordas e correntes; estopas, manta absorvente ou pó de serra contaminados com restos de óleos, graxas ou esgoto; fios e cabos elétricos; embalagens de graxas, óleos e lubrificantes; lixas; restos de óleo lubrificante e óleo isolante; graxas e borras oleosas; pallets de madeira; flanelas; saponáceos, detergentes e suas respectivas embalagens; efluentes provenientes de lavagem de peças, contendo óleos e graxas; embalagens de tintas automotivas, tinta epóxi, verniz isolante; sucatas e carcaças metálicas; resíduos de atividades de corte e solda; dispositivos elétricos como sensores, inversores de frequência, relés, entre outros; solventes e desengraxantes, incluindo suas respectivas embalagens (REGUS, 2011; RECESA, 2008b).

As atividades de manutenção, conserto, limpeza, lubrificação, troca de fluidos são as de maior impacto no que tange o despejo de efluentes provenientes de atividades automotivas. Os resíduos mais comuns no processo de limpeza ou lavagem automotiva são: graxas, óleos, partículas e sólidos de produtos adjuntos, metais pesados, surfactantes, chumbo, níquel,

asbesto, cobre, cromo, zinco, graxas, fósforo e borrachas, óleos lubrificantes, óleos combustíveis (BOHN, 2014; MENEZES, 2004).

Os resíduos graxos estão presentes nos setores industriais, comerciais e residenciais. Em sua maioria, esses vilões da rede de esgoto são gerados nas residências domiciliares, bares e restaurantes, gerados durante a produção de alimento, especialmente frituras (RABELO, FERREIRA, 2008; REQUE, KUNKEL, 2010; COPASA, 2017).

A pesquisa realizada com moradores de bairros periféricos de Salvador, obteve o resultado de que o barbeador é o resíduo mais comumente disposto no vaso entre os participantes da entrevista. Após o barbeador, tem-se por ordem de maior incidência o preservativo, o algodão, em seguida o absorvente, restos de cabelo e por último, roupas (CAVALCANTE, 2014).

Gomes (2016) viu em sua pesquisa que o papel higiênico e os lenços umedecidos têm tido crescimento em relação ao consumo e despejo no vaso sanitário. Empresas do segmento de operação e manutenção de SES, como a AEGEA (2013), EMBASA (2013) e Grupo Águas do Brasil (2013) veem que nas residências, comumente se vê o lançamento indevido de resíduos, seja através das pias de cozinha, como resíduos graxos, borras de café e restos de alimentos, como através do vaso sanitário, sendo despejados papel higiênico, sacos de plástico, fio dental, cabelo, restos de cigarro, fraldas, pedaços de brinquedos, cotonetes, suportes de pedra sanitária, escovas de dente, coletores ou retentores menstruais e materiais contraceptivos, como preservativos.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e o Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) alertam para a disposição de materiais inusitados, como: pente de cabelo, eletrônicos, pneus, cápsulas de bala, fetos, cápsulas de drogas, bolas de brinquedo, gato e cachorros mortos (R7, 2013; O CORREIO DO POVO, 2017).

3.2.3.4 Resíduos de redes e ramais coletores de esgoto

Sabe-se que a interação indevida do sistema de coleta de esgoto com o sistema de drenagem, por ineficiência de algum dos sistemas ou ligação irregular, pode acarretar na troca mútua de resíduos entre os mesmos (TSUTIYA, BUENO, 2004; LAMPOGLIA, MENDONÇA, 2006, tradução nossa; DIAS, ROSSO, 2011). De acordo com o estudo realizado por Neves e Tucci (2008) podem ser encontrados no sistema de drenagem de águas pluviais os resíduos: matéria orgânica, metal, isopor, vidro, madeira, madeira processada,

papel e papelão. O estudo feito por Gava e Finotti (2012) identificou a incidência de resíduos como ponta de cigarro, plástico, vidro, papel, metal, materiais de construção, lâmpadas fluorescentes.

As galerias de drenagem de águas pluviais ainda podem receber a contribuição de areia, podendo ser advindas de atividades de limpeza de logradouros, materiais provenientes de construção vias de acesso urbano, como também de material erodido de solo exposto (TUCCI, 2001).

A rede coletora de esgoto acaba sendo alvo para disposição de inúmeros materiais inadequados, que deveriam ser dispostos no lixo, sendo os materiais têxteis, materiais plásticos, areia, PET e componentes eletrônicos os maiores exemplos dessa atitude altamente prejudicial (SELINGARDI JUNIOR, 2013).

Em alguns casos, devido à proximidade de árvores em relação aos dispositivos da rede coletora de esgoto, ou devido ao fato de as juntas das tubulações das redes de esgoto estarem mal conectadas, há a entrada de material vegetal no sistema, como folhas, galhos e raízes (SARSHAR, HALFAWY, HENGMEECHAI, 2009, tradução nossa; SELINGARDI JUNIOR, 2013; RAMYA, PUSHPAVALLI, 2017, tradução nossa).

A população muitas vezes comete atos incorretos em relação ao sistema de esgotamento sanitário. Em alguns casos, há o lançamento de materiais de construção, provenientes de obras, como as de construção de edifícios, na rede de esgoto (PERNAMBUCO, 2016).

As lavanderias e os salões de beleza podem gerar uma contribuição de esgoto com produtos químicos, assim como material sólido, caracterizados por fios, fibras e tecidos têxteis para as lavanderias e fios de cabelo para os salões de beleza (FREITAS, 2002; PACHER, VAZ, OLIVEIRA, 2011; SOUZA, SOARES NETO, 2009).

As atividades de desobstrução das tubulações de esgoto podem ser realizadas de forma manual ou mecanizada. Desta forma, além dos EPI e EPC necessários à realização das atividades, são necessárias ferramentas como varetas de metal, que após um certo tempo de uso é descartada, assim como caminhões de desobstrução que com o passar de sua utilização necessitará descartar mangueiras, rompidas durante a execução dos serviços, como também os pneus usados por estes veículos (RECESA, 2008a; NUVOLARI, 2011).

Alguns dispositivos da rede coletora de esgoto, como rede em manilha cerâmica, poços de visita, caixas de inspeção, devido ao seu tempo de existência, podem apresentar desgastes, representados por fissuras, quebras e abatimentos, que acabam depositando parte desse material fruto de uma danificação na rede (SELINGARDI JUNIOR, 2013).

As danificações ocorridas nas redes coletoras de esgoto, emissários, interceptores, nos poços de visita, TIL e caixas de inspeção precisam ser consertadas para que não impactem no bom escoamento do esgoto pelo sistema de esgotamento sanitário. Para reparar os dispositivos, é preciso realizar as etapas de sinalização, demolição do pavimento, escavação, substituição ou reparo do dispositivo danificado, aterro, recomposição do pavimento, remoção de entulho e material escavado, onde todas essas atividades possuem potencial de geração de resíduos (RECESA, 2008a).

Durante a sinalização, podem ser usados cones, fitas zebradas, tapumes, placas metálicas, entre outros materiais que, após a utilização na obra, ou posteriormente a um tempo maior de uso, são descartados (DEBIASI, 2012).

Após a sinalização da obra a ser executada, tem-se a realização da demolição do pavimento. Para os casos de obras em redes coletoras de esgoto, incluindo os poços de visita, as demolições mais comuns, quando não se tratando de terreno natural, são a demolição de pavimento asfáltico, pavimento em paralelo e pavimento em cimentado. Para os casos de obras de recuperação em ramais de esgoto, incluindo caixas de inspeção e Terminais de Inspeção e Limpeza (TIL), tem-se as demolições em cerâmica, cimentado, lajota, pedra portuguesa. Essas demolições representam a geração de resíduos sólidos, comumente denominados entulhos (SANTOS JÚNIOR, 2015).

Após a retirada e demolição do pavimento, é realizada a escavação da vala a ser realizado o serviço de recuperação do elemento da rede ou do ramal de esgoto. A escavação pode ser realizada manualmente, mecanicamente ou com a utilização de explosivos. No caso das escavações manuais e mecânicas, há a geração de material escavado, como areia, barro ou argila, que podem estar contaminados ou não com esgoto. Para as escavações onde se faz necessário o uso de detonadores, há a geração de materiais sólidos rochosos (EINSFELD, LINDNER, 2015; FONSECA, SARMENTO, PAULA, 2014b).

Durante o processo de recuperação dos dispositivos danificados, em sua maioria há a substituição parcial ou total desses instrumentos. No caso das tubulações, comumente de PVC, cerâmica, concreto, PEAD ou ferro fundido, assim como o TIL, há a substituição do trecho danificado, gerando o resíduo da tubulação ou dispositivo rompido ou fissurado. Para os dispositivos de inspeção como poços de visita e caixas de inspeção, há a geração de resíduos de concreto armado, que compõem sua estrutura, assim como ferro fundido proveniente das tampas desses objetos (EINSFELD, LINDNER, 2015; FONSECA, SARMENTO, PAULA, 2014a; RECESA, 2008a).

As etapas consequentes dizem respeito ao aterro da vala, assim como recomposição de

pavimento, remoção do material escavado e do entulho do local. Na recomposição do pavimento pode haver a geração de resíduos provenientes de restos da pavimentação, o próprio material escavado e entulho proveniente da demolição (EINSFELD, LINDNER, 2015; FONSECA, SARMENTO, PAULA, 2014a; RECESA, 2008a).

Durante a realização dos consertos e reparos, se faz necessário o uso de ferramentas, a exemplo de picaretas, enxadas, pás, entre outras, que com o passar do tempo sofrem avarias e se tornam resíduos (RECESA, 2008a).

3.2.4 Resíduos de Construção e Demolição

A indústria da Construção Civil é uma das maiores contribuintes em relação à geração de resíduos sólidos, que incluem uma vasta gama de tipos de materiais, como resíduos de escavação, materiais de manutenção ou construção de estradas e rodovias, materiais provenientes de processos de demolição, assim como outros resíduos, incluindo a madeira, o metal, o vidro, etc. Apesar da grande contribuição de resíduos sólidos, a maior parte dos mesmos acabam sendo destinados em aterros sanitários, ou em locais inapropriados, o que causa danos ao meio ambiente (AIDONIS et al, 2013, tradução nossa).

O conceito de resíduos de construção e demolição ou resíduos de construção civil pode ser definido pela Resolução CONAMA de nº 307/2002:

[...] 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, dentre outros, comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha; [...] (CONAMA, 2002, p. 01).

Segundo Barros (2012), os resíduos da construção civil são provenientes de construções, reformas e demolições, realizadas em residências, colégios, locais de trabalho ou de lazer, incluindo os resíduos de infraestrutura, como estradas e saneamento.

Segundo o CONAMA (2002) os resíduos de construção civil podem ser divididos em classes, sendo elas: a Classe A, que representa os resíduos que podem ser reutilizados como agregados na construção, como material de escavação, argamassa, concreto, entre outros; a Classe B diz respeito aos resíduos que podem ser reciclados em áreas distintas à área de construção, como o papel, o plástico, metal, vidro, gesso e madeira.; a Classe C, abordando os resíduos que ainda não possuem tecnologias que possibilitem a sua reciclagem; e a Classe D, que dispõe sobre os resíduos perigosos provenientes do processo construtivo, tendo como

exemplo as tintas, óleos, resíduos de reparos em clínicas radiológicas e resíduos que contenham o amianto em sua composição.

Além da classificação realizada pelo CONAMA, os resíduos de construção civil também podem ser classificados de acordo a NBR 10004/2004, que de forma geral, classifica os resíduos em perigosos e não perigosos. A partir desta norma, os resíduos avaliados como perigosos, cujas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade fazem parte dos mesmos, são classificados como resíduos de classe I. Há também os resíduos não perigosos, denominados resíduos de classe II, que ainda dispõe de duas subdivisões: resíduos de classe II A, referentes aos resíduos não perigosos e não inertes, assim como os resíduos de classe II B, agrupando os resíduos não perigosos e inertes (ABNT, 2004a).

Como exemplos de resíduos de construção e demolição de classe II A, se tem a madeira virgem (sem tratamento), têxteis, isopor e o gesso, enquanto que para os resíduos de classe II B, os concretos e argamassas já solidificados, alvenaria, componentes cerâmicos e de concreto demolidos; azulejo. Ainda assim, se tem como resíduos de classe II B aqueles originados geralmente em atividades mais administrativas na construção civil, como o alumínio, o vidro, o plástico e o papel. Já os resíduos de classe I são representados pelo cimento amianto; madeira tratada; óleos lubrificantes, solventes, tintas e suas respectivas embalagens; compostos asfálticos; massa corrida (RECESA, 2008c).

Os Resíduos de Construção Civil (RCC), apesar de serem considerados como materiais inertes, quando depositados em terrenos baldios, córregos ou margens de rios, por exemplo, acabam tornando aquele local um depósito irregular de lixo. A partir da deposição desses resíduos, outros de caráter não inerte, acabam sendo depositados no local pela população, o que acaba na proliferação de vetores de doenças, mau cheiro e contaminação de recursos naturais, como o solo e conseqüentemente os aquíferos locais (RODRIGUES C., 2015).

Os entulhos gerados nas obras do Brasil, possuem a seguinte composição: 2/3 de todo o volume é de argamassas, enquanto 1/3 é proveniente de materiais de vedação, especificamente os tijolos. Ainda assim, se tem um percentual que varia de 5% a 10% na composição, que é relativa a existência de outros materiais, sendo eles: concreto, pedra, solo, plásticos, papéis e metálicos (BARROS, 2012).

Vários são os fatores que estimulam a geração de resíduos de construção civil, sendo os principais: a atitude predatória; ignorância em relação ao fato de que as áreas para aterros sanitários se tornarão cada vez mais escassas; não conhecimento dos benefícios oriundos da

reciclagem dos RCC; inexistência de uma política de reciclagem dos RS; falta de incentivos financeiros para redução da geração dos RCC; má administração pública ou administração pública mau estruturada; projetos que não levam os aspectos de sustentabilidade em consideração; improvisação nas frentes de serviço de obras; desqualificação da mão de obra; falta de preocupação por parte dos gestores das obras no que tange à geração de resíduos; custos baixos na aquisição de materiais de jazida ou “empréstimo” (BARROS, 2012).

3.3 Destinação e disposição final de RCD

Partindo dos princípios hierárquicos de reciclagem, sempre se deve trabalhar na gestão de resíduos sólidos de modo a inicialmente evitar sua geração, diminuir sua produção, posteriormente permitir a sua reutilização, em seguida avaliar alternativas de reciclagem para que por último, possa ser pensado em destinar em um aterro sanitário (BARROS, 2012).

De acordo com Ortiz, Pasqualino e Castells (2010, tradução nossa) é preciso priorizar o processo de reciclagem, para que em seguida seja pensada na alternativa de incineração dos resíduos e em última instância seja destinado em aterro, pois essa ordem de prioridade é dada em função da contribuição do processo para o aquecimento global. O processo de reciclagem é o que menos contribui para os efeitos negativos do aquecimento global, enquanto a destinação em aterro possui a maior contribuição entre os três processos.

A Recesa (2008c) reforça que a criação de áreas para manejo dos resíduos de construção e demolição propicia uma gestão correta destes resíduos. A existência de um trabalho em conjunto, entre as áreas de transbordo e triagem, aterros de resíduos de construção, recicladoras, pontos receptores de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e outros dispositivos, faz com que além de uma gestão adequada, se tenha a melhoria dos processos de reciclagem, proporcionando um maior quantitativo de material reciclado e que deixa de ir para um aterro ou disposição irregular.

Desta forma, a partir da implantação desses dispositivos de gestão de RCD, se constrói uma rede de soluções para destinação e disposição desses resíduos, em locais estrategicamente localizados no meio urbano, com foco no menor percurso possível desses resíduos no meio urbano, evitando também custos incorridos com o transporte (RECESA, 2008c).

Em relação aos tipos de resíduos de construção civil, segue abaixo o Quadro 2, dispondo os resíduos e as informações preliminares em relação às possibilidades de destinação ou disposição final:

Quadro 2 - Informações preliminares a respeito da destinação e/ou disposição final dos resíduos de construção civil.

Resíduos	Destinação ou disposição final
Concreto e alvenaria (fração mineral)	Podem ser reutilizada ou reciclada. A reciclagem é feita pela trituração e peneiração, obtendo-se areia e pedra para uso em concretos, argamassas, pavimentação e outros serviços. Quando tem que ser aterrada, essa fração deve ser exclusiva no aterro, pois assim se permite que ela venha a ser reciclada no futuro.
Papel, plástico, vidro e metais	Podem ser separados do resíduo de construção e encaminhados à reciclagem, através de venda ou doação.
Madeiras e podas	A madeira pode ser reusada ou reciclada, devendo ser dada a devida atenção à madeira tratada ou contaminada com outros materiais.
Gesso	Apesar de causar problemas ambientais na destinação, mas pode ser reciclado.
Solo	Em várias cidades há necessidade de solo para construções, para ajuste em topografia de terrenos, enchimentos, entre outras situações. Por isso, vários gestores de resíduo de construção recebem o solo, separam por tipos e vendem como material de construção. Para isso, é necessário separá-lo de outros materiais, como madeira, plástico, etc.
Resíduos perigosos: Classe D ou Classe I	Devem ser encaminhados a aterros de resíduos classe I e, para isso, deve-se providenciar a documentação necessária para transporte e destinação junto aos órgãos ambientais. Para seu transporte, é necessária Autorização para Transporte de Resíduos Perigosos (ATRP). Em geral, os custos de transporte e destinação são consideravelmente maiores que os custos de destinação das outras classes de resíduos.
Resíduos não perigosos e não inertes: Classe II A	Estes resíduos, quando não reciclados, devem ser encaminhados a aterros de resíduos classe II A. Deve-se verificar nos órgãos ambientais locais quais são as exigências para seu transporte e destinação, mas, em geral, não é obrigatória ATRP.

Fonte: Adaptado de Recesa (2008c).

Sendo assim, os próximos tópicos abordados dizem respeito à essas unidades, que compõe as áreas de manejo e destinação de RCD: área de transbordo e triagem; aterro para RCD classe A; unidade de reciclagem para RCD classe A. As mesmas podem ser implantadas no meio urbano, por serem construídas com base nos princípios de minimização de impactos ambientais, como também por não armazenarem resíduos classe I em quantidades significativas (RECESA, 2008c).

3.3.1 Coleta, transporte, transbordo e triagem

Segundo a Recesa (2008c) os resíduos de construção e demolição precisam ter suas frações específicas bem geridas, adotando uma série de cuidados em suas etapas de gestão. Na etapa de geração de resíduos, é preciso trabalhar de forma a diminuir o quantitativo de resíduo gerado, inclusive com a conscientização dos trabalhadores através de capacitações visando a separação dos RCC *in loco*, de modo a facilitar o andamento das etapas seguintes.

Contudo, ainda há alguns obstáculos para a realização da reciclagem dos RCC nas obras, que podem ser representados pela falta de separação dos tipos de resíduos durante o processo de geração, o não acondicionamento adequado, etc. A não separação ou o acondicionamento inadequado pode ocasionar em uma mistura entre as classes de resíduos, assim como a contaminação dos mesmos, o que pode inviabilizar ou diminuir o potencial de reciclagem dos RCC. Desta forma, para que o processo de reciclagem seja eficaz, se faz necessário o uso de tecnologias e processos nas obras, que juntos formem um sistema de gerenciamento capaz de aproveitar ao máximo os potenciais de reciclagem desses resíduos (GUERRA, 2009).

Durante o transporte dos resíduos da frente de serviço para uma unidade de transbordo, ou da unidade transbordo para uma unidade de destinação ou disposição final, é preciso mantê-los cobertos e segregados, para que as etapas consequentes, se assim existirem, possam ser beneficiadas. Quando não triados na frente de serviço, os mesmos precisam ser separados de acordo com o que preconiza a resolução 307/2002 do CONAMA, para que sejam preservadas as características dos resíduos, de forma a viabilizar os processos de reuso e reciclagem dos RCD (RECESA, 2008c).

A NBR 13221/2003 estabelece as diretrizes para transporte terrestres de resíduos, incluindo aqueles passíveis de passarem por processos de reciclagem, reaproveitamento ou reprocessamento, nos quais se enquadram os resíduos de construção e demolição. De acordo com a norma, na realização do transporte dos resíduos, se deve dispor de equipamento adequado, no qual não seja possível ou vazamento ou derramamento do resíduo transportado, assim como equipamento dotado de proteção contra intempéries. Os resíduos devem seguir com um MTR (manifesto de transporte de resíduos), assim como devem possuir ficha de emergência e rótulo de identificação, quando solicitado pela legislação.

Após serem transportados adequadamente, os RCDs seguem para uma área de transbordo e triagem (ATT), que de acordo com a NBR 15112/2004 se tratam de:

Área destinada ao recebimento de resíduos da construção civil e resíduos volumosos, para triagem, armazenamento temporário dos materiais segregados, eventual transformação e posterior remoção para destinação adequada, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente. (ABNT, 2004b, p. 01).

Também são definidos pela NBR 15112/2004 os pontos de entrega de pequenos volumes de resíduos de construção e demolição como “Área de transbordo e triagem de pequeno porte, destinada a entrega voluntária de pequenas quantidades de resíduos de construção civil e resíduos volumosos, integrante do sistema público de limpeza urbana.”

De acordo com a NBR 15112/2004 as áreas de transbordo e triagem (Figura 6) devem seguir vários critérios de projeção, implantação e operação, tais como: a necessidade de isolamento da unidade, de forma a não permitir a entrada de pessoas que não estejam envolvidas no processo, assim como melhorar as relações com a circunvizinhança através de barreira arbustiva ou arbórea; identificação das atividades realizadas na ATT logo em sua entrada; deve dispor de sistemas de segurança, incluindo os EPIs e equipamentos de proteção contra descargas atmosféricas; sistemas de proteção ambiental, como controle de poeira, contenção de ruídos, drenagem superficial para evitar o carreamento de materiais, revestimento do piso das áreas de acesso, operação e estocagem (ABNT, 2004b).

Figura 6 - Layout de uma ATT, que pode existir independentemente ou acoplada a recicladora e aterro de resíduo de construção.



Fonte: I&T Gestão de Resíduos (2019).

As ATTs devem contar com um plano de controle de recebimento de resíduos, de forma a possuir uma área específica e preparada para cada resíduo a ser recebido, assim como os devidos dispositivos de proteção ambiental necessário. Também devem ser realizados controles operacionais nessas unidades, de forma a se ter informações quantitativas e qualitativas em relação aos resíduos, através de relatórios mensais (ABNT, 2004b). Um exemplo de uma ATT pode ser dado na Figura 7:

Figura 7 - Área de Transbordo e Transporte. A. Entrada de uma ATT. B. Descarga de resíduos recebidos. C. Triagem de resíduos. D. Resíduos triados.



A



B



C



D

Fonte: I&T Gestão de Resíduos (2019).

Nessas unidades devem ser recebidos apenas resíduos volumosos e resíduos de construção civil com baixas cargas de resíduos de classe D. Os resíduos recebidos por essas unidades só devem ser aceitos quando no transporte os mesmos estiverem cobertos, devendo ser triados e armazenados conforme classificação resultante da triagem. Para remoção dos resíduos da ATT, é necessário que seja feito com um controle de transporte de resíduo (CTR) (ABNT, 2004b).

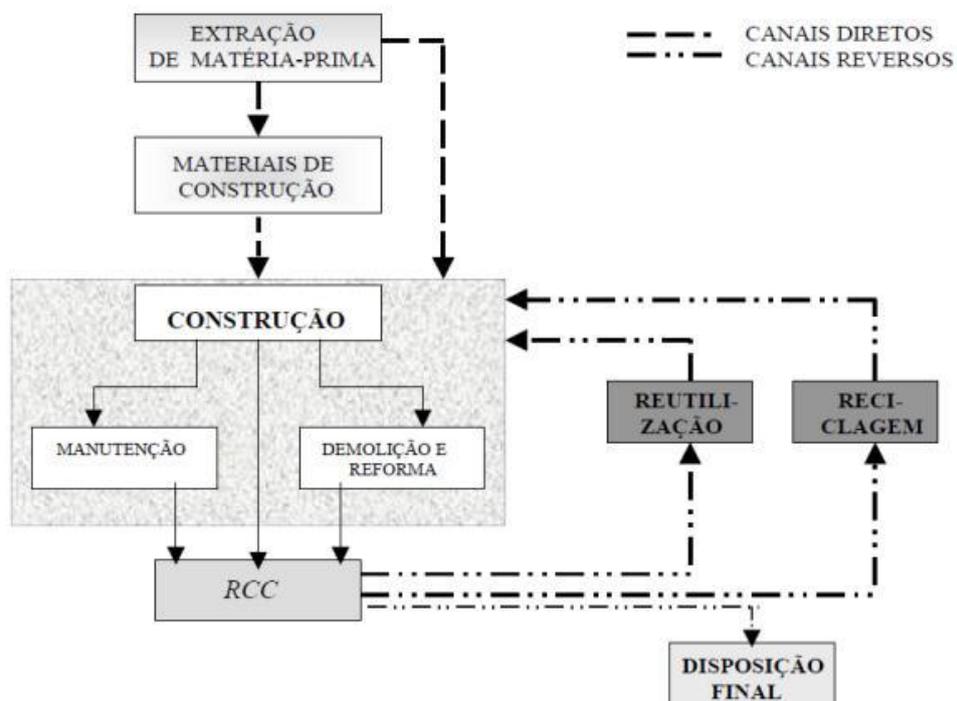
3.3.1 Destinação de RCD

Apesar de países como a Inglaterra, por exemplo, já possuírem percentuais de 90% de reciclagem dos RCC produzidos, no Brasil 94,5% dos RCC são destinados aos lixões e em Hong Kong os RCC são proibidos de serem destinados em aterros sanitários. A diferença percentual entre os países dar-se por diversos motivos, como a facilidade para disposição em aterros sanitários, a existência de espaço físico para os aterros sanitários, investimentos em

novas metodologias e tecnologias para reciclagem, leis que obriguem a reutilização dos materiais (SOUTSOS; FULTON, 2015, tradução nossa; YEUNG, 2008, tradução nossa; NUNES, 2009).

De acordo com Nunes (2009), faz-se necessário estabelecer o conceito de logística reversa para os resíduos da Construção Civil, de forma que possam ser pensadas alternativas desses resíduos retornarem aos processos construtivos, antes de terem destinação final em um aterro sanitário, que pode ser demonstrado através da Figura 8:

Figura 8 - Logística reversa na construção civil.



Fonte: Nunes (2009).

Para que haja um bom funcionamento da logística reversa, é preciso que haja um público para compra dos materiais, local para processamento e recebimento dos materiais reciclados e um sistema para monitoramento (NUNES, 2009).

A logística reversa dos resíduos de construção e demolição podem apresentar diversos benefícios, como: menor geração de rejeitos e o aumento do tempo de vida útil dos aterros sanitários; menor extração de recursos naturais, especialmente os não-renováveis; menor geração de energia nos processos de fabricação dos materiais; menor emissão de gases de efeito estufa, como o gás carbono. O processo de logística reversa também pode apresentar alguns obstáculos no seu processo de desenvolvimento: custo oneroso, tanto por questões de

maquinário e novas tecnologias, assim como por falta de mão de obra habilitada; falta de um planejamento bem estruturado; ausência de políticas públicas e investimentos governamentais, como a redução de impostos, por exemplo, a fim de incentivar as práticas de reciclagem dos RCC (HOSSEINI *et al.*, 2015, tradução nossa).

3.3.1.1 Reutilização

De acordo com a norma 15114/2004, o processo de reutilização de resíduos é o “Processo de aproveitamento de um resíduo, sem sua transformação.” (ABNT, 2004c, p.02). Ou seja, todo o RCD que possui condições de ser reaproveitado, sem que seja necessária a realização de processos que visem a transformação desse resíduo. Como exemplo, se tem o solo reaproveitado para o reaterro de valas ou cavas, sem passar por processos de beneficiamento.

3.3.1.2 Reciclagem

O processo de reciclagem dos resíduos de construção e demolição pode ser considerado um processo dificultoso, tendo em vista a comparação do seu custo a curto prazo com o de materiais virgens, assim como em virtude das várias etapas necessárias para realização do processo: coleta e acondicionamento, transporte, segregação, disposição final, beneficiamento, novo transporte (BARROS, 2012).

O CONAMA (2002) explana que a reciclagem é o processo de reaproveitamento de um determinado material, com base em um processo de beneficiamento. Também define que o agregado reciclado é o resíduo que após passar pelo processo de beneficiamento, que vai lhe conferir características necessárias, terá aplicação em áreas como construções verticais; obras de infraestrutura, como saneamento, vias, rodovias; aterros sanitários, entre outros tipos de obras.

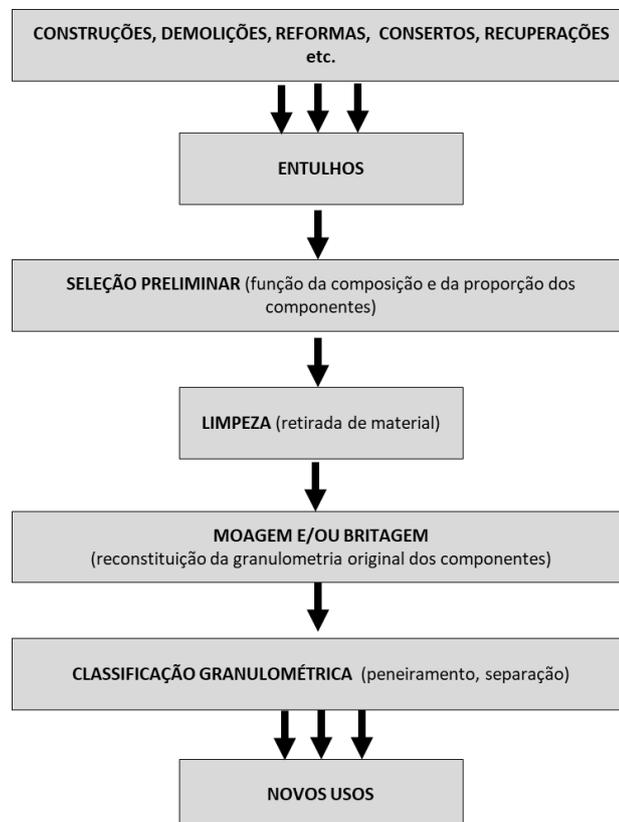
Os resíduos de construção e demolição possuem uma grande viabilidade para serem reincorporados à construção civil, podendo atuar na substituição dos agregados naturais e, mesmo com a utilização de aditivos, como o cimento, por exemplo, ainda continuar economicamente viável (SOUTSOS; FULTON, 2015, tradução nossa).

3.3.1.2.1 Usinas de reciclagem

Dosal et al (2012) estabelece alguns critérios necessários para instalação de uma unidade recicladora de resíduos de construção e demolição, como: a aceitação do governo e população local; a distância entre as fontes geradoras de resíduos e unidade recicladora, influenciando diretamente no custo com transporte; a proximidade com potenciais compradores do material reciclado produzido; existência de mão de obra local, reduzindo os índices de desemprego e melhorando a aceitação da instalação da unidade; cálculo da razão da população afetada (hab./Km²); avaliação do impacto visual às atrações turísticas existentes; proximidades às áreas de proteção ambiental; redução das emissões de CO₂ em razão da otimização das distâncias de transporte, sendo calculadas as emissões em função do peso da tara e a distância percorrida pelo caminhão ($\text{gCO}_2 / \text{t RCD} * \text{Km}$), quantidade de RCD gerado nas áreas de interesse; distância em relação às unidades recicladoras concorrentes; distância do aterro de resíduos classe A; avaliação da infraestrutura rodoviária e acessos à unidade; disponibilidade de espaço para construção da usina de reciclagem.

De acordo com Barros (2012), o processo de reciclagem dos entulhos pode ser exemplificado como na Figura 9:

Figura 9 - Processo de reciclagem de entulhos.



Fonte: Adaptado de Barros (2012).

O tamanho da usina de reciclagem deverá se dar em função da quantidade de resíduos que se propor absorver, de acordo com a demanda de recebimento desses materiais, prevendo também períodos de altas e baixas produções de resíduos (BARROS, 2012).

Podem ser considerados como elementos componentes de uma usina de reciclagem de entulho de construção civil: dispositivos de proteção e isolamento do local das áreas circunvizinhas; acesso para equipamentos e veículos; edificações; equipamentos; baias para depósito temporário de materiais que não são Classe A segundo o CONAMA 307/02; barreira vegetal; água potável; energia elétrica (BARROS, 2012).

Em relação aos equipamentos utilizados em uma usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição, se tem o local de recepção (tipo calha vibratória); removedor de metais ferrosos; britador e/ou moinho; transportadores de correia; conjunto de peneiras (BARROS, 2012).

Em se tratando dos processos de destinação dos RCD, o reuso dos resíduos de construção e demolição deve ser uma alternativa a ser avaliada no processo de destinação, uma vez que utilizará de poucos recursos para realização do beneficiamento dos RCD, assim como baixos custos nos processos. Já o processo de reciclagem, em função de seus benefícios ambientais, sociais e econômicos, é a meta principal no processo de gestão dos resíduos de construção e demolição (RECESA, 2008c).

No processo deve haver uma seleção preliminar, feita para selecionar os tipos de materiais em função da composição e proporção dos materiais; em seguida são retirados os materiais que não são caracterizados como resíduos Classe A segundo a resolução CONAMA 348/04 e resolução CONAMA 307/02; é dado o processo de moagem ou britagem, gerando os agregados com as granulometrias requeridas; classificação granulométrica, realizada através do peneiramento, segregando os materiais conforme suas dimensões (BARROS, 2012).

Segundo a NBR 15114/2004 uma área de reciclagem de resíduos de construção civil (Figura 10) pode ser definida como: “Área destinada ao recebimento e transformação de resíduos da construção civil classe A, já triados, para produção de agregados reciclados.” (ABNT, 2004c, p. 01).

Em relação aos aspectos de isolamento, identificação, acesso, segurança, sistema de proteção ambiental e os devidos controles de recebimento de resíduos, devem seguir as mesmas premissas das áreas de transbordo e triagem (ABNT, 2004c).

Figura 10 - Representação esquemática de uma unidade recicladora de resíduos de construção classe A.



Fonte: I&T Gestão de Resíduos (2019).

Os resíduos a serem direcionados para essa área de reciclagem, já devem ser devidamente triados, só devendo ser recebido os resíduos de construção civil Classe A. Nesta unidade, deverão ser reciclados os resíduos de classe A, assim como o solo. Deverão ser previstos planos de manutenção e inspeção para as instalações da unidade, de modo a minimizar impactos à circunvizinhança e meio ambiente. Um plano de operação também deve ser previsto, controlando a entrada e saída dos resíduos, como também as descrições de processos realizados, qual a destinação para os rejeitos, quais as destinações para os resíduos a serem reutilizados e reciclados (ABNT, 2004c).

Abaixo são exemplificados os equipamentos utilizados numa unidade recicladora de resíduos de construção classe A (Figura 11):

Figura 11 - Unidade recicladora de RCD. A. Alimentação de equipamento para reciclagem de resíduo classe A. B. Britador de mandíbulas usado na britagem de RCD. C. Peneira sobre base separadora de agregados de vários tamanhos. D. Pilha de agregados reciclados.



A



B



C



D

Fonte: I&T Gestão de Resíduos (2019).

Basicamente, as unidades recicladoras são compostas por equipamentos para realização de britagem, visando a diminuição dos resíduos; equipamentos para segregação dos materiais em função de sua granulometria, no caso as peneiras (RECESA, 2008c).

Algumas unidades recicladoras de RCC classe A ainda podem ser dotadas de unidades de beneficiamento avulsas (Figura 12):

Figura 12 - Recuperadora de solo, com evidência da alimentação e transportador de correia.



Fonte: I&T Gestão de Resíduos (2019).

Esse tipo de equipamento tem a função de separar o solo de outros materiais, como a madeira, pneus, podas, etc., a partir da triagem e separação, podendo haver também a segregação por de subtipos de solo (RECESA, 2008c).

Ulubeyli, Kazaz, Arslan (2017, tradução nossa) enfocam que a implantação de uma usina de reciclagem pode requerer altos custos de investimento. Evidenciam também que as usinas de reciclagem de maior porte são mais rentáveis que as de menor capacidade.

3.3.1.2.2 Reciclagem da fração mineral

A fração mineral dos resíduos de construção civil composta por concreto, alvenaria, azulejos, argamassas, componentes de concreto, componentes cerâmicos, areia, pedra e materiais similares, desconsiderando o solo, são responsáveis por mais de 50% do volume total dos RCC (RECESA, 2008c).

O processo de reciclagem tem início no recebimento dos resíduos, atuando inicialmente na segregação entre resíduos provenientes de demolição de concreto e resíduos de demolição de alvenaria. Tal processo visa a obtenção de produtos como a pedra e areia de concreto, melhores aplicadas para uso em concreto e argamassas, enquanto que tais produtos advindos dos resíduos de demolição de alvenaria, têm melhor aplicação em pavimentação, não sendo tão boa a sua aplicação aos concretos (RECESA, 2008c).

Como não é possível a reciclagem dos resíduos de Classe A com os resíduos advindos do gesso, é necessário que a fração existente de gesso seja separada, assim como materiais de Classe B precisam ser segregados dos resíduos de Classe A para fins de reciclagem. Estando devidamente segregados, os resíduos de Classe A deve passar por um processo de homogeneização, de forma a tornar a fração reciclada mais uniforme, seguindo a metodologia de homogeneização em todas as etapas: trituração, peneiramento e distribuição (RECESA, 2008c).

O processo de retirada da fração fina dos resíduos antes do início das atividades de reciclagem apresenta duas vantagens: a primeira vantagem está no fato de não ser preciso atuar na trituração desses materiais, havendo economia nos custos inerentes a essas atividades; a segunda é caracterizada na ocorrência de materiais indesejáveis na fração miúda, como gramas, serragem, que diminuem a qualidade dos produtos finais da reciclagem, no caso a areia e a pedra recicladas. Ainda assim, o material fruto do peneiramento preliminar, é classificado como agregado “pré-classificado”, podendo ser aplicado em pavimentação, revestimento primário de vias, cobertura de célula em aterro (RECESA, 2008c).

Após o peneiramento preliminar dos resíduos de construção e demolição, os mesmos seguem para o processo de trituração, de forma a reduzir a granulometria dos RCDs àquelas necessárias à formação de areia e pedras. Os equipamentos comumente utilizados são os britadores de impacto ou britadores de mandíbulas (RECESA, 2008c).

Para retirada de contaminantes após o processo de trituração, se faz necessário o uso de um separador magnético, visando a retirada de materiais ferrosos, assim como também é necessária a retirada de materiais que não enquadraram como resíduos de Classe A, como a madeira, o papel, o plástico, entre outros (RECESA, 2008c).

Sendo retirados os materiais indesejáveis à constituição da areia e pedra recicladas, é feito o peneiramento do material britado, gerando como produtos a areia, o pedrisco, a pedra 1 e a pedra 2 (RECESA, 2008c).

3.3.1.2.3 Reciclagem do solo

Por muitas vezes o solo não dispor de condições de suporte adequadas para serem aplicados em vias, os mesmos precisam ser corrigidos, para que possam atender aos requisitos do projeto. Sendo assim, todo o processo realizado para mudança das características e propriedades do solo, de modo a atender aos requisitos de projeto, é denominada estabilização do solo (MAKUSA, 2013, tradução nossa).

A estabilização de solos pode ser dada a partir da adição de um produto que possa lhe conferir a característica de resistência de forma definitiva. Como exemplos de produtos, se tem: asfaltos e betumes; o cimento; a cal; e outros produtos químicos e industrializados. De uma forma geral, tais produtos atuam na maximização das forças coloidais que proporcionam a união entre os grãos. É importante ressaltar que para que seja utilizado efetivamente, o aditivo precisa ter um custo relativamente baixo (UFPR, 2019; BRITO, PARANHOS, 2017).

No processo de estabilização do solo com uso da cal, se tem que os solos argilosos geralmente apresentam melhores resultados que outros solos, embora os siltosos, alguns arenosos, argilo-arenosos ou pedregulhos-plásticos de saibreiras, possam obter bons resultados em relação à sua resistência a partir do aporte de cal em suas composições. Em contrapartida, para pedregulhos ou cascalhos que contenham partículas finas plásticas em quantitativo suficiente para as devidas reações com a cal, obtém na maioria dos casos uma maior resistência, quando comparado com as composições de argila com cal (UFPR, 2019; LIMA, 1984 apud BRITO, PARANHOS, 2017).

A partir do aporte de cal nas misturas com os solos, são ocorridas diversas reações

químicas: aglomeração, onde no período de cura ao ar livre, o produto da mistura entre esses dois materiais adquire maior trabalhabilidade e menor plasticidade; ação cimentante pozolânica, onde a cal reage com os minerais do solo de modo a formar novas estruturas, transformando as partículas finas do solo em compostos ligantes, geralmente ocorre com a fração argilosa; carbonatação, que é maléfica por produzir carbonato de cálcio, que diminui o composto reagente com o solo (UFPR, 2019).

Como propriedades físicas adquiridas pelo solo com incorporação da cal, se tem: aglomeração dos grãos finos, onde na argila, por exemplo, será obtido um solo mais granular; redução da plasticidade do solo; mudança de volume, reduzindo a variação volumétrica ocorrente no solo; compactação e teor ótimo de umidade, apresentando densidade menor que a apresentada no solo original, com aumento do teor ótimo de umidade; resistência, que a partir do aporte de uma quantidade considerada como “ótima” no solo, se obtém a resistência necessária (UFPR, 2019).

Segundo a UFPR (2019) e Makusa (2013, tradução nossa) a aplicação de cimento em misturas com solo tem por objetivo a obtenção da melhoria do solo no que tange os seus limites de consistência, sensibilidade à água e resistência ao cisalhamento. Como etapas necessárias ao processo de estabilização com cimento se tem: ensaios preliminares no solo, avaliando a granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, compactação, ISC e expansão; seleção do teor de cimento, estabelecendo uma relação percentual entre o teor de cimento e o teor de massa de solo seco; ensaio de compactação; moldagem e cura dos corpos de prova; ensaio de compressão; fixação do teor de cimento necessário à mistura com o solo.

É possível realizar a estabilização do solo a partir da adição de cal, cinzas volantes e água, sendo a mistura utilizada na construção de pavimentos, especificamente para camadas de reforço, sub-base e base, assim como utilizada na melhoria dos subleitos. O processo é bastante similar ao da mistura solo-cal, com a diferença que as cinzas volantes são inseridas para os solos em que há pouca concentração de pozolana necessária para evitar reações indesejáveis (UFPR, 2019).

A estabilização do solo dada através do emprego do cloreto de cálcio é feita com a aplicação deste produto na estrada, que prontamente age como um redutor de pó e consolidador do solo. O produto age atraindo a umidade da atmosfera para a mistura com o solo, assim como atuando como um consolidante, aumentando a densidade do solo, gerando em um solo mais estável e sem poeira, não havendo lama em período de chuva, nem poeira em períodos de estiagem (UFPR, 2019).

É possível a partir da estabilização com sulfonato de lignina, subproduto químico do

despolpamento da madeira, a propriedade de aglutinação é obtida nas vias encascalhadas e poeirentas, de modo que a partir da formação de uma argamassa é possível obter uma estrada sem deformações e com menos poeiras. A mistura com sulfonato de lignina apresentou bons resultados para solos que contivessem pedregulhos, como também para areias e argilas (UFPR, 2019; TA'NEGONBADI, NOORZAD, 2017, tradução nossa).

O método de estabilização com ação impermeabilizante visa misturar água e material betuminoso com solos pulverizados, a exemplo da argila, silte e areia. Essa mistura proporciona a melhoria dos aspectos de valor de suporte do solo, para que funcionem como material de base ou sub-base. Os produtos usados para essa mistura são as emulsões asfálticas de ruptura lenta, os *cut-backs*; asfalto líquido; alcatrões. Esse tipo de estabilização não é a melhor indicada para locais de clima frio ou úmido, uma vez que os solos desses locais já possuem um teor de umidade alto, onde a potencialização dessa característica pode acarretar em perda de resistência do solo (UFPR, 2019; CRISTELO, 2001).

Tem-se utilizado nano polímeros no processo de estabilização de solos, seguindo uma tendência de uso em micro e nano escala de aditivos. Um exemplo é o CBR PLUS, nano polímero, composto orgânico iônico sintético, derivado do ácido sulfônico, com finalidade de mudar a característica hidrofílica da argila, para que passe a ter uma característica hidrofóbica, com formação de camadas oleosas na argila e superfície do solo. Com isso há a melhora de características do solo, como aumento da resistência à compressão, diminuição da plasticidade do solo e maior capacidade de suporte, que permitem a redução do pó e formação de danificações nas vias (MOUSAVI, KARAMVAND, 2017, tradução nossa).

3.3.1.2.4 Reciclagem de resíduos de pavimentação asfáltica

Os resíduos de pavimentação asfáltica possuem viabilidade para serem reutilizados, podendo receber um tipo de beneficiamento, que consiste na incorporação ao resíduo de um material ligante, podendo ser à base de cimento ou uma emulsão betuminosa (NAKAMURA, 2011).

A reciclagem dos pavimentos asfálticos pode trazer inúmeros benefícios, como a diminuição de recursos naturais e o conseqüente impacto positivo ao meio ambiente, não deixando de restaurar as condições geométricas existentes. Sabe-se que o asfalto demolido não deixa de ser um recurso valioso, que apesar de suas características atuais não atenderem mais aos critérios para pavimentação, as mesmas podem ser recondiçionadas para este ou outros fins com a combinação de outro asfalto ou agente rejuvenescedor. Com a utilização do

asfalto demolido, a necessidade de acréscimo de asfalto novo é de 1 a 3%, enquanto que para a utilização de materiais virgens a necessidade pode chegar até 6% de asfalto (DNIT, 2006).

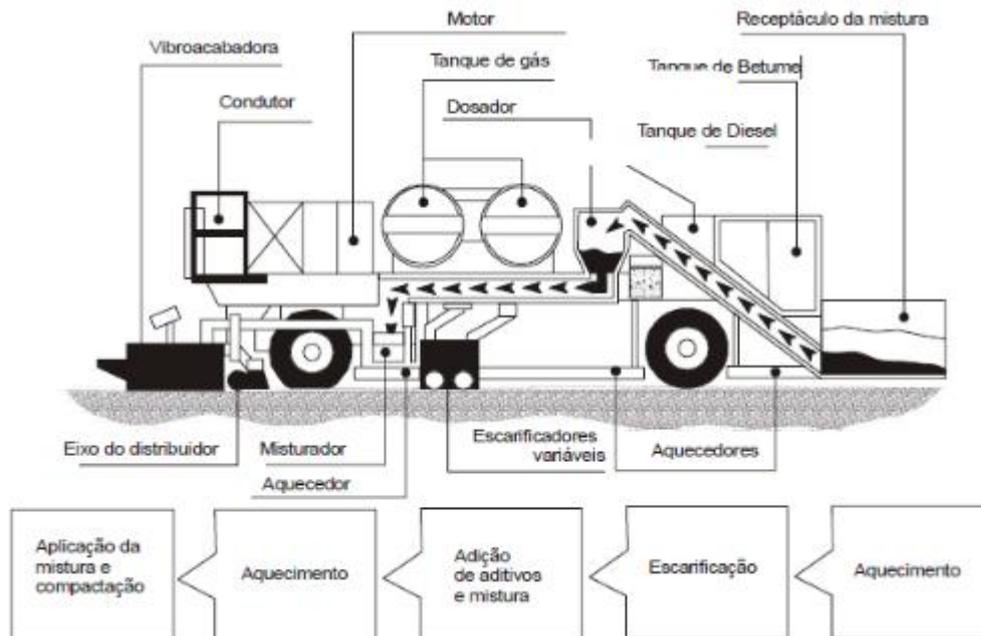
Para escolha do método de reciclagem a ser adotado uma série de informações devem ser levadas em consideração. Com ciência do resultado que se deseja obter com o condicionamento do pavimento, são realizados ensaios de laboratório e de campo, de forma a subsidiar o projeto preliminar do pavimento, a análise de viabilidade econômica das opções de reciclagem e posteriormente atestar o desempenho dos materiais pós realização dos serviços (DNIT, 2006).

De forma geral as formas de reciclagem dos pavimentos asfálticos podem ser divididas em duas modalidades, sendo a reciclagem a quente e a reciclagem a frio. A reciclagem a quente ainda pode ser subdividida na reciclagem em usina estacionária e reciclagem no local ou *in situ*, enquanto que a reciclagem a frio se desdobra na reciclagem com adição de material betuminoso e reciclagem com adição de estabilizante químico (DNIT, 2006).

A reciclagem a quente no local é caracterizada pela recuperação superficial do pavimento a partir do corte do pavimento através da fresagem, posteriormente misturando-o com um agente rejuvenescedor, material ou mistura asfáltica, agregado virgem, e realização da distribuição do material reciclado sobre o pavimento, sem que haja a remoção do pavimento demolido do local (DNIT, 2006).

De acordo com o DNIT (2006) já há dois métodos de reciclagem a quente já usados pelos DNER, sendo eles o método Marini e Wirtgen. O método Marini realiza a fresagem do pavimento a frio, realizando a mistura do material a quente e depois espalhando o material sobre o pavimento ser recuperado. O método Wirtgen realiza a fresagem a quente, onde o pavimento a ser demolido é amolecido, sendo coletado em uma única passada, sendo misturado e distribuído na via (Figura 13).

Figura 13 - Esquema do equipamento de reciclagem a quente no local.



Fonte: DNIT (2006).

Não há distinção no que diz respeito à quantidade de ensaios necessários, quando comparadas as reciclagens *in situ* ou em usinas estacionárias. O desempenho dos asfaltos reciclados no local tem se mostrado satisfatório, mesmo quando submetidos a níveis elevados de carga (DNIT, 2006).

A reciclagem a quente em usina estacionária é caracterizada pela remoção do total ou de parte do material asfáltico demolido do local. O material é transportado para uma usina de asfalto para que seja beneficiado através da adição de material de enchimento, CAP, novos agregados e havendo necessidade, até mesmo acréscimo de material rejuvenescedor. Após a realização do processo de reciclagem, o produto deve atender às especificações para ser usado como “binder”, camadas de base ou de rolamento (DNIT, 2006).

As usinas estacionárias comumente usadas para realização de reciclagem de asfalto são as do tipo intermitentes e “drum mixer”, onde em ambas o material demolido precisa ser reduzido em frações menores preliminarmente, assim como nas duas tecnologias há a possibilidade de poluição do ar em função de emissões (DNIT, 2006).

O DNIT (2006) afirma que se tratando de eficiência em custos a metodologia de reciclagem à quente tem melhor aplicação na reconstrução da pavimentação. Quando as tecnologias de reciclagem à quente são comparadas em termos de economia de energia (transporte, agregados, novos insumos, processos construtivos) com as tecnologias de recapeamento convencionais, se vê que há um ganho significativo, conforme exemplifica o

Quadro 3:

Quadro 3 - Comparação entre consumo de energia.

Processo	Necessidade de energia (BTU/ton)
Recape com mistura nova (e = 4 cm)	581.980
Fresagem a frio e reciclagem a quente em usina: - 20% reciclado / 80% mistura nova (e = 4 cm)	542049
- 40% reciclado / 60% mistura nova (e = 4 cm)	488.401
Reciclagem a quente na pista (e = 4 cm)	202.300

Fonte: Adaptado de DNIT (2006).

As reciclagens em usina se mostram bastante vantajosas quando se deseja obter uma melhor qualidade em relação à reciclagem do asfalto demolido, pois é possível ter um melhor controle de sua qualidade e uma melhor capacidade de melhorar a estrutura antes deteriorada do asfalto.

Em termos de desempenho e limitações, se sabe que a reciclagem a quente ainda é um processo novo e, em função de uma não padronização dos materiais demolidos em relação aos materiais virgens, devem ser tomados cuidados adicionais nesse tipo de processo. Em virtude dessa incerteza em relação às características dos materiais demolidos a serem reciclados, há também incerteza quanto ao desempenho do material produto dessa reciclagem, não sendo totalmente aconselhado a sua aplicação em camadas de rolamento. Ainda assim, a existência de muitos materiais com características distintas, pode acarretar na necessidade de elaboração de outros projetos em análise a estes materiais, tornando a reciclagem neste aspecto não viável economicamente (DNIT, 2006).

A reciclagem do asfalto a frio também pode ser realizada no local ou transportada para mistura em usina, onde o produto da mistura com agregados, agentes rejuvenescedores, estabilizantes químicos e até mesmo emulsão asfáltica, pode ser utilizado como base para pavimentos. Pode ser classificada de acordo com o tipo de material a ser misturado ao asfalto demolido, se dividindo em reciclagem a frio com adição de material betuminoso e reciclagem a frio com adição de estabilizante químico (DNIT, 2006).

De acordo com o DNIT (2006) por mais que seus aspectos de controle e análises laboratoriais sejam idênticos, os dois tipos de reciclagem se diferenciam no fato de a reciclagem com uso de estabilizante químico haver o envolvimento do subleito do pavimento, na reciclagem com uso de material betuminoso há o envolvimento apenas do revestimento e da base. As técnicas podem ter aplicação em vias vicinais, acostamentos deteriorados e como

base estabilizada.

O DNIT (2006) preconiza que para seleção do tipo de estabilizador a ser usado na mistura com o pavimento demolido é necessário uma série de estudos em laboratório para que seja definido o projeto de mistura para aquele material reciclado. Em termos de execução, a reciclagem a frio também pode ser realizada *in situ* ou em usinas, onde as etapas do processo de reciclagem são: rompimento do pavimento, podendo ser realizada através da escarificação ou fresagem a frio; caso seja adotado o método de escarificação no processo de retirada do pavimento asfáltico ainda se faz necessária a realização do processo de redução de dimensões; é realizada a mistura do material com o agente rejuvenescedor ou estabilizador, podendo ser *in loco* ou em usina; espalhamento e compactação; colocação da camada de revestimento.

Como benefícios do processo de reciclagem a frio, se tem a maior impermeabilização do material reciclado em virtude da adição de agentes estabilizadores e menor sensibilidade à umidade, como também uma melhoria da capacidade estrutural. Como fatores limitantes à utilização dessa técnica, se tem que durante o processo de distribuição do material nas vias, será necessário um tempo maior de cura, o uso de estabilizante químico e os consequentes benefícios em relação ao ganho de resistência estão subordinados às condições de temperatura e umidade, o fato de ser utilizada a emulsão asfáltica para elevação da resistência da base requer avaliações especiais como a realização de diversos ensaios uma vez que suas características de desempenho ainda não são totalmente conhecidas (DNIT, 2006).

3.3.1.2.5 Aplicação dos resíduos reciclados

Os materiais provenientes da reciclagem de entulhos têm muitas aplicações, principalmente para clientes que precisem de grandes volumes de materiais, como obras de saneamento e grandes construtoras (BARROS, 2012).

Segundo Barros (2012) As principais aplicações dos entulhos de construção civil reciclados, são:

- Material para reforço de sub-base, sub-base e tratamento primário de vias;
- Agregados para obras em geral;
- Fabricação de blocos, tijolos e material de argamassa;
- Material para aterro.

Após passarem pelos processos de britagem e peneiramento, são produzidos diversos tipos de agregados, conforme evidencia a Figura 14:

Figura 14 - Agregados reciclados. A. Pilhas de agregados reciclados. B. Agregado reciclado graúdo. C. Agregado reciclado graúdo. D. Agregado reciclado miúdo.



A



B



C



D

Fonte: I&T Gestão de Resíduos (2019).

Segundo a NBR 15115/2004, os agregados reciclados podem ser definidos como: “Material granular, obtido por britagem ou beneficiamento mecânico, de resíduos da construção civil classificados como resíduo de construção classe ‘A’.” (ABNT, 2004d, p. 02).

De acordo com a NBR 15115/2004 (ABNT, 2004d) o agregado reciclado também pode ser aplicado às camadas de reforço do subleito, sub-base e base de um pavimento, sendo a aplicação dos resíduos reciclados para pavimentação demonstrada na Figura 15:

Figura 15 - Aplicação de resíduos de construção civil classe A reciclados em pavimentação. A. Uso de agregado reciclado em pavimentação. B. Via pavimentada com agregado reciclado nas camadas abaixo do revestimento asfáltico.



A



B

Fonte: I&T Gestão de Resíduos (2019).

Pereira (2012) aborda que há uma busca por materiais a serem usados como base e sub-base que se adequem aos padrões das normas rodoviárias do Brasil, que acaba se deparando com problemas de logística em relação ao local da obra ou até mesmo com a escassez desses tipos de materiais. Tal fato acaba acarretando na necessidade de uso de materiais menos nobres, que acabam sendo beneficiados com resíduos ou aglomerantes de forma que haja o melhoramento de suas propriedades.

Para aplicação de materiais reciclados em pavimentação há a possibilidade de existência de materiais não minerais e solo em sua composição, onde os processos de reciclagem para esse tipo de aplicabilidade acabam sendo menos onerosos. Apesar de reciclado, tais agregados funcionam bem na aplicação em pavimentação, muitas vezes se obtendo resultados superiores em relação aos agregados virgens. A aplicação é dada em camadas de reforço de subleito, sub-base e base de pavimentação (RECESA, 2008c).

Para aplicação destes materiais reciclados em camadas de pavimentação, é necessário que os agregados atendam a alguns critérios Quadro 4:

Quadro 4 - Requisitos para aplicação de agregados reciclados em camadas de pavimentação.

Aplicação	Requisitos	NBR
Material para execução de reforço de subleito	CBR \geq 12%, expansão \leq 1,0% (energia de compactação normal).	ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457
Material para execução de sub-base	CBR \geq 20%, expansão \leq 1,0% (energia de compactação intermediária).	ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457
Material para execução de base de pavimento	CBR \geq 60%, expansão \leq 0,5% (energia de compactação intermediária. é permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 10^6$ repetições do eixo-padrão de 80 kN no período de projeto.	ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457

Fonte: Adaptado de ABNT (2004d).

Além dessas recomendações, a NBR 15115/2004 diz que é preciso evitar a entrada de materiais não pertencentes à classe A no processo de reciclagem dos resíduos de construção civil desta classe; atender ao ensaio de curva granulométrica preconizado pela ABNT NBR 7181, cujo coeficiente de uniformidade $C_u \geq 10$ ($C_u = D_{60} / D_{10}$); o percentual que segue pela peneira 0,42 mm (nº 40) deve ficar entre 10% e 40% (ABNT, 2004d).

Em situações em que os agregados reciclados não atendam aos requisitos preconizados pela NBR 15115/2004, os mesmos podem ser estabilizados granulometricamente conforme NBR 11804, ou com o uso de cimento ou cal hidratada. Após realização destes processos, os agregados devem ainda ser submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples quando obtido o período de 7 dias de cura. O resultado do ensaio deve obter valores mínimos de 2,1 Mpa, em corpos de prova moldados na energia de compactação especificada (ABNT, 2004d).

A NBR 15116/2004 traz duas definições em relações aos agregados reciclados, sendo uma relativa aos agregados provenientes de resíduos de concreto e uma para os agregados advindos de resíduo misto. Para os agregados de resíduos de concreto se tem como definição:

É o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A, composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Sua composição deve ser determinada conforme o anexo A e atender aos requisitos das aplicações específicas. (ABNT, 2004e, p. 03).

Para os agregados de resíduos mistos, a definição se dá da seguinte forma:

É o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo de classe A, composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Sua composição deve ser determinada conforme o anexo A e atender aos requisitos das aplicações específicas. (ABNT, 2004e, p. 03).

Em relação aos agregados reciclados provenientes do concreto (Figura 16), os mesmos podem ser aplicados para fabricação de peças não estruturais, conforme define a NBR

15116/2004: “Material destinado a usos como enchimento, contrapiso, calçadas e fabricação de artefatos não estruturais, como blocos de vedação, meio-fio (guias), sarjeta, canaletas e placas de muro.” (ABNT, 2004e, p. 02).

Figura 16 - Agregados reciclados. A. Blocos produzidos com agregados reciclados. B. Blocos produzidos com agregados reciclados. C. Pré-moldados produzidos com agregados reciclados. D. Pré-moldados produzidos com agregados reciclados.



A



B



C



D

Fonte: I&T Gestão de Resíduos (2019).

Segundo a NBR 15116/2004, na fabricação dos produtos de concreto sem função estrutural, é possível inserir os agregados reciclados classe A de forma a substituir totalmente os agregados virgens, ou apenas contribuir com parte desta composição (ABNT, 2004e).

Em relação aos requisitos necessários à aplicação dos agregados reciclados classe A na fabricação de concreto sem função estrutural, é necessário que se obtenha limites mínimos de materiais contaminantes em sua composição: 1% cloretos; 1% de sulfatos; 2% de materiais não enquadrados como resíduos classe A; 2% de torrões de argila e o teor máximo de contaminantes não deve ser maior que 3% da massa total do agregado reciclado (ABNT, 2004e).

Os agregados reciclados devem passar por uma série de ensaios, de forma a atestar o seu devido uso na fabricação de concretos sem função estrutural, avaliando as seguintes características: composição granulométrica; teor de material passante na peneira 75 µm; absorção de água; torrões de argila e materiais friáveis; índice de forma (agregado graúdo); índice de suporte Califórnia e expansibilidade; composição do agregado graúdo; percentual de materiais não minerais no agregado miúdo; teor de cloretos; teor de sulfatos (ABNT, 2004e).

O trabalho realizado por Silva e Maciel (2014) demonstrou que é viável o uso de agregados reciclados em dosagens pré-avaliadas, sem que as características de resistência à compressão e durabilidade sejam afetadas. Apesar de que em algumas situações essas características podem ser até melhoradas com o uso de agregados reciclados, a substituição do mesmo em 100% do agregado virgem não é indicada, uma vez que pode prejudicar a características da resistência aos ataques de agentes agressivos.

Há indícios de economia de custos na fabricação de concretos a partir da utilização de agregados reciclados em substituição aos agregados virgens. Isso pode tornar a utilização dos agregados como viável economicamente (SILVA, MACIEL, 2014).

Os agregados miúdos provenientes dos processos de beneficiamento possuem um alto potencial em serem aplicados na produção de argamassas, substituindo agregados virgens e contribuindo para uso de materiais mais sustentáveis na construção civil (JOCHEM, 2012).

3.3.1 Disposição final de RCD

A disposição final dos resíduos de construção e demolição pode ser dado através dos aterros, apenas quando não restarem, outras alternativas, devidamente comprovadas através de estudos de viabilidades técnicas, econômicas, sociais ou ambientais. Os RCD podem ser direcionados para aterros específicos, não sendo a opção mais viável uma vez que esses sistemas demandam custos inerentes à necessidade de operação e grandes espaços, assim como também acabam gerando um desestímulo à reciclagem, cujo potencial de reciclagem e geração de receita para os RCC são bastante positivos. Também podem ser doados para cooperativas, comercializados para reuso e reciclagem, entre outros, variando com as características locais e viabilidades (RECESA, 2008c).

Segundo a NBR 15113/2014 a definição para os aterros de resíduos de construção civil e resíduos inertes (Figura 17) pode ser dada como:

Área onde são empregadas técnicas de disposição de resíduos da construção civil classe A, conforme classificação da Resolução CONAMA nº 307, e resíduos inertes

no solo, visando a reservação de materiais segregados, de forma a possibilitar o uso futuro dos materiais e/ou futura utilização da área, conforme princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente. (ABNT, 2004f, p. 02).

Todos os aparatos requeridos para as áreas de transbordo e triagem e unidades recicladoras de resíduos de construção classe A devem ser replicadas para os aterros de resíduos de construção civil e inertes. Especificamente para os aterros se faz necessário o monitoramento dos aquíferos da região, sendo dispensados os aterros com área inferior a 10000 m² ou que tenha um volume de disposição inferior a 10000 m³ (ABNT, 2004f).

Deve ser feito um plano de controle, evidenciado os resíduos recebidos, data e horário de recebimento, assim como seus devidos testes de qualidade. Devem ser controlados os sistemas de drenagem do aterro, como também a estabilidade do aterro, emissão de material particulado, segurança operacional. Sabendo que todo aterro tem um tempo de vida útil, é necessário elaborar um plano de encerramento do aterro, dispondo dos possíveis usos da área pós fechamento, a cobertura final do local, previsão para finalização das atividades do aterro, monitoramento das águas superficiais e subterrâneas (ABNT, 2004f).

Figura 17 - Aterro para RCD e resíduos inertes. A. Frente de aterramento de RCD já triado. B. Equipamento manejando resíduo no aterramento. D. Aterramento de RCD já triados.



A



B

Fonte: I&T Gestão de Resíduos (2019).

Como uma alternativa usada por municípios para a disposição final de resíduos de construção civil, se tem os pontos de recepção de pequenos volumes (Figura 18), atendendo à demanda gerada não só pelos grandes, mas também pelos pequenos geradores. Os pequenos geradores podem ser considerados como aqueles que produzem um quantitativo equivalente a 1 m³ ou 2 m³ de resíduos de construção civil por dia (RECESA, 2008c).

Figura 18 - Pontos de recepção de pequenos volumes. A. Pontos de recepção. B. Transferência de resíduos para



A



B



C



D

Fonte: I&T Gestão de Resíduos (2019).

Os pontos devem ser estrategicamente localizados onde há a maior geração de resíduos de construção civil e disposição irregular no município. Sua localização também deve considerar o acesso dos usuários, que deverão trazer seus resíduos em carroças, carros de mão, veículos de pequeno porte e também a pé, evitando assim o acesso por vias de tráfego intenso, ladeiras, ferrovias, parques, etc. Como os materiais a serem destinados nos pontos de recepção de pequenos volumes são destinados à resíduos inertes, os mesmos não deverão exalar odores, podendo ser instalados próximos às residências (RECESA, 2008c).

Segundo a Recesa (2008c), como características básicas se tem que um ponto de recepção de pequenos volumes pode ter uma área com variação de 100 m² 600 m², devendo dispor de cerca, portão, cerca viva, identificação, guarita, rampa e local para estacionamento de caçambas *brooks*, baias para estoque de resíduos, infraestrutura básica (água, esgoto,

energia elétrica, iluminação), cobertura do piso com agregados convencionais ou reciclados.

Como local para disposição legal dos RCC, os bota-foras recebem todo o material proveniente das obras, como solos, entulhos e outros materiais tidos como rejeitos. Consideram-se como materiais que devem ir para os bota-foras, aqueles em que não é mais possível o seu reaproveitamento na obra, como os solos, devendo ser feita a devida segregação desses materiais dos que possuem condições de seguirem para as unidades de reciclagem (BARROS, 2012).

3.3.1 Rotas tecnológicas

De acordo com Jucá et al (2014), o conceito de Rotas tecnológicas pode ser dado na seguinte definição:

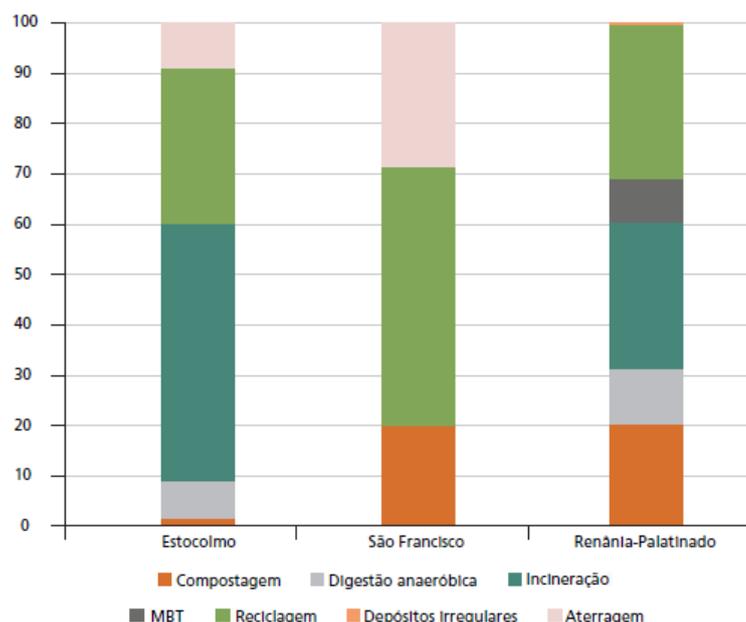
[...] conjunto de processos, tecnologias e fluxos dos resíduos desde a sua geração até a sua disposição final, envolvendo circuitos de coleta de resíduos de forma indiferenciada e diferenciada e contemplando tecnologias de tratamento dos resíduos com ou sem valorização energética. Desse modo, a rota tecnológica tem início, necessariamente, com a geração e encerra com a disposição final em aterro sanitário, podendo haver, entre as etapas, uma ou mais formas ou tecnologias de tratamento. (JUCÁ et al, 2014, p. 150).

A proposição de rotas tecnológicas deve considerar as tecnologias e as diferentes faixas de população contempladas na etapa de avaliação econômica, em acordo com as referências estabelecidas na Política Nacional de Resíduos Sólidos, visando a geração de emprego e renda, assim como na garantia da preservação ambiental. Além disso, a definição de rota tecnológica indica processos que respeite o meio ambiente e seja tecnicamente adequado (JUCA et al, 2014).

Para subsídio à determinação das rotas tecnológicas a serem implantadas, se faz necessário que o gestor avalie detalhadamente todas as tecnologias atualmente utilizadas no país e no mundo, levando em consideração as características limitantes ou aplicáveis àquela localidade ou empreendimento em que se deseja instaurar a rota tecnológica. Essa análise deve levar em conta quatro aspectos fundamentais: técnico, econômico, ambiental e institucional (JUCA et al, 2014; SOUZA, M. et al, 2016).

Segundo Souza, M. et al (2016) em San Francisco nos Estados, Estocolmo na Suécia e Renânia-Palatinado na Alemanha, a reciclagem vem sendo a rota tecnológica prioritária para gestão dos resíduos sólidos urbanos (Figura 19):

Figura 19 - Estocolmo, São Francisco e Renânia-Palatinado: rotas tecnológicas (em %).



Fonte: Souza, M. et al (2016).

Para a evolução dessa rota tecnológica, foi preciso estabelecer parcerias entre os agentes envolvidos e interessados, como municípios, comércio e indústrias de reciclagem. A partir da evolução e trabalho em conjunto, foi possível diminuir o consumo de novos insumos, obtendo benefícios que vão desde os aspectos econômicos até os ambientais (SOUZA, M. et al, 2016).

Segundo Jucá et al (2014) o aspecto técnico deve ser avaliado com base no porte do município ou empreendimento, levando em conta a disponibilidade de recursos e insumos necessário à implantação, assim como uma avaliação sobre os possíveis compradores dos produtos gerados. O aspecto econômico está intrinsecamente ligado à capacidade do município ou empreendimento ter condições financeiras em arcar com todos os custos de projeto, construção e operação dos sistemas necessários para as rotas tecnológicas. Este é um fato decisivo para implantação das rotas tecnológicas.

As tecnologias estudadas e que apresentarem viabilidade para implantação, deverão ser analisadas sob a perspectiva ambiental, sendo necessária a avaliação dos impactos ambientais gerados a partir da implantação desta tecnologia, assim como os custos incorridos em função da necessidade de controles ambientais (JUCÁ et al, 2014).

A avaliação da legislação aplicada às rotas tecnológicas deve seguir os preceitos em todo o arcabouço legal ao qual se respalda a gestão de resíduos sólidos a nível nacional, estadual e municipal (JUCÁ et al, 2014).

A proposição de rotas tecnológicas não deve anular o estudo aprofundado das viabilidades técnica, ambiental, econômica e legal de sua implantação. Contudo, não se pode negar que a definição de rotas tecnológicas contribui para o entendimento do problema e definição de estratégias para os resíduos sólidos, com base na delimitação de ações e objetivos a serem definidos pelo gestor. É possível assim, realizar uma prospecção de ações possíveis para os processos de destinação ou disposição final dos resíduos, baseados nos quatro aspectos fundamentais mencionados anteriormente (JUCÁ et al, 2014).

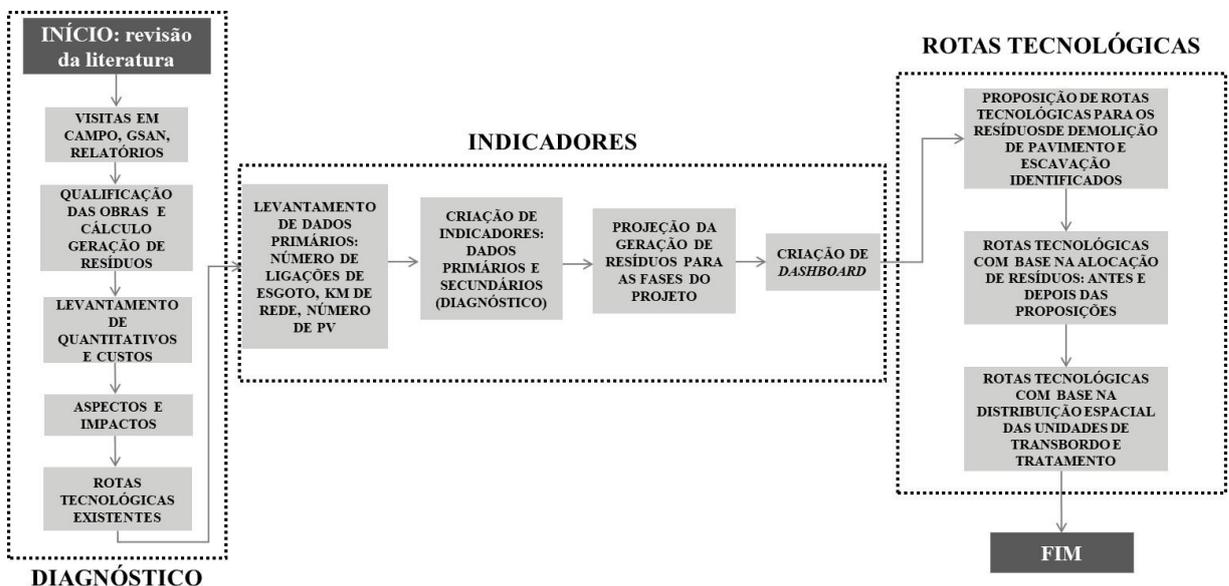
Durante o estudo para o BNDES, Jucá et al (2014) define quais foram os aspectos estudados pela equipe para escolha das tecnologias, rotas tecnológicas e aspectos legais: distribuição da população; custos; oportunidade de emprego e renda para a população; avaliação de aspectos ambientais. Ainda pontua que os desafios encontrados foram: o conhecimento das propriedades dos resíduos; conhecer e divulgar o mercado de recicláveis e energia; a escolha das tecnologias que fossem melhor aplicadas; a definição dos custos necessários para a realização do tratamento dos resíduos; receitas advindas de políticas públicas; definição dos valores de *payback* dos serviços prestados; ampliação das parcerias público privada; transparência na gestão dos serviços de gestão de resíduos sólidos.

4 METODOLOGIA

A metodologia envolveu do início ao fim do trabalho a revisão do referencial teórico acerca do tema da dissertação. Durante a pesquisa, foram realizados o levantamento e a análise de normas técnicas para execução de serviços de implantação e recuperação de redes e ramais coletores de esgoto, assim como consultados livros e artigos pertinentes aos temas discutidos.

A figura 20 pode apresentar de forma sistemática como se deu a construção da metodologia ao longo da pesquisa:

Figura 20 - Fluxograma das etapas metodológicas.



Fonte: Autor (2019).

Como evidencia o fluxograma, a pesquisa teve início com a etapa metodológica de diagnóstico, analisando as obras de redes e ramais coletores de esgoto, seus aspectos quantitativos, qualitativos, custos, aspectos e impactos ambientais, como também as rotas tecnológicas existentes para destinação e disposição final. A partir da coleta de dados primários e geração de dados secundários, foram criados indicadores de geração de resíduos, sendo possível realização uma projeção de geração de resíduos, assim como criar um dashboard, finalizando a etapa metodológica relativa aos indicadores. Por fim, a etapa metodológica de proposição de rotas tecnológicas veio para trazer alternativas para destinação e disposição final dos resíduos.

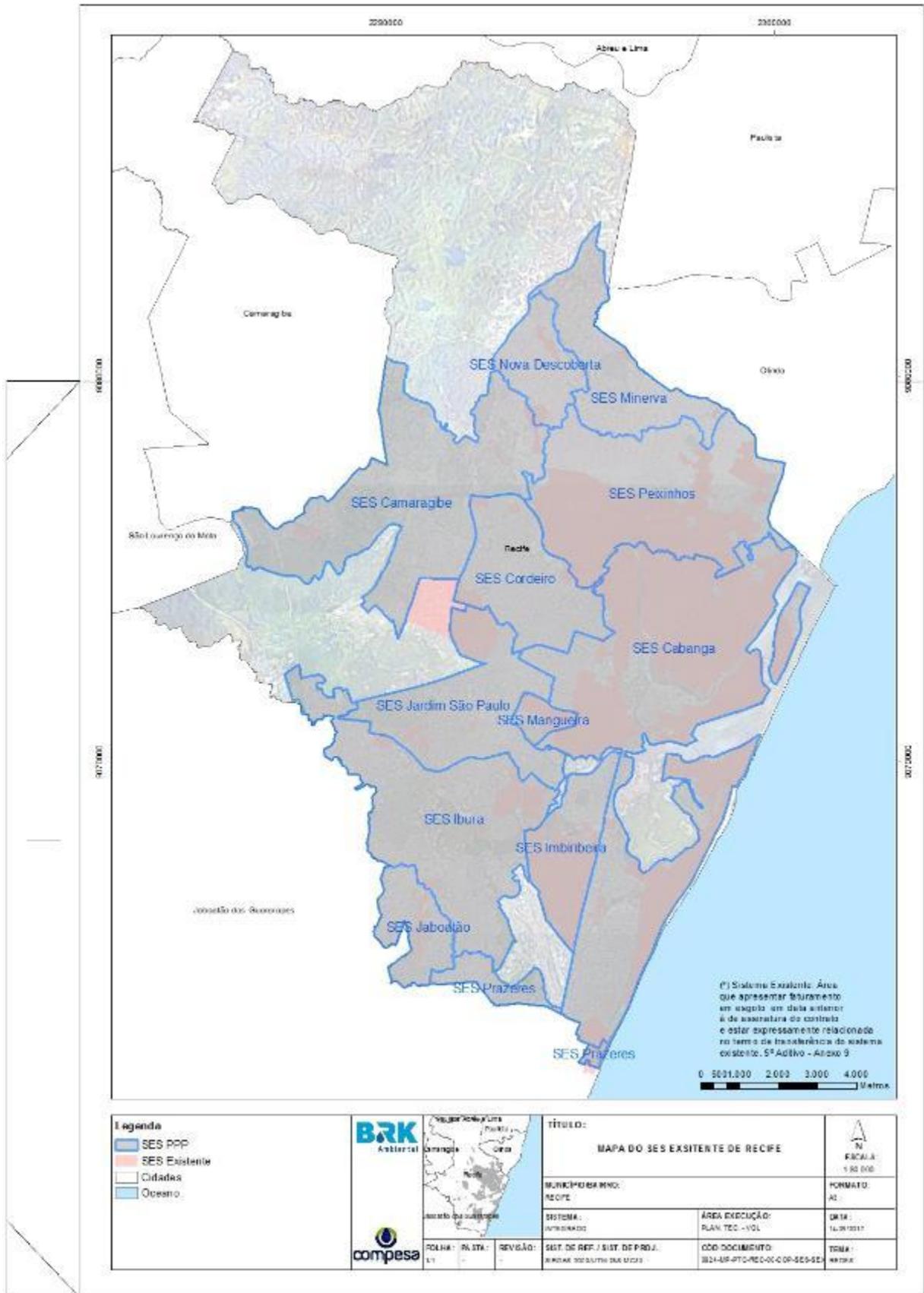
4.1 Área de estudo

A área de estudo foi dividida em duas regiões. A primeira teve foco no município do Recife, que por sua vez serviu de base para replicação dos dados analisados para os demais municípios estudados. A segunda fase contemplou a área referente à Região Metropolitana do Recife (RMR), com 15 municípios, área cujos Sistemas de Esgotamento Sanitário fazem parte da Parceria Público Privada (PPP) de Saneamento de Pernambuco, firmada entre a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), órgão público, e a BRK Ambiental, empresa privada.

O município do Recife, foi escolhido para ser estudado detalhadamente no que diz respeito às obras operacionais por ser responsável pela execução de 49,88% das obras de manutenção das redes e ramais coletores da RMR.

Com aproximadamente 218 km² (Figura 21), Recife tem uma população estimada para o ano de 2018 de 1.637.834 habitantes, densidade populacional de 7.039,64 hab./km² e bioma característico de Mata Atlântica (IBGE, 2010).

Figura 21 - Sistemas de Esgotamento Sanitário do município do Recife.



Fonte: BRK Ambiental (2019).

Em relação ao sistema de saneamento da cidade, existem 11 Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) dentro dos limites da cidade do Recife, sendo eles o SES Cabanga, SES

Camaragibe, SES Cordeiro, SES Ibura, SES Imbiribeira, SES Jaboatão, SES Jardim São Paulo, SES Mangueira, SES Minerva, SES Nova Descoberta e SES Peixinhos. Tais sistemas podem estar dentro dos limites de outras cidades, como por exemplo, o sistema Peixinhos, que também está dentro dos limites da cidade de Olinda (BRK AMBIENTAL, 2019).

Após avaliação do município do Recife, o local de estudo foi expandido para a Região Metropolitana do Recife, contemplando as 03 (três) regionais da PPP (Figura 22):

Figura 22 - Área de atuação da PPP de Saneamento de Pernambuco e divisão por regional.



Fonte: BRK Ambiental (2019).

A PPP tem por objetivo realizar obras de manutenção e ampliação nos Sistemas de

Esgotamento Sanitário dos 15 municípios que compõem a RMR. A regional Norte conta com 08 (oito) municípios, sendo eles: Goiana; Itapissuma; Ilha de Itamaracá; Igarassu; Araçoiaba; Abreu e Lima; Paulista; e Olinda. A regional Centro é composta exclusivamente pelo município do Recife, enquanto que a regional Sul tem em seu escopo 06 (seis) municípios: Camaragibe; São Lourenço da Mata; Moreno; Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca (BRK AMBIENTAL, 2019).

4.2 Etapas metodológicas

As etapas metodológicas seguidas durante o trabalho de pesquisa foram: diagnóstico, indicação de geração de resíduos e proposição de rotas tecnológicas.

4.2.1 Diagnóstico

Os dados coletados na etapa de diagnóstico podem ser classificados como dados primários, sendo extraídos de bancos de dados do Sistema Integrado de Gestão de Serviços de Saneamento, o GSAN, software disponibilizado pela COMPESA, assim como dados disponibilizados pela BRK Ambiental, como relatórios de comprovação de investimentos destinado ao órgão financiador, relatórios diários de obra e dados coletados nas visitas de campo.

Identificação de obras e atividades

Aproximadamente 20 visitas foram realizadas nas obras de recuperação das redes e ramais de esgoto, para visualização prática dos processos construtivos desses tipos de obras, identificação em campo dos resíduos gerados no processo e análise das possibilidades de redução de resíduos e geração de desperdícios. Complementar às visitas, também foi realizada a análise dos registros fotográficos e informações descritivas em formulários e relatórios, como também realizada a consulta de dados no sistema GSAN (Figuras 23 e 24):

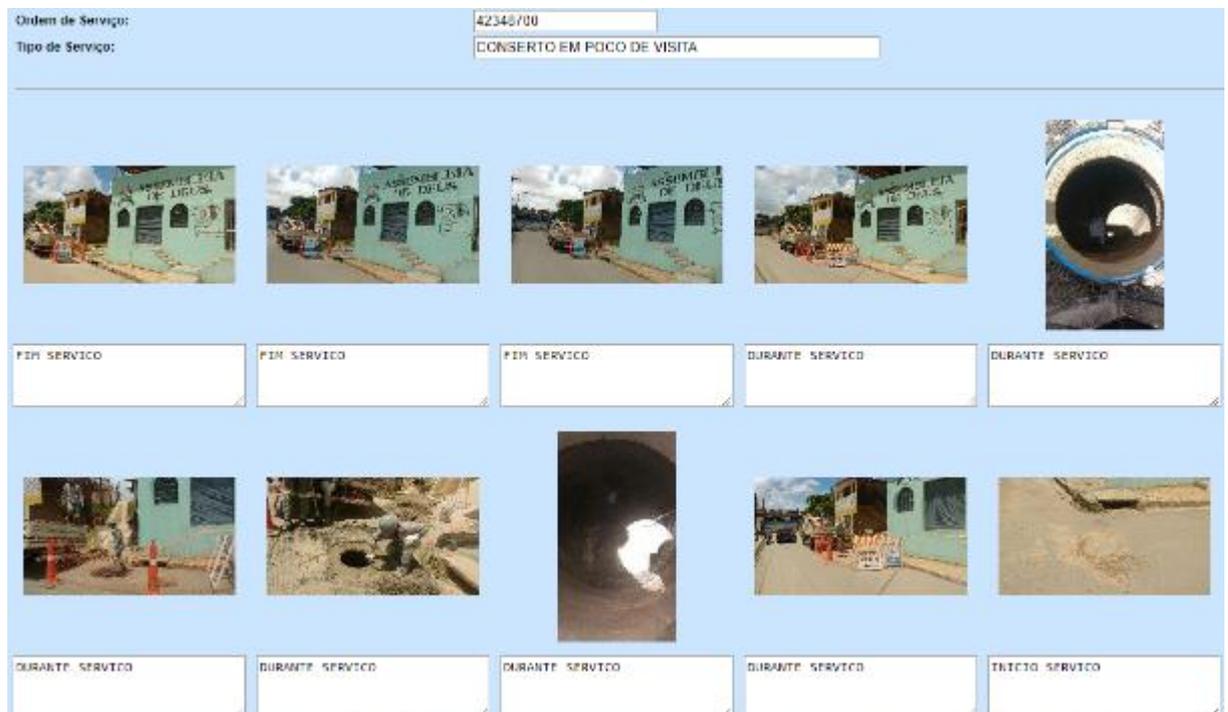
Figura 23 - Consulta de Ordem de Serviço (OS) via sistema GSAN.

Consultar Ordem de Serviço	
Dados Gerais da Ordem de Serviço	
Número da OS:	42348700
Situação da OS:	ENCERRADA
Número da RA:	80329603
Situação da RA:	ENCERRADO
Data da Geração:	12/01/2018
Tipo do Serviço:	724 CONserto em POCO DE VISITA
Observação:	SE FAZ NECESSARIO CONserto em POCO DE VISITA em FRENTE A ASSOCIACAO DE DULS.
Valor do Serviço Original:	0
Valor do Serviço Atual:	0
Prioridade Original:	INICIO ATE 72H
Prioridade Atual:	INICIO ATE 72H
Unidade de Geração da OS:	8668 BRK - SERVICOS ESGOTO - SUL
Usuário de Geração da OS:	100078204IARA ALBUQUERQUE SILVA
Data de Última Execução:	
Dados de Validação da Ordem de Serviço	
Dados do Local da Execução	
Dados do Encerramento da Ordem de Serviço	
Fechar	

Fonte: COMPESA (2019).

Através do número da OS é possível localizar a obra no sistema, obtendo informações a respeito do seu endereço, o registro de atendimento que gerou a solicitação e a opção de consultar os registros fotográficos pertinentes à realização da obra (Figura 23):

Figura 24 - Consulta dos registros fotográficos da Ordem de Serviço (OS) via sistema GSAN.



Fonte: COMPESA (2019).

As fotos de execução da obra contemplam todas etapas para recuperação ou construção dos dispositivos de rede e ramal coletor de esgoto. No sistema as evidências

fotográficas são divididas em: início do serviço, durante o serviço e fim do serviço.

Para um melhor entendimento do cenário das obras, foi necessário dividir os tipos de componentes das redes e ramais coletores de esgoto, passíveis de recuperação civil, assim como classificar os tipos de obras possíveis de serem realizadas em cada um destes. Desta forma, para exemplificar as diferenças de obras entre os componentes, foi criado um quadro com informação do componente da rede ou do ramal e os tipos de obras, assim como houve a identificação através dos registros fotográficos.

A análise das obras possibilitou evidenciar as atividades com potencial de geração de resíduos durante a execução das obras. Usando o mesmo método de exemplificação para a identificação das obras, foi criado um quadro e demonstrado através de registros fotográficos os tipos de atividades realizadas para execução das obras. Os tipos de resíduos gerados foram elencados em quadro e exemplificados em sua totalidade através dos registros fotográficos.

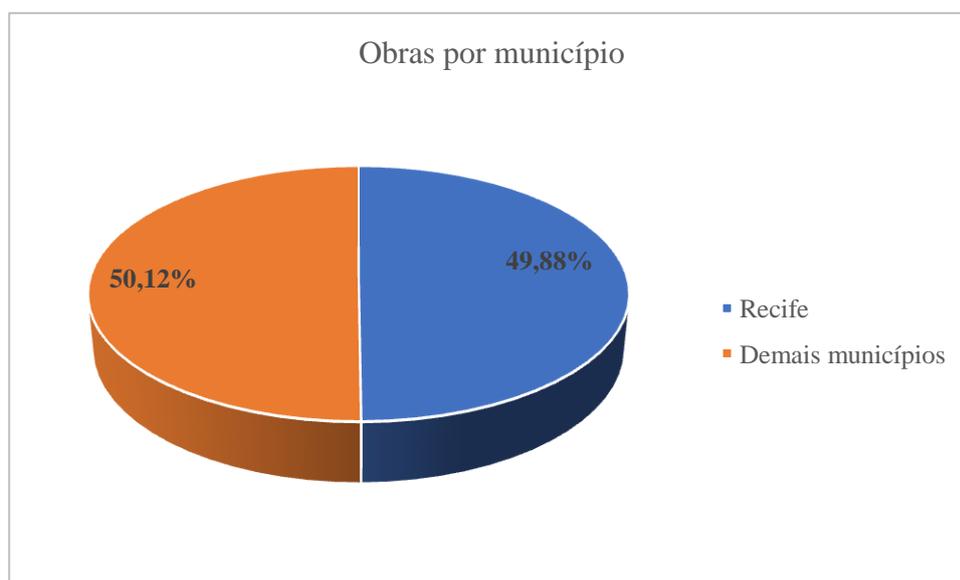
Quantitativos e custos

Toda a etapa de diagnóstico dos quantitativos e custos teve como base o município do Recife e seus 11 Sistemas de Esgotamento Sanitário. Os valores levantados subsidiaram a criação dos indicadores, onde através destes foi construído o *dashboard* para dimensionamento da quantidade de resíduos de demolição e escavação, produto da dissertação, assim como foi possível projetar o cenário de produção de resíduos para os 15 municípios da Região Metropolitana do Recife.

O levantamento dos dados da geração dos resíduos de demolição e escavação dos Sistemas de Esgotamento Sanitário da cidade do Recife ocorreu no período de janeiro de 2018 a agosto de 2018, para obtenção de informações a respeito da quantidade gerada e dos custos relativos à coleta, transporte destinação e/ou tratamento dos mesmos.

O estudo das obras realizadas no município do Recife contou com a análise e cálculo da geração de resíduos de 4797 obras, contemplando todos bairros e SES da cidade, onde a amostra estudada pode ser representada no Gráfico 1:

Gráfico 1 - Representação da amostra estudada.



Fonte: Autor (2019).

O município do Recife detém de 49,88% de um total de 9618 obras realizadas na RMR para o período de estudo, sendo por isso o município escolhido para análise e posterior replicação de seus resultados para os demais municípios.

Foram fornecidos pela equipe de Obras Operacionais da BRK Ambiental uma planilha com as ordens de serviço de obras realizadas, como também os relatórios de comprovação de investimentos. O controle fornecido dispunha apenas de informações quantitativas, endereço, tipo de dispositivo de rede ou ramal e tipo de serviço realizado no respectivo dispositivo.

O relatório de comprovação de investimentos é um relatório descritivo, que elenca as informações relativas à execução das obras, como extensão, largura e profundidade de vala, tipo de recuperação realizada no dispositivo da rede ou ramal, entre outros.

Com base nos arquivos inicialmente fornecidos, foi necessário criar uma planilha de geral de dados no programa *Microsoft Excel*, para que fosse realizada a inclusão das informações qualitativas relatadas nos relatórios descritivos das obras, correlacionando as informações aos dados quantitativos fornecidos. Desta forma, foi realizada a qualificação das obras executadas, sendo analisados todos os relatórios de comprovação de investimento do município do Recife, totalizando 4797 relatórios, de forma a coletar e inserir as informações descritivas na nova planilha de dados.

As informações da planilha podem ser classificadas em informações coletadas (dados primários) e informações calculadas (dados secundários). Abaixo a Tabela 2 apresenta os dados primários coletados:

Tabela 2 - Dados primários inseridos na planilha de geral de dados.

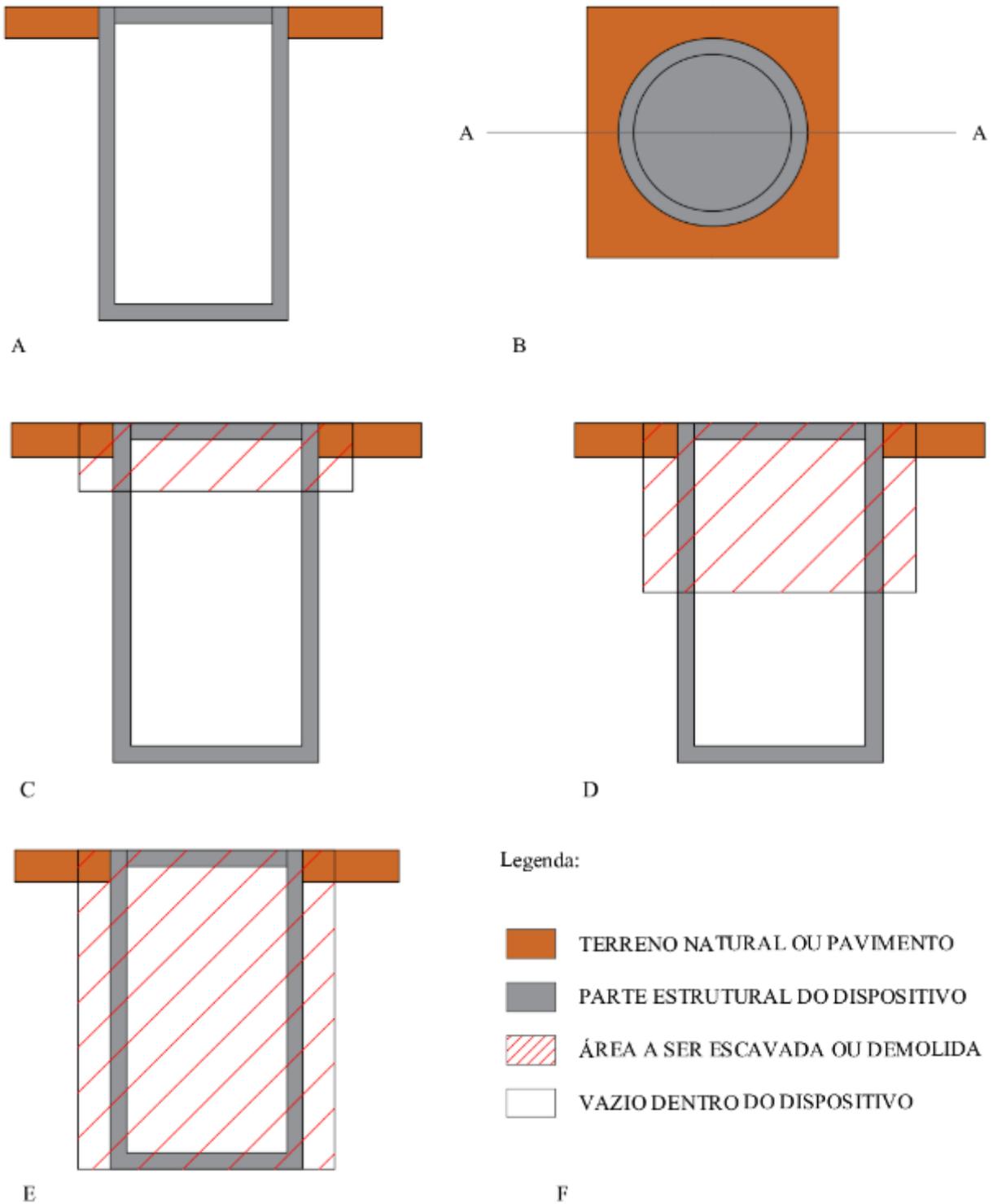
Nº Ordem de Serviço	Tipo de Obra	Grupo	Pavimento	Substituição de tampa existente?	Reaproveitamento de material escavado?	DN (mm)	Ext. (m)	Prof. (m)	Larg. (m)	Qtd. (un)	Un
43468051	Ramal de esgoto DN 100 mm.	Tubulação	Asfalto	Não	Não	100	1,00	0,60	0,40	1,00	M
42269225	Ramal de esgoto DN 100 mm.	Tubulação	Asfalto	Não	Não	100	1,70	0,30	0,60	1,70	M
42350179	Ramal de esgoto DN 100 mm.	Tubulação	Asfalto	Não	Não	100	13,00	0,30	0,80	13,00	M
42363984	Ramal de esgoto DN 100 mm.	Tubulação	Asfalto	Não	Não	100	2,40	2,20	1,00	2,40	M

Fonte: Autor (2019).

Para inserção das informações de especificação de obras, foram criadas nomenclaturas padronizadas para as mesmas. Para as recuperações em tubulações de redes e ramais coletores de esgoto, as nomenclaturas foram baseadas no diâmetro das tubulações, sendo divididas em: Ramal de esgoto DN 100 mm, Ramal de esgoto DN 150 mm, Ramal de esgoto DN 200 mm, Rede de esgoto DN 100 mm, Rede de esgoto DN 150 mm, Rede de esgoto DN 200 mm, Rede de esgoto DN 300 mm, Rede de esgoto DN 350 mm, Rede de esgoto DN 400 mm, Rede de esgoto DN 450 mm e Rede de esgoto DN 600 mm.

Para as obras realizadas em poços de visita, caixas de inspeção e Terminais de Inspeção e Limpeza (TIL), a nomenclatura se deu em função das profundidades de recuperação dos dispositivos, como também na diferenciação entre os processos de construção e recuperação. A Figura 24 representa como graficamente as obras foram diferenciadas em função dos aspectos mencionados anteriormente, através do programa *AutoCAD*:

Figura 25 - Recuperações em PVs, CIs e TILs. A. Corte AA do dispositivo de inspeção. B. Vista de cima do dispositivo. C. Recuperação em 20% de sua estrutura. D. Recuperação em 50% de sua estrutura. E. Recuperação em 100% de sua estrutura. F. Legenda.



Fonte: Autor (2019).

Sendo assim, para os dispositivos do tipo TIL, CI e PV, as nomenclaturas foram

definidas como: Recuperação de caixa de inspeção em 50% de sua estrutura, Recuperação de caixa de inspeção em 20% de sua estrutura, Construção de caixa de inspeção em 100% de sua estrutura, Recuperação de caixa de inspeção em 100% de sua estrutura, Recuperação de poço de visita em 20% de sua estrutura, Recuperação de poço de visita em 50% de sua estrutura, Recuperação de poço de visita em 100% de sua estrutura, Construção de poço de visita em 100% de sua estrutura, Recuperação de TIL em 20% de sua estrutura e Recuperação de TIL em 100% de sua estrutura.

Através das informações contidas nos relatórios, sejam descritivas ou de registros fotográficos, foi possível avaliar o tipo de pavimento no qual a obra foi realizada. Para as caixas de inspeção e poços de visita, foi avaliado se houve ou não a substituição da tampa, informação necessária aos posteriores cálculos de geração de resíduos.

Em todas as obras foi analisado se após os processos de escavação houve ou não o reaproveitamento dos solos escavados, através das descrições em relatório, ou análise visual do material usado para reaterro. A avaliação desse aspecto se faz de extrema importância para a realização dos cálculos estimativos de geração de resíduos nas fases seguintes.

Informações quantitativas também foram coletadas, tais como: diâmetro nominal do tubo (DN); extensão, largura e profundidade da vala ou cava; quantidade de obras em termos unitário e unidade de medida.

Após levantamento dos dados primários, foi possível realizar os cálculos relativos à geração de resíduos, obtendo assim os dados secundários. A Tabela 3 apresenta os dados secundários calculados na planilha geral de dados:

Tabela 3 - Dados secundários calculados na planilha geral de dados.

Nº Ordem de serviço	Material escavado total (m³)	Material reaproveitado (m³)	Material de escavação para bota-fora (m³)	Volum e do tubo (m³)	Volum e da tampa (m³)	Volume escavação CI e PV implantado (m³)	Volume CI e PV recuperado (m³)	Volume demolição de pavimento (m³)	Volum e de bota-fora (m³)
4346805 1	0,24	0,00	0,19	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,24
4226922 5	0,31	0,00	0,19	0,01	0,00	0,00	0,00	0,10	0,31
4235017 9	3,12	0,00	1,98	0,10	0,00	0,00	0,00	1,04	3,12
4236398 4	5,28	0,00	5,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,24	5,28

Fonte: Autor (2019).

Com base nos dados primários, foi possível realizar uma série de cálculos estimativos com foco na geração de resíduos das obras em redes e ramais coletores de esgoto. As fórmulas

apresentadas a seguir foram aplicadas às obras realizadas nas tubulações de rede e ramal de esgoto:

$$\text{Volume material escavado e demolido (m}^3\text{)} = \text{comprimento (m)} \times \text{largura (m)} \times \text{profundidade (m)} \quad (1)$$

$$\text{Volume material reaproveitado} = \text{Volume escavado e demolido (m}^3\text{)} - \text{Volume material para bota-fora (m}^3\text{)} \quad (2)$$

$$\text{Volume material para bota-fora (m}^3\text{)} = \text{Volume do tubo (m}^3\text{)} + \text{Volume do pavimento demolido (m}^3\text{)} + \text{Volume material de escavação não reaproveitado (m}^3\text{)} \quad (3)$$

$$\text{Volume do tubo (m}^3\text{)} = \pi \times r^2 \times \text{comprimento (m)} \quad (4)$$

$$r \text{ (m)} = \text{DN do tubo (mm)} \div 1000 \div 2 \quad (5)$$

$$\text{Volume do pavimento demolido (m}^3\text{)} = \text{comprimento (m)} \times \text{largura (m)} \times \text{espessura (m)} \quad (6)$$

Ainda que os Terminais de Inspeção e Limpeza (TIL) sejam dispositivos constituídos de tubulações, uma de suas fórmulas usadas para cálculo de quantitativos de resíduos é diferente da usada nas tubulações de redes e ramais. A fórmula em que se faz necessário um cálculo diferenciado é a que diz respeito ao cálculo de volume do tubo, conforme representação a seguir:

$$\text{Volume do tubo (m}^3\text{)} = \pi \times r^2 \times \text{profundidade (m)} \quad (1)$$

Para esta fórmula é considerada a profundidade da cava, uma vez que os TIL são instalados de forma vertical, onde o volume do tubo deve ser calculado em função de sua profundidade. As demais fórmulas usadas para cálculo das obras de rede e ramal podem ser aplicadas aos cálculos dos quantitativos dos Terminais de Inspeção e Limpeza.

Os poços de visita e caixas de inspeção possuem características e funcionalidades

similares, sendo diferenciados em função de suas dimensões e localização de instalação. Desta forma, suas fórmulas são calculadas baseadas nas mesmas premissas. Abaixo estão descritas as fórmulas para as obras do tipo recuperação:

$$\text{Volume material escavado e demolido (m}^3\text{)} = \text{comprimento (m)} \times \text{largura (m)} \times \text{profundidade (m)} - \text{Volume de vazios dos dispositivos (m}^3\text{)} \quad (1)$$

$$\text{Volume material reaproveitado} = \text{Volume escavado e demolido (m}^3\text{)} - \text{Volume material para bota-fora (m}^3\text{)} \quad (2)$$

$$\text{Volume material para bota-fora (m}^3\text{)} = \text{Volume do pavimento demolido (m}^3\text{)} + \text{Volume material de escavação não reaproveitado (m}^3\text{)} + \text{Volume da tampa (m}^3\text{)} + \text{Volume estrutura de PV e CI substituídas (m}^3\text{)} \quad (3)$$

$$\text{Volume do pavimento demolido (m}^3\text{)} = \text{comprimento (m)} \times \text{largura (m)} \times \text{espessura (m)} \quad (4)$$

Assim como para as obras de recuperação, os serviços de construção de poços de visita e caixas de inspeção têm suas fórmulas fundamentadas nos mesmos princípios, conforme apresentação das fórmulas abaixo:

$$\text{Volume material escavado e demolido (m}^3\text{)} = \text{comprimento (m)} \times \text{largura (m)} \times \text{profundidade (m)} \quad (1)$$

$$\text{Volume material reaproveitado} = \text{Volume escavado e demolido (m}^3\text{)} - \text{Volume material para bota-fora (m}^3\text{)} \quad (2)$$

$$\text{Volume material para bota-fora (m}^3\text{)} = \text{Volume do pavimento demolido (m}^3\text{)} + \text{Volume material de escavação não reaproveitado (m}^3\text{)} \quad (3)$$

$$\text{Volume do pavimento demolido (m}^3\text{)} = \text{comprimento (m)} \times \text{largura (m)} \times \text{espessura (m)} \quad (4)$$

Após cálculos dos quantitativos em m³, foi necessário transformar tais valores para toneladas, sendo preciso buscar os valores da densidade de cada material, conforme Tabela 4 abaixo:

Tabela 4 - Valores de densidade de materiais usados para cálculo dos quantitativos de resíduos em toneladas.

Tipo	Peso específico	Unidade
Asfalto	2,30	t/m ³
Cimentado	2,40	t/m ³
Lajota	2,00	t/m ³
Cerâmica	1,80	t/m ³
Placas de concreto	2,50	t/m ³
Material de escavação	1,80	t/m ³
Componentes estruturais de PV e CI	2,50	t/m ³
Tampas de PV e CI	2,50	t/m ³
Tubulação DN 100 mm	1,35	kg/m
Tubulação DN 150 mm	2,77	kg/m
Tubulação DN 200 mm	4,27	kg/m
Tubulação DN 250 mm	7,25	kg/m
Tubulação DN 300 mm	11,67	kg/m

Fonte: PRODETEC (2019); ABNT (1999).

Sendo assim, após as devidas transformações de unidades de medida, foi possível converter todos os valores calculados em metros cúbicos para toneladas.

Posteriormente à etapa de cálculo de quantitativos, foram levantadas as informações pertinentes aos custos inerentes ao gerenciamento dos resíduos gerados, como também dos custos para aquisição de novos materiais em substituição aos classificados como rejeitos. Os custos com destinação de resíduos, assim como os pertinentes ao seu transporte até o local de destinação, foram calculados a partir de análise dos contratos vigentes das empresas executantes destes serviços, fornecidos pela área de Contratos da BRK Ambiental. Foi realizada uma média de custos unitários dos itens a serem destinados (Tabela 5):

Tabela 5 - Custos unitários com destinação de resíduos de obras de redes e ramais coletores de esgoto.

Item	Classe	Unidade	Custo unit. Médio (R\$)
Entulho	IIB	t	54,50
Material proveniente de escavação	IIB	t	53,00

Fonte: BRK AMBIENTAL (2019).

Os custos com destinação de entulho englobam os seguintes tipos de resíduos: pavimentos, tampas de caixa de poços de visita, como também partes constituintes destes dispositivos. Os custos com destinação de material de escavação dizem respeito ao material escavado contaminado e não contaminado com esgoto.

O custo médio com transporte de resíduos pode ser apresentado na Tabela 6:

Tabela 6 - Custos unitários com transporte de resíduos de obras de redes e ramais coletores de esgoto.

Item	Unidade	Valor (R\$)
Prestação de serviços - coleta, transporte e destinação final de resíduos acondicionado em caçamba basculante, capacidade de 12m ³	un	326,68

Fonte: BRK AMBIENTAL (2019).

Na realização do transporte não há diferenciação de preço em relação aos resíduos, sendo todos transportados em um caminhão caçamba basculante com capacidade de transporte de 12 m³ de resíduos.

Os custos com aquisição de novos materiais foram identificados a partir do fornecimento de planilha por parte da área de Suprimentos da BRK Ambiental, extraída do *software* de controle de entrada e saída de materiais, o *My Web Day*, como evidenciado na Tabela 7:

Tabela 7 - Custos com aquisição de novos materiais para as obras de redes e ramais coletores de esgoto.

Descrição	un	Mês	Nome UA	Qtde	Valor	Especificação
BGS = brita graduada simples	t	Janeiro	REDE-PONTUAL/EMERG-RECIFE-CABANGA	102,11	8292,109	Material de pavimentação e calçamento
BGS = brita graduada simples	t	Janeiro	REDE-PONTUAL/EMERG-RECIFE-CABANGA	97,66	7931,1798	Material de pavimentação e calçamento
BGS = brita graduada simples	t	Janeiro	BACIA 4 - REDES-IMPLANT-SLM-SLM	51,29	4154,4	Material de pavimentação e calçamento

Fonte: BRK AMBIENTAL (2019).

A planilha de custos de materiais adquiridos para realização de obras em redes e ramais de esgoto evidencia o tipo de material utilizado, o mês em que foi adquirido, em que Sistema de Esgotamento Sanitário houve o emprego do material e quanto foi utilizado, em termos quantitativos e de custos em reais.

Levantamento de aspectos e impactos ambientais

O levantamento de aspectos e impactos ambientais referente às obras em redes e ramais coletores de esgoto foi realizado durante o processo de implantação da ISO 14001 na empresa, no qual o autor deste trabalho teve participação no processo.

A metodologia deste levantamento seguiu algumas etapas, conforme Figura 26:

Figura 26 - Etapas do processo de levantamento de aspectos e impactos ambientais.



Fonte: Autor (2019).

Sendo assim, com a realização de *brainstorms* com as equipes de Obras Operacionais durante o processo de implantação da ISO 14001 e complementação com referencial teórico, foi possível realizar o levantamento dos aspectos e impactos, sendo elaborados quadros com os processos, atividades, aspectos e impactos ambientais.

Diagnóstico das rotas tecnológicas existentes

Para entendimento das atuais rotas tecnológicas existentes para a destinação dos resíduos de pavimentação e escavação, foi preciso entender como se dava a dinâmica de execução das obras, sendo elaborado um fluxograma. Na identificação das rotas tecnológicas existentes para destinação dos resíduos das obras em redes e ramais coletores de esgoto, foi necessário primeiramente a realização de entrevistas com Coordenadores, Supervisores e Encarregados das áreas de Obras Operacionais da BRK Ambiental.

Com a definição das rotas tecnológicas a partir de informações dos responsáveis pelas obras operacionais, foram realizadas visitas em campo, de forma a visualizar na prática como se davam os processos relativos à coleta, transporte, transbordo e destinação dos resíduos.

4.2.2 Indicadores de geração de resíduos

Juntamente com o levantamento de dados primários na etapa de diagnóstico, dados primários também foram coletados na fase de elaboração de indicadores.

Quantitativos de ligações de esgoto por Sistema de Esgotamento Sanitário e situação

de ligação de esgoto foram coletados no sistema *ArcGIS* e fornecidos através de planilha do programa *Microsoft Excel* pela equipe Comercial da BRK Ambiental. Em relação à situação de ligação de esgoto, foram consideradas para fins de elaboração de indicador apenas as matrículas com situação de: factível faturável; ligado fora de uso; ligado; e tamponado. Situações cujo *status* de ligação de esgoto era de potencial ou factível não foram considerados nos indicadores.

Através de extração no sistema *ArcGIS* e disponibilização de dados via planilha no programa *Microsoft Excel* pela equipe de Cartografia e Cadastro da BRK Ambiental, foi possível obter informações a respeito da quantidade de rede e poços de visita de esgoto operados, por Sistema de Esgotamento Sanitário e mês de atualização cadastral. Para fins de elaboração dos indicadores de geração de resíduos foram considerados os poços de visita e redes coletoras de esgoto operados, sendo desconsiderados os dispositivos cadastrados localizados em áreas não operadas ou não recebidas.

Com base em dados primários e secundários levantados ao longo das pesquisas, foi possível elaborar diversos indicadores, que se dividiram em indicadores gerais e indicadores de geração de resíduos.

Os indicadores gerais possuem a função de estimar a quantidade de obras em redes e ramais de esgoto em função de parâmetros de um Sistema de Esgotamento Sanitário já conhecidos, como número de ligações de esgoto, metragem de rede e quantidade de poços de visita cadastrados. As fórmulas de cálculo para os indicadores gerais podem ser descritas abaixo:

$$\begin{array}{l} \text{Obras por} \\ \text{quilômetro de rede} \\ \text{operada (un/Km)} \end{array} = \frac{\text{Quantidade de obras por SES (un)}}{\text{Km de rede operada por SES (Km)}} \quad (1)$$

$$\begin{array}{l} \text{Obras por poço de} \\ \text{visita operado} \\ \text{(un/un)} \end{array} = \frac{\text{Quantidade de obras por SES (un)}}{\text{Quantidade de poço de visita operado por SES (un)}} \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} \text{Obras por ligação} \\ \text{de esgoto (un/un)} \end{array} = \frac{\text{Quantidade de obras por SES (un)}}{\text{Quantidade de ligação de esgoto (un)}} \quad (3)$$

Os indicadores de geração de resíduos visam estimar a quantidade de resíduos

gerados. Os quantitativos de geração de resíduos puderam ter indicadores em função da quantidade de obras em redes e ramais de esgoto, rede de esgoto e poço de visita operados, per capita e por unidade de obra, como evidenciam as fórmulas abaixo:

$$\begin{array}{l} \text{Geração de} \\ \text{resíduos por Km de} \\ \text{rede operada} \\ \text{(t/Km)} \end{array} = \frac{\text{Resíduos de Construção e Demolição} \\ \text{gerados (t)}}{\text{Rede coletora de esgoto operada (Km)}} \quad (1)$$

$$\begin{array}{l} \text{Geração de} \\ \text{resíduos por poço} \\ \text{de visita operado} \\ \text{(t/un)} \end{array} = \frac{\text{Resíduos de Construção e Demolição} \\ \text{gerados (t)}}{\text{Poço de visita operado (un)}} \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} \text{Geração de} \\ \text{resíduos por} \\ \text{quantidade de} \\ \text{ligações de esgoto} \\ \text{(t/un)} \end{array} = \frac{\text{Resíduos de Construção e Demolição} \\ \text{gerados (t)}}{\text{Quantidade de ligações de esgoto (un)}} \quad (3)$$

$$\begin{array}{l} \text{Geração de} \\ \text{resíduos per capita} \\ \text{(Kg/hab./dia)} \end{array} = \frac{\text{Resíduos de Construção e Demolição} \\ \text{gerados (kg)}}{\frac{\text{Habitante (hab.)}}{\text{Dia (dia)}}} \quad (4)$$

$$\begin{array}{l} \text{Geração de} \\ \text{resíduos por} \\ \text{quantidade total de} \\ \text{obras (t/un)} \end{array} = \frac{\text{Resíduos de Construção e Demolição} \\ \text{gerados (t)}}{\text{Quantidade de obras (un)}} \quad (5)$$

Foram elaborados indicadores para estimativa de custos com o gerenciamento dos resíduos, incluindo transporte e destinação, correlacionando com os parâmetros de poços de visita e rede operados, quantidade de ligações de esgoto, habitante e quantidade de obra. As fórmulas dos indicadores de custos são elencadas a seguir:

$$\begin{array}{l} \text{Custo com} \\ \text{gerenciamento de} \\ \text{resíduos por Km de} \\ \text{rede de esgoto} \\ \text{operada (R\$/Km)} \end{array} = \frac{\text{Custo com transporte e destinação (R\$)}}{\text{Rede coletora de esgoto operada (Km)}} \quad (1)$$

$$\begin{array}{l} \text{Custo com} \\ \text{gerenciamento de} \\ \text{resíduos por poço} \\ \text{de visita operado} \\ \text{(R\$/un)} \end{array} = \frac{\text{Custo com transporte e destinação (R\$)}}{\text{Poço de visita operado (un)}} \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} \text{Custo com} \\ \text{gerenciamento de} \\ \text{resíduos por} \\ \text{quantidade de} \\ \text{ligações de esgoto} \\ \text{(R\$/un)} \end{array} = \frac{\text{Custo com transporte e destinação (R\$)}}{\text{Quantidade de ligações de esgoto (un)}} \quad (3)$$

$$\begin{array}{l} \text{Custo com} \\ \text{gerenciamento de} \\ \text{resíduos por} \\ \text{Habitante (hab.)} \end{array} = \frac{\text{Custo com transporte e destinação (R\$)}}{\text{Habitante (hab.)}} \quad (4)$$

$$\begin{array}{l} \text{Custo com} \\ \text{gerenciamento de} \\ \text{resíduos por} \\ \text{quantidade total de} \\ \text{obras (R\$/un)} \end{array} = \frac{\text{Custo com transporte e destinação (R\$)}}{\text{Quantidade de obras (un)}} \quad (5)$$

Os custos com a aquisição de novos insumos para as obras de rede e ramal de esgoto também foram usados para elaboração de indicadores, correlacionando-os com diversos parâmetros, assim como evidenciam as fórmulas dos indicadores criados:

$$\begin{array}{l} \text{Custo com aquisição de} \\ \text{novos insumos por Km de} \\ \text{rede de esgoto operada} \\ \text{(R\$/Km)} \end{array} = \frac{\text{Custo com aquisição de novos insumos para reaterro e} \\ \text{base de pavimentação (R\$)}}{\text{Rede coletora de esgoto operada (Km)}} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Custo com} \\ \text{aquisição de novos} \\ \text{insumos por poço} \\ \text{de visita operado} \\ \text{(R\$/un)} \end{aligned} = \frac{\begin{aligned} \text{Custo com aquisição de novos insumos para reaterro e} \\ \text{base de pavimentação (R\$)} \end{aligned}}{\text{Poço de visita operado (un)}} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Custo com} \\ \text{aquisição de novos} \\ \text{insumos por} \\ \text{quantidade de} \\ \text{ligações de esgoto} \\ \text{(R\$/un)} \end{aligned} = \frac{\begin{aligned} \text{Custo com aquisição de novos insumos para reaterro e} \\ \text{base de pavimentação (R\$)} \end{aligned}}{\text{Quantidade de ligações de esgoto (un)}} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Custo com} \\ \text{aquisição de novos} \\ \text{insumos por} \\ \text{quantidade de} \\ \text{habitante (R\$/hab.)} \end{aligned} = \frac{\begin{aligned} \text{Custo com aquisição de novos insumos para reaterro e} \\ \text{base de pavimentação (R\$)} \end{aligned}}{\text{Habitante (hab.)}} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Custo com} \\ \text{aquisição de novos} \\ \text{insumos por} \\ \text{quantidade total de} \\ \text{obras (R\$/un)} \end{aligned} = \frac{\begin{aligned} \text{Custo com aquisição de novos insumos para reaterro e} \\ \text{base de pavimentação (R\$)} \end{aligned}}{\text{Quantidade de obras (un)}} \quad (5)$$

De forma a entender como cada tipo de obra se comporta em relação à geração de resíduos, foram criados indicadores para avaliação desses aspectos. Foi realizada a divisão das obras por grupo, sendo eles: tubulações, poços de visita e caixas de inspeção. A partir dessa divisão, foi realizada a média aritmética dos valores quantitativos de resíduos gerados por tipo de obra, pelo número total de obras daquele tipo específico (PV e CI), ou pela metragem de tubulação, conforme fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Média geração de resíduos por} \\ \text{tipo de obra (m}^3\text{)} \end{aligned} = \frac{\sum \text{quantidade de resíduos gerados por tipo de obra (m}^3\text{)}}{\text{Número total do tipo de obra (un ou m)}}$$

Foi considerado que o valor de 1 Real brasileiro é igual a 0,24 Dólar americano, conforme valor apresentado no dia 3 de setembro, de 19:32 UTC. Após a elaboração dos indicadores, foi possível projetar a geração de resíduos para todas as fases do projeto, assim

como estimar os custos inerentes ao gerenciamento dos resíduos nesses períodos. Sendo assim, também foi obtido o quanto se gastará com gerenciamento de resíduos e aquisição de novos materiais até o final do projeto.

Para que isso acontecesse, foi realizada uma estimativa simples, especificamente uma regra de três, usando como premissa a quilometragem de rede de esgoto atual, o atual percentual de coleta de esgoto e o percentual de coleta de esgoto quando os serviços de esgotamento sanitário forem universalizados. Desta forma, sabendo que para um percentual de 37% de coleta de esgoto se tem 1.350.000,00 m de redes, para um percentual de coleta de 90% haverá um quantitativo de 3.283.783,78 m de rede operada.

O valor da rede coletora de esgoto a ser implantada foi dividido pelos anos restantes do projeto até o ano de universalização, no caso o ano de 2037. A partir da metragem de rede coletora de esgoto estimada, foram obtidas as informações necessárias para as projeções do projeto, aplicando a metragem calculada aos indicadores gerais e posteriormente aos indicadores de geração de resíduos.

O *dashboard* foi criado no programa *Microsoft Excel*, usando como base de dados todos os dados encontrados na etapa de criação dos indicadores, assim como na etapa de diagnóstico. Fundamentado nos resultados encontrados durante a pesquisa, o *dashboard* pôde ser criado de forma a servir como uma ferramenta para dimensionamento de quantidade de obras, quantidade de resíduos gerados, custos com gerenciamento e aquisição de novos materiais.

4.2.3 Proposição de rotas tecnológicas

A metodologia usada para proposição das rotas tecnológicas para tratamento e destinação final dos resíduos teve fundamentação no trabalho realizado por Jucá et al. (2014), cujo título é “Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão”. O trabalho contou com a análise de tecnologias usadas em vários países, de modo a estudar a possibilidade de replicá-las às regiões do Brasil, estabelecendo rotas tecnológicas de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos.

Desta forma, dentro das possibilidades de estudo da pesquisa, os conceitos do trabalho acima mencionados foram replicados aos resíduos de escavação e demolição de pavimentação das obras de redes e ramais coletores de esgoto. As rotas tecnológicas propostas foram representadas através de fluxogramas, contendo os resíduos a serem destinados ou tratados e

quais seriam as etapas necessárias para reaproveitamento ou destinação final dos mesmos. As proposições foram subsidiadas pelo referencial teórico, assim como pelas características locais do projeto onde são realizadas as obras.

Para elaboração das rotas tecnológicas com base na alocação dos resíduos antes e após proposição de rotas tecnológicas, foram correlacionados os dados de projeção de geração de resíduos ao fim do projeto, com as rotas analisadas nas fases de diagnóstico e proposições.

A distribuição espacial das unidades de transbordo, reciclagem e disposição final foi feita com base em entrevistas com os gestores das áreas, visitas em campo e análise do espaço das unidades. A definição da localização das unidades de transbordo, local onde serão realizados os processos de reciclagem e em caso da não possibilidade de reciclagem, em que local será feita a destinação final dos resíduos, foi fator importante para concretização do projeto.

A Concessão estudada é dividida em três regionais, sendo elas as regionais Norte, Centro e Sul, onde as unidades de transbordo e tratamento a serem previstas precisam atender logisticamente as regionais, assim como serem avaliadas no que diz respeito ao espaço necessário para acondicionamento e reciclagem dos resíduos. A avaliação das unidades contemplou Estações Elevatórias de Esgoto e Estações de Tratamento de Esgoto da Concessão em estudo, aproveitando a logística já usada para acondicionamento dos resíduos sugerindo algumas melhorias e propondo um local para instalação dos processos de reciclagem.

Foram realizadas visitas em campo, nas EEE e ETE onde foram propostas as unidades de transbordo e de tratamento do projeto, de modo a avaliar o espaço dos locais. Em relação às empresas Ciclo Ambiental e CTR-PE, foram pesquisados nos seus respectivos *sites* institucionais informações e registros fotográficos a respeito dos locais e atividades realizadas.

No programa *ArcGIS* foram extraídas as imagens das unidades de transbordo, tratamento e destinação final vistas de cima, com as devidas proposições das áreas de processos através da apresentação de *layouts*.

Ainda fundamentado pelo trabalho realizado por Jucá et al. (2014), ao final do trabalho foi demonstrado como as rotas tecnológicas propostas ficariam distribuídas geograficamente, a partir de representação em imagem da área de atuação de projeto e localização geográfica das unidades de transbordo, tratamento e disposição final.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos resultados, foi possível discutir sobre o diagnóstico realizado nas redes e ramais coletores de esgoto, a criação de indicadores e propor rotas tecnológicas para destinação e disposição final dos resíduos estudados.

5.1 Diagnóstico

Como resultados, o diagnóstico evidencia os tipos de obras, os processos e atividades para realização das mesmas, os custos inerentes à aquisição de novos materiais e geração de resíduos, assim como os aspectos e impactos ambientais, tudo com foco nos resíduos de escavação e demolição de pavimentos, para que se tenha um parecer geral em relação aos resíduos a serem estudados.

Segundo o que preconiza Barros (2012) “Ao se planejar as atividades de gestão destes materiais, é necessário conhecer as quantidades (volume e massa) de resíduos gerados, os fluxos de geração, os custos e os agentes envolvidos.” (BARROS, 2012, p. 322).

Ainda seguindo o que preconiza Carneiro (2000) e Pinto et al (2005) a necessidade do conhecimento das características do entulho produzido nas obras, é essencial para que sejam estudadas as tecnologias ou processos para a sua redução, reutilização e reciclagem desses volumes.

5.1.1 Identificação das obras, atividades e tipos de resíduos gerados

O diagnóstico dos tipos de obras realizadas nas redes e ramais coletores de esgoto, assim como obras relativas a seus dispositivos, obteve os seguintes resultados (Quadro 5):

Quadro 5 - Tipos de obras realizadas nas redes e ramais coletores de esgoto.

Componente da rede/ramal	Tipo de obra
Tubulação da rede coletora de esgoto	Conserto na rede
	Substituição de trecho de rede
	Implantação de rede
Tubulação do ramal coletor de esgoto	Conserto no ramal
	Substituição de trecho de ramal
	Implantação de ramal coletor
	Nova ligação de esgoto
Poço de visita	Recuperação poço de visita
	Substituição de poço de visita
	Construção de poço de visita
	Substituição de tampa
	Elevação de poço de visita
	Rebaixamento de poço de visita
Caixa de inspeção	Recuperação de caixa de inspeção
	Substituição de caixa de inspeção
	Construção de caixa de inspeção
	Substituição de tampa
	Elevação de caixa de inspeção
	Rebaixamento de caixa de inspeção

Fonte: Autor (2019).

As obras geradas a partir da necessidade de um conserto ou implantação nas redes e ramais coletores de esgoto podem ter diversos motivos. Alguns exemplos de obras nas tubulações de esgoto e suas respectivas causas podem ser demonstrados na Figura 27:

Figura 27 - Obras em tubulações de rede e ramal coletores de esgoto. A. Tubulação de rede coletora de esgoto danificada. B. Conserto de rede coletora de esgoto danificada. C. Execução de nova ligação de esgoto. D. Execução de nova ligação de esgoto.



A



B



C



D

Fonte: BRK Ambiental (2019).

Os consertos são em sua maioria ocasionados por danificações das tubulações, que podem ter origem no processo de manutenção com uso de mangueiras de hidrojateamento, ligações feitas de forma irregular por parte da população, como também em virtude de sobrecargas na tubulação, causadas pelo não respeito aos limites de recobrimento mínimo das tubulações, o que acaba danificando as geratrizes superiores das tubulações. Todas essas situações mencionadas, geralmente referem-se à consertos a serem realizados de forma pontual, não caracterizando grandes extensões de tubulação a serem consertadas.

Os serviços referentes à substituição de trecho de tubulação são caracterizados pela necessidade de troca de trechos maiores que os de caráter pontual. Estes serviços são realizados quando a tubulação já apresenta danificações em quase todo seu caminhamento, muitas vezes devido ao seu tipo de material, como cerâmica, por exemplo, assim como pelo seu tempo de vida útil. Essa situação é geralmente constatada através do processo de vídeo-inspeção. A troca do trecho de rede ou ramal também é realizada quando estes já não apresentam condições de suporte da vazão de esgoto atual, em razão do aumento da

contribuição advinda de novos prédios, ou outros empreendimentos não previstos na concepção inicial do sistema.

As implantações, seja de rede ou ramal, são realizadas de forma a coletar os esgotos de localidades ainda não contemplados com Sistema de Esgotamento Sanitário, ou seja, durante as etapas de implantação de novos SES. Para estes casos, tem-se as maiores extensões de tubulações implantadas em relação às obras em redes e ramais mencionadas anteriormente.

As obras relativas às novas ligações de ramal de esgoto referem-se aquelas onde um imóvel em área de SES existente realiza o pedido para se interligar à rede coletora de esgoto mais próxima. Estes serviços são caracterizados por extensões, que de acordo com decreto estadual nº 18.251 de 21 de dezembro de 1994, no seu título III, capítulo I, artigo 11, parágrafo segundo tem-se que, “A distância entre a rede coletora e a caixa ou peça de inspeção de esgoto mais próxima, situada no ramal, não deverá ser superior a 15 metros, ressalvados os casos especiais.” (PERNAMBUCO, 1994, p. 18).

As substituições de tampa para poços de visita e caixas de inspeção são as obras mais comuns e mais recorrentes em relação às obras de redes e ramais de esgoto de uma forma geral (Figura 28).

Figura 28 - Substituição de tampas de poço de visita e caixa de inspeção. A. Tapa de caixa de inspeção danificada. B. Tapa de caixa de inspeção substituída. C. Tapa de poço de visita danificada. D. Tapa, de poço de visita substituída.



A



B



C



D

Fonte: BRK Ambiental (2019).

Os serviços são caracterizados pela troca de tampas em concreto pré-moldado, tampas disco em concreto armado ou tampas articuladas em ferro fundido, ocasionadas pelo deterioramento das mesmas em função do tráfego de veículos, vandalismos, furtos por parte da população e final de tempo de vida útil. Tais obras não se referem apenas à troca de tampa, mas muitas vezes requerem a troca do caixilho, como também a demolição do pavimento do entorno do poço ou caixa, assim como sua posterior reposição.

Os poços de visita e caixas de inspeção, assim como as redes e ramais coletores de esgoto, também possuem semelhanças em realização aos tipos de obras executadas, conforme Figura 29:

Figura 29 - Recuperação de poço de visita e caixa de inspeção. A. Andamento de obra de recuperação de poço de visita em até 20% de sua estrutura com fornecimento de tampa articulada em ferro fundido. B. Andamento de obra de recuperação de poço de visita em até 20% de sua estrutura com fornecimento de tampa articulada em ferro fundido. C. Andamento de obra de recuperação de caixa de inspeção em até 70% de sua estrutura com fornecimento de tampa disco em concreto armado. D. Andamento de obra de recuperação de caixa de inspeção em até 70% de sua estrutura com fornecimento de tampa disco em concreto armado.



A



B



C



D

Fonte: BRK Ambiental (2019).

Os consertos nesses dispositivos geralmente são realizados de forma não integral em relação às suas estruturas: recuperação de um ou mais anéis em concreto danificados, revestimento das paredes internas, recuperação da calha, entre outros, que não caracterizam uma substituição ou construção pelo fato de parte da estrutura original do dispositivo ainda ser mantida.

Os serviços de rebaixamento ou elevação de PV e CI são necessários quando os mesmos se encontram acima ou abaixo do pavimento em que estão localizados. Muitas vezes em virtude de um processo de recapeamento da via ou encobrimento por parte da população, os PV e CI, respectivamente, necessitam desses serviços para voltarem ao nível da

pavimentação, de forma a não causar nenhum tipo de acidente, como também facilitar a operação e manutenção da rede ou ramal.

Substituição e construção de poços de visita e caixas de inspeção fazem referência em ambos os casos à construção de um dispositivo em 100% de sua estrutura. O que difere é que no processo de substituição há a troca de um dispositivo existente por um novo, enquanto que a construção é realizada para atender uma situação onde não existe o dispositivo.

Todos os tipos de obras mencionadas, seja referente às tubulações ou dispositivos das redes e ramais coletores de esgoto, são produtoras de resíduos de escavação e demolição de pavimento, como também requerem a aquisição de novos insumos.

De acordo com Barros (2012) em cada atividade desempenhada nas obras de construção civil há um potencial de geração de RCC. Desta forma, para que os RCC possam ser melhor gerenciados, visando um processo de reciclagem, é preciso identificar através do conhecimento das atividades os potenciais pontos de geração de resíduos.

O quadro abaixo elenca as atividades com maior potencial de geração de resíduos ou aquisição de novos materiais (Quadro 6):

Quadro 6 - Atividades geradoras de resíduos de pavimentação e escavação ou inerentes à aquisição de novos materiais para reposição.

Atividades
Demolição de pavimento manual ou mecanizada
Escavação manual ou mecanizada
Reaterro
Reposição de pavimento

Fonte: Autor (2019).

O processo de demolição da pavimentação (Figura 30), seja em via ou em calçada, pode ser dado de forma mecânica ou manual, onde nessa etapa são retirados o pavimento ou calçada, assim como suas partes constituintes, caso haja: base, sub-base, subleito.

Figura 30 - Etapas das obras de redes coletoras de esgoto com maiores potenciais de geração de resíduos e aquisição de novos materiais. A. Demolição de pavimento. B. Escavação. C. Reaterro. D. Reposição de pavimento.



A



B



C



D

Fonte: BRK Ambiental (2019).

A escavação da vala ou cava é o processo onde há o maior volume de resíduos gerados nas obras de redes e ramais coletores de esgoto, gerando materiais que na maioria das vezes acabam sendo direcionados para áreas de bota-fora ou aterros sanitários.

O reaterro da vala ou cava se refere à atividade onde após a resolução da obra, seja relativa às tubulações ou dispositivos, se faz necessário a recomposição do solo extraído durante a atividade de escavação manual ou mecanizada. A recomposição do material retirado durante a escavação é geralmente material de empréstimo, como areia e pó de pedra.

A partir do potencial de geração de resíduos das atividades relativas a escavação, demolição de pavimento e as inerentes a estes processos, se pode identificar especificamente os tipos de resíduos gerados (Quadro 7):

Quadro 7 - Tipos de resíduos gerados durante os processos de escavação ou demolição de pavimento.

Materiais demolidos e escavados
Solo
Pavimento em asfalto
Pavimento em paralelo
Pavimento em concreto
Pavimento em cerâmica
Pavimento em lajota
Pavimento em pedra portuguesa
Pavimento, <i>paver</i> , blokret ou intertravado
Tubulações substituídas
Componentes de PV e CI

Fonte: Autor (2019).

Barros (2012) afirma que para o correto gerenciamento dos resíduos de construção civil se faz necessária sua classificação, de forma a facilitar a elaboração dos projetos que viabilizem a reciclagem dos mesmos.

Os resíduos de material de escavação, no caso o solo, podem ser gerados tanto em obras localizadas em vias, quanto em calçada. Os resíduos de pavimento do tipo asfalto e paralelo são mais facilmente encontrados em vias, enquanto que o concreto pode ser encontrado tanto em vias quanto calçadas. Abaixo segue os exemplos (Figura 31):

Figura 31 - Resíduos gerados a partir dos processos de escavação e demolição de pavimentos. A. Solo. B. Pavimento asfáltico. C. Pavimento em paralelo. D. Pavimento em concreto.



A



B



C



D

Fonte: BRK Ambiental (2019).

O solo escavado nas obras do município do Recife é geralmente do tipo argilo-arenoso, podendo estar ou não contaminado com esgoto. Os materiais provenientes da demolição de pavimentos em vias são muito variados, onde assim como com o tipo de solo encontrado, podem ou não serem reaproveitados na obra, de acordo com suas especificidades. O diagnóstico apontou a incidência de obras nas vias em pavimentos do tipo asfáltico, cimentado e em paralelo. Segundo Nuvolari (2011) o pavimento asfáltico é o mais comumente usado nas ruas, podendo ser utilizados também os pavimentos em paralelo e blokret.

Os exemplos abaixo se referem aos demais tipos de pavimentos demolidos durante a execução demonstrados no Quadro 7 (Figura 32):

Figura 32 - Resíduos gerados a partir do processo de demolição de pavimentos. A. Cerâmica. B. Lajota. C. Pedra Portuguesa. D. Paver, *blokret* ou intertravado.



A



B



C



D

Fonte: BRK Ambiental (2019).

Nas calçadas, além do concreto mencionado anteriormente, são gerados resíduos provenientes de cerâmica, lajota, pedra portuguesa e *paver*, também denominado *blokret* ou intertravado. Por disporem de características materiais e construtivas distintas, alguns destes podem ser reaproveitados durante a obra.

Nuvolari (2011) afirma que os passeios mais comumente encontrados são o cimentado comum e as lajotas cerâmicas ou ladrilhos.

5.1.2 Quantitativos das obras e aspectos influenciadores à geração de resíduos

O conhecimento do quantitativo de obras realizadas, assim como aspectos dos processos de demolição e escavação que influenciam a geração de resíduos são essenciais

para subsidiar as fases posteriores ao levantamento.

O aprofundamento a respeito dos quantitativos e características dos resíduos sólidos no qual se propõe a estudar, é fator importante para as etapas de definição de processos e tecnologias com fins de reaproveitamento dos RS (BARROS, 2012, RECESA, 2008c).

Desta forma, nos tópicos que seguem estão o levantamento dos quantitativos e a avaliação das características das obras no que diz respeito à geração de resíduos. Os dados referentes às obras realizadas por Sistema de Esgotamento Sanitário no município do Recife nos meses de janeiro a agosto estão dispostos na Tabela 8:

Tabela 8 - Quantitativo de obras realizadas por Sistema de Esgotamento Sanitário no período de janeiro a agosto de 2018.

SES	jan.	fev.	mar.	abr.	mai.	jun.	jul.	ago.	Média	Total
Cabanga	221	200	286	213	275	258	308	357	265	2118
Camargibe	8	7	14	6	12	12	8	11	10	78
Cordeiro	20	13	17	13	6	18	39	12	17	138
Ibura	25	45	21	33	25	30	25	43	31	247
Imbiribeira	41	32	67	39	71	41	33	68	49	392
Jaboatão	8	15	17	8	8	19	9	5	11	89
Jardim São Paulo	21	13	19	9	26	21	16	18	18	143
Mangueira	23	33	24	21	36	19	28	32	27	216
Minerva	4	17	5	6	8	4	7	0	6	51
Nova Descoberta	4	10	6	8	17	3	6	2	7	56
Peixinhos	111	79	112	93	107	114	126	150	112	892
Total	486	464	588	449	591	539	605	698	553	4420

Fonte: Autor (2019).

A partir de processo de identificação das obras por Sistema de Esgotamento Sanitário, se percebe que em termos de SES, o SES Cabanga é o que mais tem obras executadas ao longo do ano, cujos valores estão atrelados à grande extensão territorial no que diz respeito à coleta de esgoto, como também por deter do maior quantitativo de redes coletoras entre os SES do município do Recife, especificamente 45% do total.

Além desse fator, o sistema Cabanga é um dos mais antigos do município, cuja implantação se deu inicialmente com materiais comumente usados na época. Desta forma, se tem que 51% de todas as tubulações das redes coletoras de esgoto deste sistema são do tipo manilha cerâmica, em desuso atualmente.

A Figura 33 evidencia como as tubulações em manilha cerâmica apresentam as

danificações:

Figura 33 - Filmagem em tubulações de manilha cerâmica. A. Danificação da tubulação na geratriz superior esquerda. B. Sinais de fissuras nas paredes da tubulação.



A



B

Fonte: BRK Ambiental (2018).

Esse tipo de tubulação apresenta diversas danificações: em virtude do seu tempo de vida útil; por não resistirem aos esforços requeridos pelos veículos que passam por cima das redes de esgoto; danificações nos processos de manutenção, como desobstrução ou limpeza preventiva, com uso de equipamentos manuais ou mecanizados.

Enquanto o SES Cabanga se encontra na posição de sistema com maior quantitativo de obras, se tem que os SES Minerva e SES Nova Descoberta possuem os menores quantitativos de obras entre os sistemas de esgotamento sanitário do município, fato atrelado também ao baixo quantitativo de redes coletoras de esgoto existentes para os sistemas. Ainda assim, é importante ressaltar que os sistemas mencionados possuem redes coletoras de esgoto cujos materiais são em 95,10% em PVC para o SES Minerva e 100% em PVC para o SES Nova Descoberta.

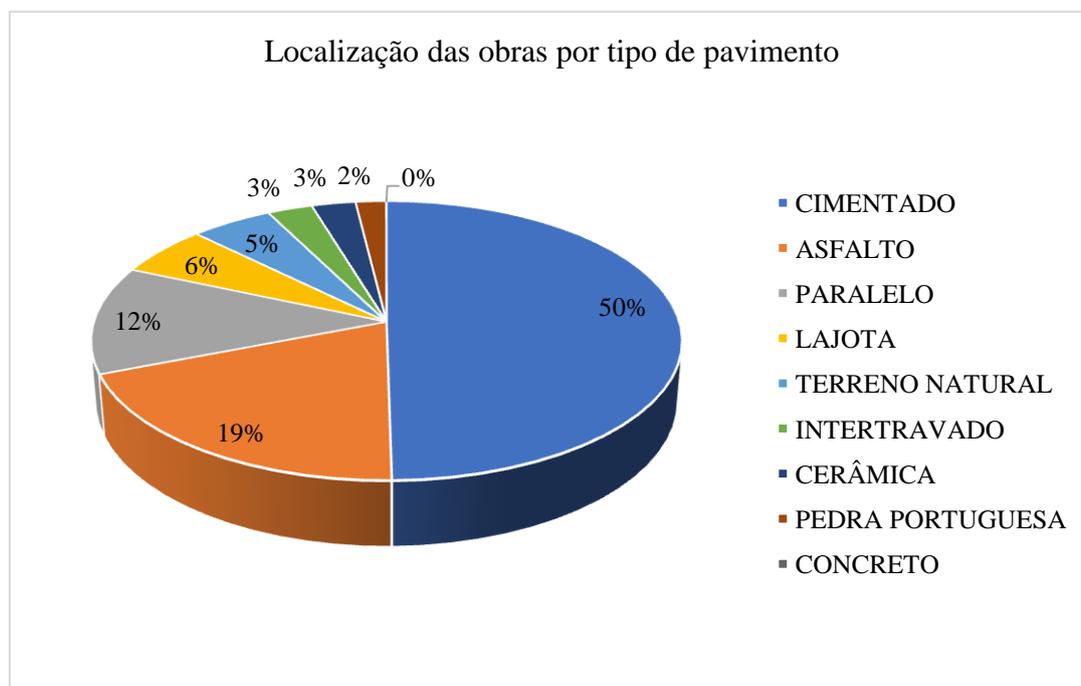
Os valores quantitativos de obras realizados por mês sofrem grande influência do quantitativo de ordens de serviço de desobstrução de rede e ramal, como também dos valores de execução de limpeza preventiva de redes coletoras de esgoto, pois em todos esses processos há a identificação da necessidade de realização de obras de conserto de redes, ramais, poços de visita e caixas de inspeção.

O mês de agosto foi o que apresentou o maior número de obras no ano, fato este alinhado com o quantitativo de desobstruções e limpezas preventivas, que para desobstruções se obteve no mês dentro da média anual, enquanto que para as limpezas preventivas foram

executados 03 (três) quilômetros de limpeza acima da média anual, de janeiro a agosto.

Os resultados do estudo da localização das obras em função do tipo de pavimento podem ser representados no Gráfico 2:

Gráfico 2 - Gráfico com percentual de localização das obras em função do tipo de pavimento.



Fonte: Autor (2019).

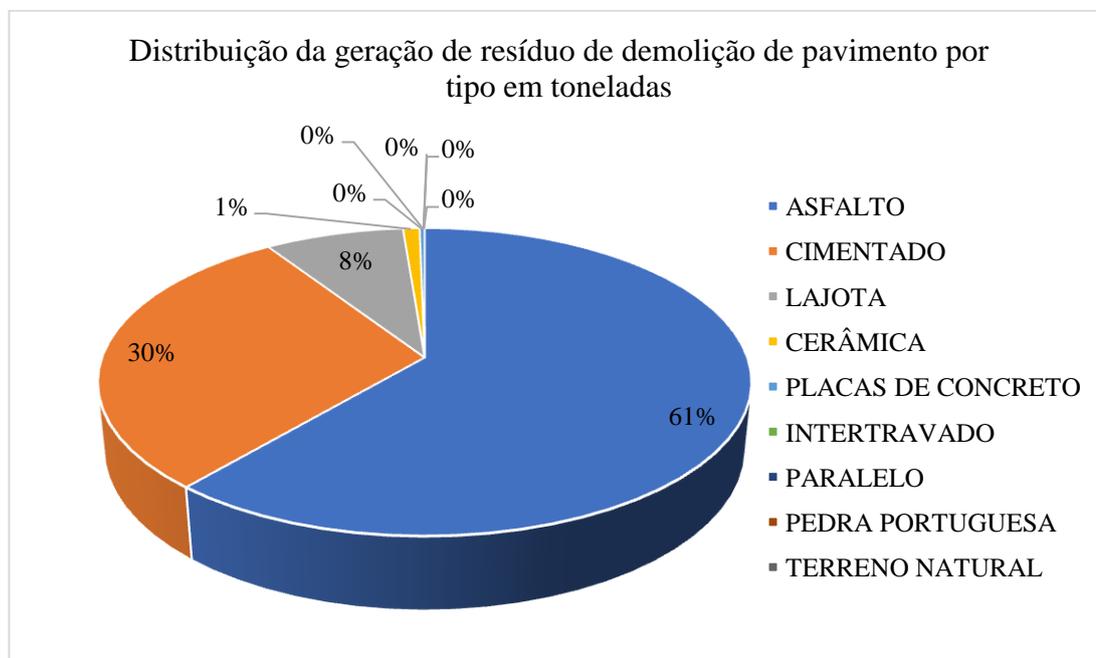
Sabe-se que durante a realização das obras nas redes, ramais coletores e seus respectivos dispositivos há a demolição e posterior recomposição do pavimento. A partir do processo de qualificação dos dados, foi verificado que as obras estão em sua maioria situadas em locais cujo pavimento é do tipo cimentado, cuja representação é de 50% do total. Tal dado é compatível com o fato de maior parte das obras realizadas serem relativas à recuperação e construção de caixas de inspeção, que equivalem a 58,33% do total de obras e estão localizadas em calçadas, onde o pavimento mais comum é o do tipo cimentado.

Em seguida aparecem os pavimentos do tipo asfalto e paralelo, com 19% e 12% respectivamente, das incidências de obras. Estes pavimentos são muito comuns em vias e ruas, onde geralmente os poços de visita e redes coletoras de esgoto são implantados. Os poços de visita por sua vez representam um total de 31,99% das obras realizadas, também sendo um fator determinante para o alto índice de obras localizadas nesses pavimentos.

Segundo Ferreira (2015) a definição da composição dos resíduos gerados, assim como suas especificidades, é etapa essencial para a proposição de rotas tecnológicas para reciclagem

ou tratamento dos mesmos. Desta forma, o Gráfico 3 ilustra a composição dos resíduos advindos da demolição de pavimento:

Gráfico 3 - Gráfico com percentual de geração de resíduo de demolição de pavimento em t por tipo.



Fonte: Autor (2019).

Com base nas informações de extensão, largura e profundidade, foi possível estimar a quantidade de resíduos de demolição de pavimento gerados durante as obras. Desta forma se tem que o pavimento do tipo asfalto (61%) é o que mais gera resíduos de demolição de pavimento, seguido do pavimento cimentado (30%), lajota (8%) e cerâmica (1%). Apesar da incidência maior em termos de localização das obras em pavimento do tipo cimentado conforme exemplifica o Gráfico 2, tais obras são de menor porte por em sua maioria serem realizadas em caixas de inspeção, conseqüentemente com menores áreas de demolição de pavimento e menor geração de resíduo.

As obras realizadas em pavimentos do tipo asfalto se referem às obras em redes coletoras de esgoto, poços de visita e novas ligações. Essas obras detêm de uma extensão maior de demolição de pavimento, assim como muitas vezes são realizadas em redes com profundidade elevada, que irão requerer uma maior largura da vala, de forma a serem respeitadas as condições de trabalho e segurança dos trabalhadores.

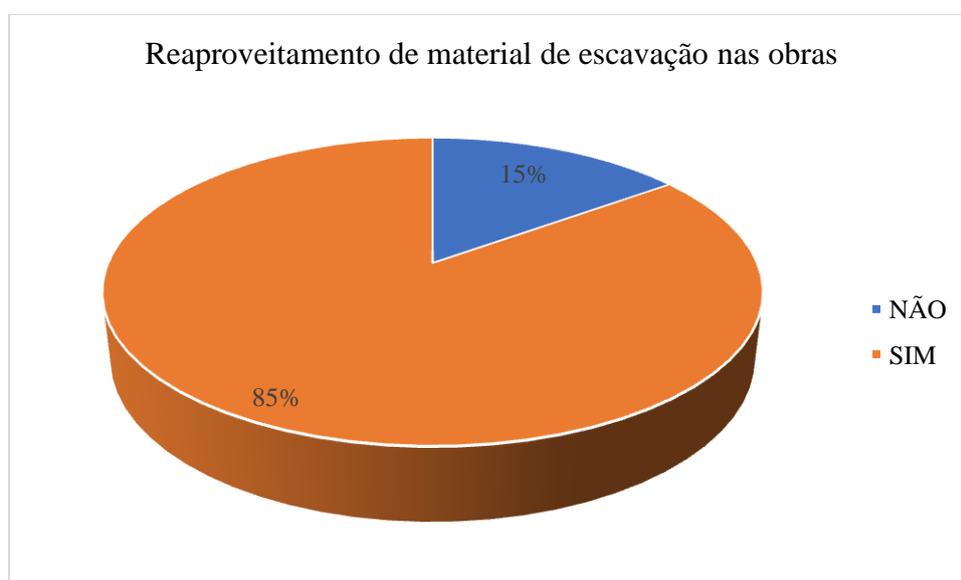
Os pavimentos do tipo intertravado, paralelo, pedra portuguesa e terreno natural apresentam percentual igual a 0% em relação à geração de resíduos. A situação pode ser explicada uma vez que para os pavimentos do tipo intertravado, paralelo e pedra portuguesa há a reutilização dos mesmos nas obras, no processo de recomposição do pavimento,

enquanto que o pavimento do tipo terreno natural não é necessária à sua demolição, nem recomposição.

É importante ressaltar que para os pavimentos não reutilizados nas obras, que acabam sendo destinados para aterro sanitário e que representam 100% dos resíduos de demolição de pavimento gerados, há possibilidade de reciclagem de forma a reincorpora-los às obras.

Os resultados da análise das obras em função do reaproveitamento ou não do material escavado pode ser dado no Gráfico 4:

Gráfico 4 - Percentual de obras que reaproveitaram ou não o material proveniente de serviços de escavação.

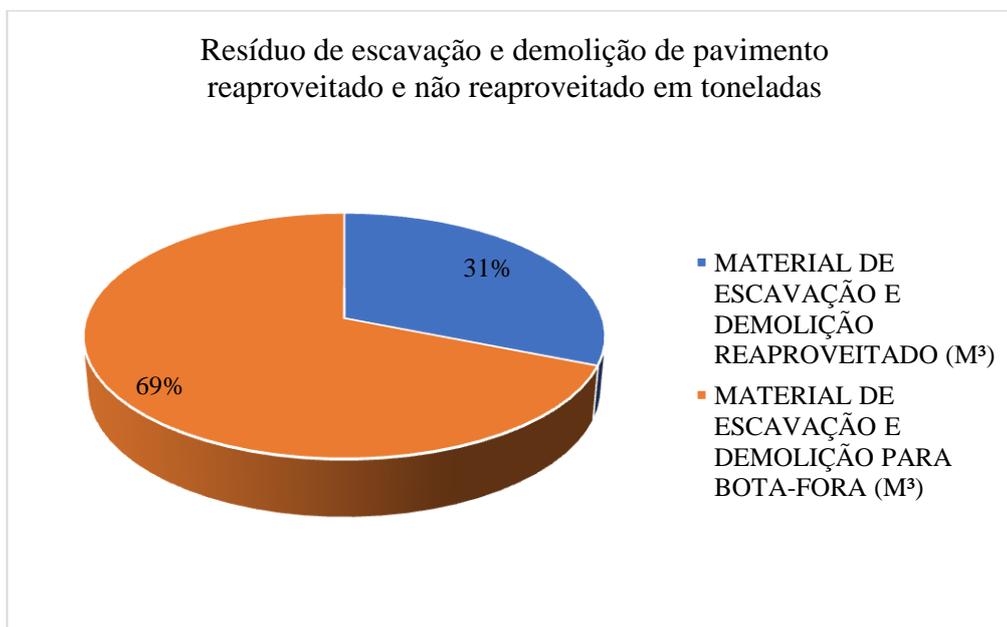


Fonte: Autor (2019).

Em relação ao reaproveitamento de material de escavação nas obras se vê que em termos quantitativos 85% das obras há o reaproveitamento do material de escavação no processo de reaterro. Contudo, apesar de quantitativamente haver um alto valor de obras com reaproveitamento de material escavado, foi avaliado que 93,47% das obras onde existe o reaproveitamento são relativas à recuperação de caixa de inspeção e poços de visita. Tratam-se de obras de profundidade mais superficiais, cujo serviço principal é o de troca de tampa, sendo possível reaproveitar o material escavado.

O Gráfico 5 representa o percentual referente aos materiais demolidos e escavados nas obras, que são reaproveitados ou dispostos em aterros:

Gráfico 5 - Percentual de geração em t de material reaproveitado e material para aterro.

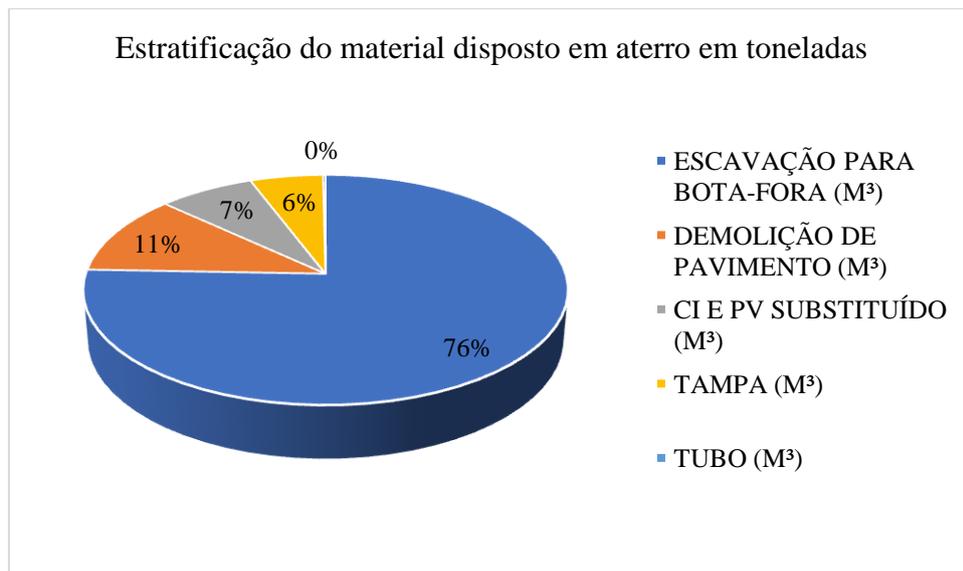


Fonte: Autor (2019).

Apesar de em termos unitários se ter um alto valor de obras onde o material de escavação foi reaproveitado, quando se avalia a quantidade de resíduos em toneladas, a situação é invertida. As obras onde não foi possível realizar o reaproveitamento geraram um quantitativo em toneladas de material de escavação não reutilizado maior que o de material reaproveitado, onde o material que acabará em aterro sanitário equivale a 69%, enquanto o material reaproveitado configura 31% de todo o material escavado.

Para o material que era destinado em aterro foi possível estabelecer seus percentuais por tipo de resíduo enviado, conforme Gráfico 6:

Gráfico 6 - Estratificação do material disposto em aterro em t.



Fonte: Autor (2019).

Em análise específica dos valores de material destinado para aterro sanitário, ou seja, que não foram reaproveitados nas obras, se vê que o material de escavação possui o maior volume, assim como evidencia o percentual de 76% atribuído a este resíduo. Resíduos de demolição de pavimento segue com 11%, enquanto que resíduos de partes estruturais de poços de visita e caixas de inspeção, tampas e tubos, seguem com representação de 7%, 5% e 0,19% do total do material destinado em aterro.

A Figura 34 evidencia os resíduos na área de transbordo prontos para serem dispostos em aterro:

Figura 34 - Materiais destinados em aterro. A. Tampas, tubulações, material de escavação e pavimentação. B. Estrutura de poço de visita substituída.



A



B

Fonte: Autor (2019).

Tais resíduos não são segregados na fonte, transporte ou área de transbordo, sendo acondicionados de forma conjunta, inviabilizando as possibilidades de reciclagem, tendo por sua vez que serem dispostos em aterros sanitários.

5.1.3 Custos com a geração de resíduos e aquisição de novos insumos

Sabe-se que na não reutilização do material de escavação ou no processo de recomposição de pavimentos em que não há a possibilidade de reaproveitamento, há a necessidade de aquisição de novos materiais para realização do reaterro da vala como também para recomposição do pavimento demolido.

Desta forma, foram levantados os valores médios para os custos relativos aos novos materiais incorporados às obras (Tabela 9):

Tabela 9 - Média dos custos com aquisição de materiais para reaterro e base.

Item	Valor (R\$)/mês
Areia grossa lavada	917,38
BGS = brita graduada simples	2.619,29
Pó de pedra	12.805,00
Total	16.341,66

Fonte: Autor (2019).

Em meses normais de operação a média de custo para os materiais areia grossa lavada, brita graduada simples e pó de pedra são de R\$ 75.251,65, R\$ 350.637,0 e R\$ 172.053,17 por mês, respectivamente. Considerando a soma do custo médio destes materiais, o gasto somente com insumos usados no reaterro de valas ou para a base de pavimentação é de aproximadamente R\$ 598 mil mensais.

Além dos custos com aquisição de novos materiais, se tem custos inerentes aos processos de coleta, transporte e destinação final dos rejeitos gerados. Na Tabela 10 estão elencados os custos relativos ao processo de coleta, transporte e destinação final:

Tabela 10 - Média dos custos com transporte e destinação final de resíduos de escavação e demolição de pavimentos.

Item	Total (R\$)/mês
Disposição final de entulho em aterro	18.586,96
Prestação de serviços - coleta, transporte e destinação final de resíduos acondicionado em caçamba basculante, capacidade de 12m ³	5.226,93

Fonte: Autor (2019).

As despesas referentes à coleta dos resíduos em caminhão basculante ou caçambas estacionárias, para posterior transporte até o aterro sanitário representam um valor médio mensal de aproximadamente R\$ 5 mil mensais.

Segundo a Recesa (2008c) é necessário identificar quais são os custos inerentes ao gerenciamento dos resíduos de construção e demolição, especificamente aqueles ligados à sua deposição final.

Ao serem acondicionados e transportados, os resíduos têm destinação final em aterro sanitário: Todos os resíduos advindos das obras de manutenção de redes coletoras de esgoto e seus respectivos dispositivos são considerados como resíduos do tipo Classe II B, ou seja, resíduos não perigosos e inertes. O custo mensal com a destinação em aterro sanitário dos resíduos provenientes das obras operacionais é de 18,5 mil reais.

5.1.4 Aspectos e impactos ambientais

A partir do levantamento dos aspectos e impactos ambientais negativos das obras de redes e ramais coletores de esgoto, assim como dos seus dispositivos de inspeção, se obteve os seguintes resultados apresentados nos quadros a seguir, com foco nos aspectos relativos à geração de resíduos e atividades correlacionadas.

O Quadro 8 aborda os aspectos e impactos ambientais negativos do processo de deslocamento:

Quadro 8 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de deslocamento das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.

Processo	Atividade	Aspecto ambiental	Impacto ambiental
Deslocamento	Utilização de veículos movidos a gasolina e a diesel	Emissão de gases de combustão	Alteração da qualidade do ar
		Incêndio / explosão	Alteração da qualidade do ar
		Vazamento / derramamento de óleos e graxas	Alteração da qualidade do solo
		Tombamento de veículos leves e pesados	Alteração da qualidade do solo
		Geração de pneus usados	Alteração da qualidade do solo
		Geração de ruído	Incômodo a comunidade
		Consumo de combustível	Redução da disponibilidade de recursos naturais

Fonte: Autor (2019).

O processo de deslocamento, caracterizado pelas atividades de utilização de veículos movidos a gasolina e a diesel para realização podem gerar diversos aspectos ambientais e consequentemente refletir em impactos ambientais. Tais atividades são evidenciadas através do transporte de pessoas e recursos para as frentes de serviço, de forma a ser dado o início das obras, assim como no transporte dos resíduos durante e ao final das obras para as áreas de transbordo para que finalmente possam ser transportados para os aterros sanitários. É importante salientar que os aterros sanitários ficam em áreas afastadas do perímetro urbano, onde estão localizadas as principais áreas de transbordo e, por isso, são realizados longos trajetos para destinação final dos resíduos em aterros sanitários.

Durante a utilização dos veículos, há a emissão de gases combustão, a exemplo se tem os gases CO, NO_x, SO_x e CO₂, assim como os veículos usados no deslocamento podem apresentar riscos de explosão e incêndio, onde ambos impactam diretamente na qualidade do ar.

Segundo Dosal et al (2012, tradução nossa) as emissões de CO₂ em função do transporte de resíduos de demolição e construção é um fator de avaliação e de estudo de viabilidade para decisão da localização da unidade recicladora. Tendo em vista os efeitos negativos do CO₂ ao meio ambiente, devem ser priorizados os menores percursos para transporte dos resíduos, assim como menores quantitativos de veículos realizando esse tipo de serviço.

O impacto ambiental causado ao solo, podendo mudar a qualidade do mesmo, pode ser

dado: pelo vazamento de óleos e graxas em virtude de falhas mecânicas, permitindo a saída desses líquidos de partes componentes dos veículos; colisões ou tombamento desses veículos, ocorrendo o contato dos resíduos (contaminados ou não) com o solo; geração de resíduos de pneus usados que, com o passar do tempo apresentam desgastes e precisam ser substituídos.

O ruído gerado pelos veículos, principalmente os veículos pesados (caminhões basculantes, retroescavadeiras, caminhões *muncck*) podem gerar ruído, com possibilidade de ocorrência de poluição sonora e conseqüentemente o incômodo à população local.

O consumo exacerbado de materiais e insumos não renováveis como a gasolina e o diesel, combustíveis usados no abastecimento de veículos leves e pesados das obras de redes e ramais coletores de esgoto, afetam diretamente na redução dos recursos naturais finitos usados para fabricação destes insumos.

No processo de deslocamento não há a geração de resíduos de construção civil. Após o deslocamento para o local da obra, são iniciadas as primeiras atividades, por sua vez identificadas no processo de demolição de pavimento do Quadro 9:

Quadro 9 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de demolição de pavimento das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.

Processo	Atividade	Aspecto ambiental	Impacto ambiental
Demolição de pavimento	Corte do pavimento (policorte - movido a gasolina)	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar
		Emissão de gases de combustão	Alteração da qualidade do ar
		Incêndio / explosão	Alteração da qualidade do ar
		Vazamento / derramamento de combustível	Alteração da qualidade do solo
		Geração de ruído	Incômodo a comunidade
		Consumo de combustível	Redução da disponibilidade de recursos naturais
	Demolição de pavimento e calçada (martelete / rompedor elétrico)	Geração de resíduo não contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduo sólido contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduos	Diminuição do tempo de vida útil de aterros sanitários
		Geração de ruído	Incômodo a comunidade
		Consumo de energia elétrica	Redução da disponibilidade de recursos naturais

Fonte: Autor (2019).

O corte do pavimento, realizado com equipamento do tipo policorte, tem como

principal impacto ambiental a alteração da qualidade do ar em virtude de seus aspectos ambientais: emissão de material particulado e, por ter como fonte de combustível a gasolina, apresenta os aspectos ambientais decorrente desse uso, como a emissão de gases de combustão e possibilidade de incêndio e explosão.

A alteração da qualidade do solo é um impacto ambiental que na utilização do equipamento policorte pode ser causado em virtude de situações ligadas ao derramamento da gasolina e seu contato direto com o solo. O equipamento apresenta ruídos durante a sua operação, o que pode ser um fato de incômodo para a circunvizinhança da obra e assim tipificando um impacto ambiental. O consumo de combustível também se mostra como um aspecto ambiental causador de impacto, sendo este relativo à diminuição de recursos naturais, conforme explicitado anteriormente.

A demolição do pavimento também acontece com o uso do martelete ou rompedor elétrico, onde nesta atividade já há a geração de resíduos de construção civil, manifestados na existência de pavimento demolidos, como o asfalto, o cimentado, as lajotas e as cerâmicas que, por não possuírem viabilidade para reutilização instantânea na obra, são destinados sob a forma de entulho para os aterros sanitários.

Barros (2012) reforça que a não segregação dos resíduos acaba por gerar na formação de entulhos. Por sua vez, estes RS perdem o seu valor e potencial de reciclagem, tendo por muitas vezes seu destino final dado em terrenos baldios, ou locais de menor fiscalização ambiental. Até que sejam removidos dos locais inadequados, os entulhos atraem a disposição irregular de outros tipos de resíduos, havendo a proliferação de vetores, geração de maus odores e a desvalorização do ambiente.

Assim como os demais equipamentos apresentados, o martelete apresenta aspectos ambientais referentes à geração de ruídos e impacto ambiental no que se remete à redução de recursos naturais, evidenciado através da necessidade de consumo de energia elétrica para operação do equipamento.

Com o pavimento devidamente cortado e demolido, se segue para a próxima etapa da obra, correspondente ao processo de escavação que, assim como os demais processos vistos anteriormente, há a geração de aspectos e impactos ambientais negativos (Quadro 10):

Quadro 10 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de escavação das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.

Processo	Atividade	Aspecto ambiental	Impacto ambiental
Escavação	Escavação manual	Geração de resíduo não contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduo sólido contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduos	Diminuição do tempo de vida útil de aterros sanitários
	Escavação mecanizada	Emissão de gases de combustão	Alteração da qualidade do ar
		Vazamento / derramamento de óleos e graxas	Alteração da qualidade do solo
		Vazamento / derramamento de efluente contaminado com matéria orgânica	Alteração da qualidade do solo
		Vazamento / derramamento de combustível	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduo não contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduo sólido contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduos	Diminuição do tempo de vida útil de aterros sanitários
		Consumo de combustível	Redução da disponibilidade de recursos naturais
	Uso de sistema para rebaixamento	Geração de ruído	Incômodo à comunidade vizinha
		Sucção de líquido para rebaixamento do lençol freático	Alteração da qualidade do solo

Fonte: Autor (2019).

O processo de escavação manual se difere do mecanizado por não usar combustível e como resultado não apresentar os aspectos e impactos ambientais inerentes ao seu uso. Por ser um processo onde há um alto potencial para geração de resíduos, neste caso material de escavação, há a ocorrência de impactos relativos à qualidade do solo e diminuição do tempo de vida útil dos aterros sanitários que receberão grandes volumes de terra escavados durante o processo.

É preciso avaliar a geração do resíduo de escavação na fonte, visando a diminuição de volumes exacerbados de escavação. Sabe-se que se não houver a consciência nesse sentido, há a tendência de esgotamento do tempo de vida útil dos aterros sanitários, assim como o

estímulo à criação de bota-foras irregulares (BARROS, 2012).

Uma das formas de se minimizar grandes extensões de valas ou cavas durante o processo de escavação, é o uso de equipamentos de vídeo-inspeção, que permitem a visualização condições internas das tubulações e dispositivos de inspeção e/ou visita. Os mesmos identificam exatamente onde há a avaria e permitem uma assertividade maior no dimensionamento das medidas das valas ou cavas a serem escavadas.

A experiência da BRK Ambiental (2015) numa concessão do Rio de Janeiro, diz que a necessidade de escavação e disposição de resíduos em aterro sanitário pode apresentar problemas se não for bem gerido. Um dos problemas está na deposição irregular de bota-fora devido ao grande número de empreiteiros prestadores de serviço e baixo nível de controle da movimentação deste material (Manifesto de Transporte). Com base nisso, há o surgimento do passivo ambiental devido a deposição irregular do material escavado e seu crescimento previsível em função do volume a ser escavado na implantação das obras, bem como a possibilidade do recebimento de multas ambientais.

Barros (2012) comenta que ainda é preciso extinguir a quantidade de situações relativas à deposição irregular de materiais de escavação nas margens de vias, em terrenos desocupados e até mesmo em corpos hídricos.

Apesar de não se tratar de um processo de escavação propriamente dito, se faz uso de um sistema para rebaixamento de líquidos como uma atividade complementar à de escavação, de forma que a vala fique apta à realização das próximas etapas, especificamente as de conserto ou construção de rede, ramal e componentes de inspeção (PV e CI).

Em regiões litorâneas, com muita presença de rios e manguezais, como o município do Recife, por exemplo, é muito comum encontrar a presença de lençol freático com nível alto. Segundo Cadete, Oliveira e Ferreira (2016) o nível do solo no município do Recife, por exemplo, é próximo do nível do mar e as concentrações de solos moles, estão em quase sua totalidade em uma cota mais baixa que a do nível d'água.

Desta forma, se faz necessário o uso de equipamentos que possibilitem a retirada do líquido proveniente do lençol freático da vala escavada, onde o sistema de rebaixamento com ponteiras filtrantes juntamente com uma bomba de vácuo é o mais usado atualmente nas obras.

O uso desse tipo de equipamento por longos períodos pode rebaixar o nível do lençol freático da região, alterando a qualidade do solo e sendo evidenciado em situações como danificações em residências, desmoronamento de terra, recalque de pavimentos.

Souza, J. (2009) afirma que na utilização de um sistema para realização de

rebaixamento há a diminuição das pressões neutras do solo devido em função da sucção da água contida, aumentando as pressões no solo, causando muitas vezes recalques nas edificações ou estruturas próximas aos locais onde ocorrem os rebaixamentos. Em locais com predominância de solos do tipo argiloso ou constituído por areia mole, os recalques são mais intensos.

A análise dos aspectos ambientais do processo de escavação, seja manual ou mecanizada, leva a afirmar que juntamente com o processo de demolição de pavimento, se tem as etapas das obras de redes e ramais coletores de esgoto onde há a maior geração de RCC.

Após escavação da vala, é iniciado o processo de implantação ou conserto dos componentes das redes e ramais coletores de esgoto, conforme explicitado no Quadro 11:

Quadro 11 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de conserto das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.

Processo	Atividade	Aspecto ambiental	Impacto ambiental
Conserto e/ou construção	Substituição e/ou implantação de tubulação, estrutura de pvs e cis danificadas	Geração de resíduo contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Geração de efluentes orgânicos	Contaminação do lençol freático
		Geração de resíduos	Diminuição do tempo de vida útil de aterros sanitários
		Consumo de novos materiais	Redução da disponibilidade de recursos naturais

Fonte: Autor (2019).

O processo de conserto ou construção se refere a situações onde no caso da construção há a implantação de uma nova rede, ramal, CI ou PV, de forma a contemplar um imóvel ou área ainda não atendida pelo sistema de coleta de esgoto e até mesmo fazer uma extensão de uma rede existente, contemplando uma área maior de atendimento. Para as situações de conserto, se tem os componentes mencionados anteriormente em estado de danificação, ruptura, necessitando uma substituição ou reparo.

Este processo é caracterizado pela geração de resíduo contaminado com esgoto, como as peças constituintes de poços de visita, caixas de inspeção e tubulações, assim como a geração de efluentes orgânicos em virtude de os componentes estarem danificados, havendo o vazamento do esgoto e a percolação do mesmo para o terreno. Em virtude desses aspectos

ambientais, há a alteração da qualidade do solo, a diminuição do tempo de vida útil dos aterros sanitários e a possibilidade de contaminação do lençol freático com o esgoto percolado pelo terreno. Não obstante, vale ressaltar que no processo há a necessidade de aquisição de novos materiais para substituição ou implantação dos dispositivos, impactando na redução de recursos naturais.

Sendo executados os devidos processos de conserto ou construção dos dispositivos e, não havendo mais nenhum outro serviço a ser executado, é iniciado o processo de reaterro da vala (Quadro 12):

Quadro 12 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de reaterro das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.

Processo	Atividade	Aspecto ambiental	Impacto ambiental
Reaterro	Reaterro manual	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar
		Consumo de novos materiais	Redução da disponibilidade de recursos naturais
	Reaterro mecanizado	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar
		Emissão de gases de combustão	Alteração da qualidade do ar
		Vazamento / derramamento de óleos e graxas	Alteração da qualidade do solo
		Vazamento / derramamento de combustível	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduo não contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduo sólido contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduos	Diminuição do tempo de vida útil de aterros sanitários
		Geração de ruído	Incômodo a comunidade
		Consumo de novos materiais	Redução da disponibilidade de recursos naturais
		Consumo de combustível	Redução da disponibilidade de recursos naturais
	Compactação do solo	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar
		Emissão de gases de combustão	Alteração da qualidade do ar
		Vazamento / derramamento de combustível	Alteração da qualidade do solo
Geração de ruído		Incômodo a comunidade	

Fonte: Autor (2019).

Em ambas as atividades de reaterro há a emissão de material particulado com impacto ambiental ligado à alteração da qualidade do ar. A atividade de reaterro manual se difere do mecanizado por não usar combustível e, como resultado, não apresentar os aspectos e impactos ambientais inerentes ao seu uso.

Durante o processo de reaterro, há uma grande necessidade em adquirir novos materiais para o reaterro da vala. Em função de suas características e até mesmo por muitas vezes não haver uma segregação dos materiais de escavação na obra, o material escavado acaba por ter seu reuso inviabilizado. Por conseguinte, há nesse processo o grande consumo de materiais para reaterro, seja a areia grossa lavada, ou pó de pedra, onde na aquisição de ambos há a diminuição de recursos naturais e o consequente impacto ambiental.

No processo de extração de material das jazidas para realização do reaterro há impacto negativo no consumo de recursos naturais não renováveis, podendo haver também a destruição da vegetação local, erosão do solo, poluição de rios através do assoreamento dos mesmos e deterioração da paisagem local (RECESA, 2008c).

Barros (2012) comenta que é preciso ser avaliada a questão do desperdício de materiais, como por exemplo o material de escavação. O desperdício desses materiais acarretam em uma série de outros desperdícios, como o de energia, de esforços e afins. Ainda assim, o reaproveitamento do material de escavação ainda pode ser um grande fator para a minimização da exploração de recursos naturais.

Ulubeyli, Kazaz, Arslan (2017, tradução nossa) reforçam que é preciso minimizar o consumo de recursos fazendo o reaproveitamento dos resíduos de construção e demolição. Os resíduos que são destinados em aterros, podem ser reutilizados, havendo o custo-benefício do uso de produtos reciclados, assim como a criação de empregos.

Complementar às atividades de reaterro manual ou mecanizado, se tem a atividade de compactação do solo, existindo os impactos ambientais refletidos na alteração da qualidade do ar em virtude da emissão de material particulado e emissão de gases de combustão devido ao uso de combustível para operação do equipamento compactador de solo. O solo também pode ser impactado em função de algum vazamento de combustível durante o uso do equipamento, como também o ruído gerado na operação pode ser um incômodo à vizinhança e assim causar um impacto ambiental. Nesta atividade não há geração de RCC.

Os resultados dos aspectos e impactos ambientais do processo de recomposição de pavimento pode ser evidenciado no Quadro 13:

Quadro 13 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de recomposição de pavimento das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.

Processo	Atividade	Aspecto ambiental	Impacto ambiental
Recomposição de pavimento	Aplicação de camada de brita	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar
		Consumo de novos materiais	Redução da disponibilidade de recursos naturais
	Assentamento de pavimentos reaproveitados em obra	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar
		Geração de ruído	Incômodo à comunidade vizinha
	Aplicação de pó de pedra	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar
		Consumo de novos materiais	Redução da disponibilidade de recursos naturais
	Aplicação de material para base e sub-base	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar
		Consumo de novos materiais	Redução da disponibilidade de recursos naturais
	Aplicação do material betuminoso	Geração de resíduo não contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduo sólido contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Vazamento / derramamento de produto químico	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduos	Diminuição do tempo de vida útil de aterros sanitários
		Consumo de novos materiais	Redução da disponibilidade de recursos naturais
	Aplicação de resina asfáltica	Geração de resíduo não contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduo sólido contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Vazamento / derramamento de produto químico	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduos	Diminuição do tempo de vida útil de aterros sanitários
		Consumo de novos materiais	Redução da disponibilidade de recursos naturais
	Aplicação de concreto simples, lajota ou cerâmica	Consumo de novos materiais	Redução da disponibilidade de recursos naturais

Fonte: Autor (2019).

O processo de recomposição de pavimento juntamente com o processo de reaterro de vala são os que mais requerem a aquisição de novos materiais e insumos.

A aplicação de materiais para a recomposição de pavimentos, especificamente os materiais de base para pavimento como brita, pó de pedra e material de base e sub-base têm como aspectos ambientais a emissão de material particulado e consumo de novos materiais, impactando na qualidade do ar e na disponibilidade de recursos naturais, nessa ordem.

Os pavimentos reaproveitados em obra não requerem a necessidade de aquisição de novos materiais, mas ainda assim possuem aspectos ambientais como a geração de ruído e emissão de material particulado, impactando ambientalmente a comunidade local e a qualidade do ar, respectivamente.

Os pavimentos não reaproveitados em obra são os que necessitam de novos materiais para recomposição da pavimentação demolida, a exemplo do pavimento asfáltico, concreto, cerâmica e lajota. Por deter de características diferenciadas, assim como insumos mais específicos em sua composição, o pavimento do tipo asfalto foi o que apresentou a maior diversidade de aspectos e impactos ambientais. As etapas de execução do pavimento asfáltico incluem as atividades de aplicação de concreto betuminoso e resina asfáltica, onde as duas apresentam os aspectos ambientais relacionados à geração de resíduos e possibilidade de vazamento de produtos químicos, havendo impacto ambiental no que se refere à qualidade do solo e diminuição do tempo de vida útil dos aterros sanitário. A inevitabilidade do uso de novos materiais acaba por gerar no impacto ambiental que atinge a disponibilidade dos recursos naturais.

Os pavimentos do tipo cimentado, cerâmica e lajota, geralmente executados nas calçadas, têm como principal aspecto a aquisição de novos materiais para recomposição do pavimento antes demolido. Essa necessidade acarreta na diminuição dos recursos naturais, uma vez que para fabricação desses tipos de pavimento se faz necessária a extração de recursos advindos da natureza.

As indústrias fabricantes de cimento e materiais cerâmicos são responsáveis por contribuir com 13,6% de todo o CO₂ produzido a partir da queima de combustíveis no Brasil, contribuindo para a ocorrência do efeito estufa, assim como impactando negativamente no aquecimento global (RECESA, 2008c).

A recomposição da pavimentação pode ser considerada como última etapa da obra em termos de execução de serviço. Contudo, existem etapas subsequentes que podem impactar na geração de resíduos, a exemplo do processo de limpeza final de obra (Quadro 14):

Quadro 14 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de limpeza das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.

Processo	Atividade	Aspecto ambiental	Impacto ambiental
Limpeza	Organização e limpeza do local trabalhado	Geração de resíduo não contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Geração de resíduo sólido contaminado	Alteração da qualidade do solo
		Emissão de material particulado - pó de varrição	Alteração da qualidade do ar
		Geração de resíduos	Diminuição do tempo de vida útil de aterros sanitários

Fonte: Autor (2019).

O processo de limpeza é caracterizado pelas atividades de organização e limpeza final do local onde foi realizada a obra. Nestas atividades aspectos como a geração de resíduos e emissão de material particulado podem ser evidenciados. A geração de resíduos ainda é possível de ser evidenciada nessa fase uma vez que restos de escavação, demolição de pavimento e material de sinalização da obra ainda podem ser encontrados, onde os resíduos mencionados podem impactar o meio ambiente no que diz respeito à qualidade do solo e diminuição do tempo de vida útil dos aterros sanitários. A varrição final da obra gera um aspecto ambiental, no caso a emissão de material particulado, especificamente o pó de varrição, impactando negativamente na qualidade do ar.

Viu-se em praticamente todos os processos ligados à execução das obras de redes, ramais e dispositivos de esgoto a geração de RCC e a necessidade de aquisição de novos insumos. Após finalização da obra, é iniciado o processo de gestão dos resíduos gerados durante as etapas de execução, que por sua vez também detêm de aspectos e impactos ambientais a serem avaliados (Quadro 15):

Quadro 15 - Aspectos e impactos ambientais negativos do processo de gerenciamento dos RCC das obras realizadas em redes e ramais coletores de esgoto, no que concerne à geração de resíduos e atividades correlatas.

Processo	Atividade	Aspecto ambiental	Impacto ambiental
Gerenciamento dos RCD	Acondicionamento em áreas de transbordo	Mistura de resíduos não contaminados com resíduos contaminados	Diminuição do tempo de vida útil de aterros sanitários
		Acondicionamento inadequado	Alteração da qualidade do solo
	Destinação final	Deposição inadequada dos RCD em cursos hídricos	Assoreamento de rios e córregos
		Deposição inadequada dos RCD em terrenos baldios	Proliferação de vetores
			Ocorrência de resíduos perigosos
		Deposição inadequada dos RCD em áreas de preservação	Degradação de mananciais e apps
		Deposição inadequada dos RCD em sistemas de esgoto e drenagem urbana	Obstruções nas redes coletoras de esgoto e redes de drenagem de águas pluviais
		Deposição inadequada dos RCD em vias públicas	Ocupação de vias, prejuízo à circulação de pessoas e veículos, degradação da paisagem urbana
		Destinação em aterros sanitários	Diminuição do tempo de vida útil de aterros sanitários

Fonte: Autor (2019).

O processo de gerenciamento dos RCC, considerando o transporte da obra para a área de transbordo e o posterior transporte para destinação final em aterro sanitário, pode gerar diversos aspectos e impactos ambientais caso não seja bem gerenciado.

Ainda nas áreas de transbordo, caso não haja o devido acondicionamento dos resíduos, pode haver a contaminação do solo em contato com eventuais resíduos contaminados. A não segregação dos resíduos nas áreas de transbordo, ou seja, a realização de mistura de resíduos, ocasiona no aumento do quantitativo de material a ser destinado em aterro sanitário, uma vez que misturados com resíduos contaminados, aqueles que ainda não são detentores destas

características, passam a tê-las.

O mau gerenciamento dos resíduos de construção civil das obras de esgoto pode acarretar em diversos problemas no que tange à ocorrência de impactos ambientais negativos. Infelizmente no Brasil nem sempre há uma fiscalização eficaz em relação à disposição desses materiais e muitas vezes os mesmos acabam sendo dispostos de forma irregular, ocasionando em impactos adversos ao meio ambiente.

O apontamento de feito por Barros (2012) demonstra que os principais efeitos negativos da má gestão e consequentemente disposição inadequada dos resíduos sólidos são: poluição dos recursos hídricos; poluição dos solos; poluição do ar; obstrução de dispositivos componentes de sistemas de coleta de águas de chuva; poluição visual; proliferação de vetores; estímulo à ocorrência de lixões.

A disposição irregular de RCC em margens de cursos hídricos acabam por causar o assoreamento dos mesmos. Muitos terrenos baldios acabam servindo de depósito irregular de resíduos de construção civil. Apesar do entulho de obra e material de escavação não contaminado serem considerados como resíduos não perigosos e inertes, o despejo dos mesmos em terrenos baldios acaba por trazer a deposição de outros resíduos, principalmente os domésticos, atraindo vetores transmissores de doenças e até mesmo resíduos perigosos (RECESA, 2008c).

Barros (2012) afirma que ainda há falta de informação para a população no que diz respeito aos impactos que os resíduos dispostos inadequadamente podem causar. Além disso, existe ainda uma carência em relação à mão de obra especializada, assim como aporte financeiro para mitigação desses problemas.

Mananciais e Áreas de Preservação Ambiental (APPs) podem ser degradadas em função do aporte indevido desses resíduos, como também tal aporte pode ser um contribuinte para a degradação do ambiente e paisagem urbanas se dispostos em vias públicas. Ainda no meio urbano, o despejo desses resíduos em sistemas de infraestrutura urbana, como os de coleta de esgoto e drenagem de águas pluviais, acabam por obstruir as tubulações e canaletas destes sistemas, gerando em extravasamentos de esgoto e impossibilidade de escoamento da água de chuva, com consequentes inundações.

Segundo Barros (2012) os locais escolhidos para realização de disposição final de resíduos estão situados em proximidades ou propriamente em corpos hídricos, barrancos, locais erodidos pela ação de chuvas, estradas, terrenos desocupados, entre outros, que acabam servindo de área para bota-fora.

Por fim, apesar de ambientalmente falando ser uma solução para destinação final dos

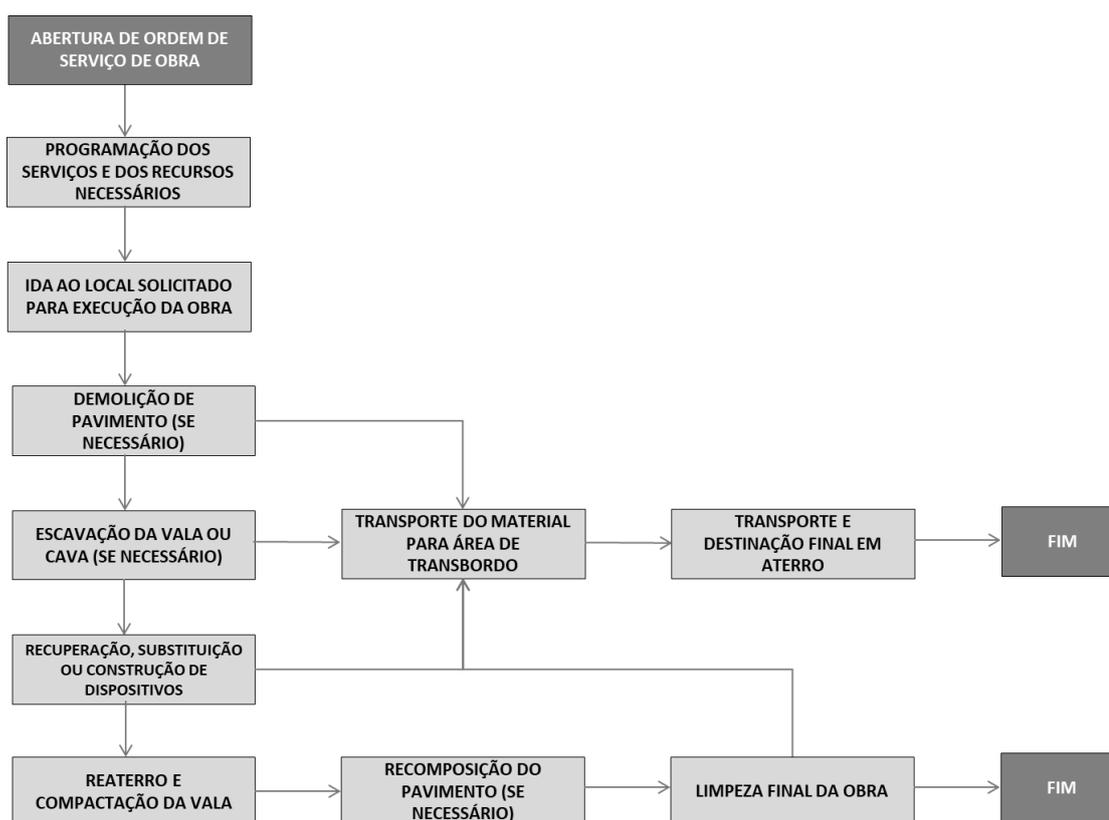
resíduos tida como correta, a destinação em aterros sanitários ainda apresenta aspectos e impactos ambientais negativos, intrinsicamente ligados à diminuição do tempo de vida útil dos aterros sanitários. Sabe-se que os volumes de material de escavação e demolição de pavimentos das obras de esgoto são altos e assim demandam espaços consideráveis para seu confinamento final.

Contudo, tais resíduos possuem alto potencial para reutilização e reciclagem que, se melhor geridos, podem ter seus quantitativos de destinação em aterros sanitários reduzidos, assim como reduzidos os valores pagos com aquisição de novos materiais. De acordo com Coelho e Brito (2013a, tradução nossa) os impactos ambientais relativos às usinas de reciclagem são unicamente referentes à geração de poeiras e ruídos, que podem ser minimizados. Ou seja, não há no processo impactos ambientais significativos. Coelho e Brito (2013b, tradução nossa) ainda afirmam que os impactos ambientais evitados a partir da instalação de uma usina de reciclagem possuem peso muito maior em relação aos impactos gerados a partir da implantação de uma unidade recicladora.

5.1.5 Identificação das rotas tecnológicas existentes

O processo de execução das obras, fator essencial para o entendimento das rotas tecnológicas existentes, pode ser representada na Figura 34:

Figura 35 - Fluxograma do processo de execução de obras em redes e ramais coletores de esgoto.



Fonte: Autor (2019).

As ordens de serviço (OS) relativas às obras podem ser originadas de duas formas: a partir da solicitação da própria população através de sistema de teleatendimento, como também após a realização de serviços corretivos e preventivos nas redes e ramais. De forma geral, serviços como consertos em caixas e poços de visita, assim como novas ligações de esgoto, podem ser solicitados através do usuário via teleatendimento. Os serviços ditos anteriormente, mais os serviços de conserto em tubulações de redes e ramais coletores de esgoto, são gerados a partir da realização de serviços de desobstrução e limpeza preventiva a partir do processo de hidro jateamento das equipes de Manutenção e Operação de Redes.

No caso das OS abertas via teleatendimento, é realizado o processo de diagnóstico em campo, de forma a identificar a real necessidade do serviço, como para também prover os recursos necessários à realização da intervenção. Para as OS provenientes dos processos das equipes de Manutenção e Operação de Redes, as informações de diagnóstico já são previamente enviadas.

Tendo as informações necessárias diagnosticadas, é realizada a programação de execução dos serviços, provendo os equipamentos, materiais e mão de obra necessários. Em seguida a equipe é direcionada para o endereço no qual foi solicitada a realização da obra.

Estando a obra devidamente sinalizada, são iniciados os processos de demolição de pavimento, onde os pavimentos das vias incluindo suas respectivas camadas de base, sub-base e subleito são removidas, assim como os pavimentos localizados das calçadas, em caso de obras localizadas nas mesmas. Em seguida é realizado o processo de escavação da vala ou cava, de forma mecânica ou manual, retirando o solo contaminado com esgoto ou não, de forma a se atingir a profundidade necessária para realização da atividade.

Posteriormente são executados os processos de recuperação, substituição ou construção dos dispositivos (tubulações, caixas de inspeção e poços de visita), onde no caso de substituição ou recuperação há a presença de material contaminado com esgoto, de forma a reestabelecer o bom funcionamento das redes e ramais coletores de esgoto.

Os resíduos gerados na obra, como pavimentos demolidos, solo não reaproveitado e restos de dispositivos, são coletados e transportados (Figura 36).

Figura 36 - Coleta, transporte e transbordo dos resíduos nas obras de redes e ramais coletoras de esgoto. A. Coleta de forma mecanizada e transporte dos resíduos em caminhão basculante. B. Coleta de forma manual e transporte dos resíduos em veículo leve. C. Coleta de forma manual e transporte dos resíduos em caminhão carroceria aberta. C. Área de transbordo de resíduos na ETE Ignez Andreazza.



A



B



C



D

Fonte: BRK Ambiental (2019).

A coleta pode ser feita de forma mecanizada ou manual e o transporte é realizado por caminhões basculantes, veículos leves ou caminhões carroceria aberta de forma misturada, sendo em seguida transportados para as áreas de transbordo, localizadas nas unidades de elevação e tratamento de esgoto, na Região Metropolitana do Recife. Os resíduos da área de transbordo são transportados periodicamente para os aterros sanitários, para que tenha sua devida disposição final como resíduo de Classe II B.

No caso da possibilidade de reaproveitamento do material escavado, após a conclusão do processo de recuperação, substituição ou construção de dispositivos, a vala ou cava é

preenchida e compactada com o material escavado anteriormente. Contudo, nem sempre é possível realizar o aterro desta forma (Figura 37):

Figura 37 - Depósito de material para reaterro de valas e cavas na ETE Ignêz Andreazza. A. Material para reaterro de valas e cavas (pó de pedra). B. Aterro da vala em obra com pó de pedra.



A



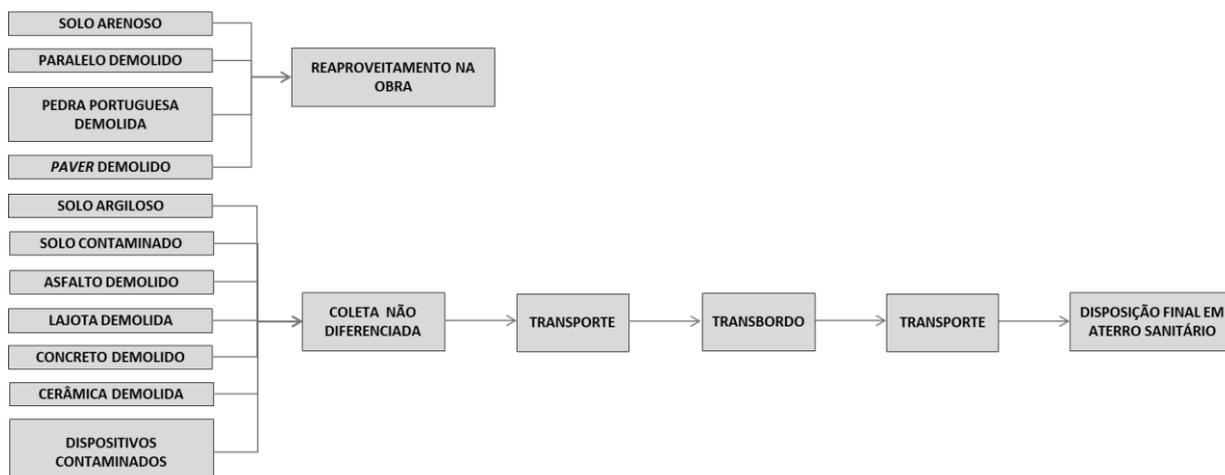
B

Fonte: Autor (2019).

Devido às características do solo local, geralmente argiloso, a vala ou cava é aterrada e compactada com pó de pedra proveniente do almoxarifado, geralmente localizado numa unidade, como por exemplo a ETE Ignêz Andreazza. Após o reaterro da vala ou cava é realizado o processo de reposição do pavimento anteriormente demolido, de forma a reestabelecer as características da pavimentação local. Por fim, é realizada a limpeza final da obra, onde eventuais materiais não coletados das etapas anteriores, são transportados para a área de transbordo.

Com o conhecimento do processo de realização das obras, assim como o processo de gestão dos resíduos gerados durante as etapas de execução, foi elaborado um modelo para a rota tecnológica existente, contando com os processos e tecnologias existentes da geração até a destinação final dos resíduos (Figura 38).

Figura 38 - Rota tecnológica da coleta e destinação final dos resíduos de execução de obras de redes e ramais coletores de esgoto.



Fonte: Autor (2019).

Segundo Oliveira et al (2016) para conhecimento dos processos de gerenciamento de resíduos é preciso se aprofundar na identificação das características qualitativa e quantitativa dos resíduos gerados e tratados, entender o nível de cooperação e educação ambiental no local, assim como aferir os resultados das rotas tecnológicas existentes.

O fluxograma apresentado demonstra que os resíduos de pavimentação e escavação possuem duas rotas tecnológicas bem definidas: reaproveitamento *in loco* e disposição final em aterro sanitário.

Entre os tipos de solo encontrados durante o processo de escavação, o solo do tipo arenoso não contaminado com esgoto é o único com possibilidade de reaproveitamento na obra, sendo usado para a realização de reaterro da vala ou cava. Contudo, em função das características do solo local, esse tipo de solo nem sempre é o mais comumente encontrado.

Em relação aos resíduos de pavimentos que possuem viabilidade de reaproveitamento *in loco*, se tem o paralelo demolido, pedra portuguesa demolido e *paver* demolido. Devido ao fato de no processo de demolição do pavimento não sofrerem grandes alterações físicas em sua estrutura em função de suas características de resistência, principalmente no concerne à forma e tamanho dos materiais para compor o pavimento, os mesmos conseguem ter viabilidade de reaproveitamento nas obras.

O solo argiloso é o tipo de solo mais encontrado durante a realização das obras em redes e ramais coletores da RMR. Em virtude de suas características, sendo considerado um solo colapsível e expansivo, não possuindo em seu estado natural boa capacidade de suporte e resistência, acaba não sendo possível o seu reaproveitamento imediato no reaterro de valas e cavas.

Em muitas obras de conserto de rede ou ramal coletores de esgoto, onde em virtude de a tubulação estar danificada e haver o vazamento de esgoto através da fissura ou danificação, há a ocorrência de solo contaminado com esgoto durante o processo de escavação do solo, que não tem aplicação para o reaterro de valas e cavas.

Os pavimentos do tipo asfáltico, lajota, concreto e cerâmica, diferentemente dos pavimentos do tipo paralelo, pedra portuguesa e *paver*, não mantém a forma de seus componentes construtivos após o processo de demolição, o que impossibilita o reaproveitamento dos mesmos na obra.

Os resíduos gerados no conserto ou substituição de dispositivos das redes e ramais e coletores de esgoto, por terem contato direto com o esgoto, são considerados como resíduos contaminados e, por isso, não possuem viabilidade para reaproveitamento na obra.

Os resíduos que no caminho de sua rota tecnológica têm como disposição final o aterro sanitário, com exceção dos dispositivos e solo contaminados, todos possuem viabilidade para serem beneficiados ou receberem tratamento de forma a serem reaproveitados nas obras de redes e ramais coletores de esgoto, como também em outros segmentos da construção civil.

Contudo, ao traçar as rotas tecnológicas existentes, se vê que o fato de não haver uma segregação dos resíduos de escavação e pavimentação na fonte de geração, já diminui consideravelmente a gama de possibilidades de encaminhamento destes materiais para processos de beneficiamento e tratamento, de forma a reaproveitá-los posteriormente nas obras (Figura 39).

Figura 39 - Exemplo de obra onde não há a segregação dos materiais, com o processo de reaterro sendo realizado com pó de pedra.



Fonte: Autor (2019).

Atrelado à situação da não segregação, há um fator muito mais preocupante, que acaba por inviabilizar não só parte das possibilidades de beneficiamento, tratamento e o consequente reaproveitamento dos resíduos, mas sim acarretando na inutilização de todo o material para fins de reciclagem. A junção de resíduos contaminados com esgoto com resíduos não contaminados durante o processo de coleta não diferenciada em caminhão basculante,

inviabiliza a definição de rotas tecnológicas distintas à da disposição final em aterro sanitário, uma vez que misturados aos resíduos contaminados, os demais passam a dispor das mesmas características, inviáveis aos processos de reciclagem.

Morais e Colesanti (2014) preconizam que para criação de rotas tecnológicas para reciclagem dos resíduos, se faz necessário que os mesmos tenham coleta diferenciada, assim como não sejam aterrados, ou seja, estejam disponíveis e em condições favoráveis à realização dos processos de reciclagem.

5.2 Indicadores

Para Angulo et al (2011) a quantificação precisa da geração de resíduos de construção civil sempre foi um desafio e tema relevante a ser investigado. Geralmente, na elaboração de índices para geração de resíduos de construção e demolição em obras verticais são usados parâmetros de área (m²), diferenciando-se dos parâmetros utilizados para as obras de redes de coleta de esgoto.

Os indicadores foram essenciais para o desenvolvimento do trabalho, uma vez que forneceram dados que subsidiaram o processo de escolha de alternativas tecnológicas para beneficiamento dos resíduos. Ainda assim, trouxeram informações úteis para os gestores da área, quando se fizer necessária a realização de estimativa do quantitativo de obras operacionais, assim como dos resíduos gerados nas obras dos novos Sistemas de Esgotamento Sanitário, conforme resultados apresentados a seguir.

5.2.1 Indicadores gerais

Os resultados dos indicadores apresentados na Tabela 11 denominados indicadores gerais, têm o objetivo de trazer um panorama geral em relação à quantidade de obras operacionais por tipo e grupo, como também em função de características do Sistema de Esgotamento Sanitário, tais como: quilômetros de rede coletora de esgoto operada, quantidade de poços de visita operados e quantidade de ligações de esgoto.

Tabela 11 - Percentual de obras realizadas por tipo de serviço e grupo.

Tipo de obra	Grupo	(%) obra	(%) grupo
Recuperação de caixa de inspeção em 50% de sua estrutura.	Caixa de inspeção	40,30%	58,33%
Recuperação de caixa de inspeção em 20% de sua estrutura.		13,02%	
Construção de caixa de inspeção em 100% de sua estrutura.		3,13%	
Recuperação de caixa de inspeção em 100% de sua estrutura.		2,85%	
Recuperação de poço de visita em 20% de sua estrutura.	Poço de visita	31,42%	31,99%
Recuperação de poço de visita em 50% de sua estrutura.		0,53%	
Recuperação de poço de visita em 100% de sua estrutura.		0,39%	
Construção de poço de visita em 100% de sua estrutura.		0,18%	
Ramal de esgoto DN 150 mm.	Tubulação de ramal	4,00%	6,06%
Ramal de esgoto DN 100 mm.		2,07%	
Ramal de esgoto DN 200 mm.		0,09%	
Rede de esgoto DN 150 mm.	Tubulação de rede	1,43%	1,97%
Rede de esgoto DN 200 mm.		0,21%	
Rede de esgoto DN 100 mm.		0,12%	
Rede de esgoto DN 600 mm.		0,09%	
Rede de esgoto DN 450 mm.		0,07%	
Rede de esgoto DN 350 mm.		0,05%	
Rede de esgoto DN 300 mm.		0,02%	
Rede de esgoto DN 400 mm.		0,02%	
Recuperação de TIL em 20% de sua estrutura.	TIL	0,92%	1,65%
Recuperação de TIL em 100% de sua estrutura.		0,76%	

Fonte: Autor (2019).

Diversos são os tipos de obras executadas em relação aos componentes das redes e ramais coletores de esgoto. Os tipos de obras mais recorrentes são: recuperação de caixa de inspeção em até 50% de sua estrutura, recuperação de poço de visita em até 20% de sua estrutura e recuperação de caixa de inspeção em 30% de sua estrutura, representando 39,64%, 30,90% e 12,81% do total de obras realizadas que, se somados, representam 83,35% do total.

Esses tipos de obras estão ligados a uma necessidade de recuperação da estrutura do dispositivo, seja caixa de inspeção ou poço de visita, face à deterioração de seus constituintes, como anéis, caixilhos, tampas, calhas e almofadas. Ainda assim, vale destacar que esses tipos de dispositivos sofrem da ação direta do mau uso por parte da população, seja por atos de vandalismo e furtos, como também por em locais com ausência de sistema de drenagem de águas pluviais, tais dispositivos são danificados de forma a possibilitarem o escoamento da água de chuva.

Em relação aos grupos, se tem que a caixa de inspeção e o poço de visita são os dispositivos das redes e ramais coletores de esgoto em que são realizados os maiores quantitativos de obras, com 58,33% e 31,99% do total, respectivamente. Como dito anteriormente, estes dispositivos são mais expostos, sendo deteriorados em função do mau

uso por parte da população e assim obtendo os maiores quantitativos.

As tubulações de ramal e rede coletora de esgoto com 6,06% e 1,97% do total de obras, na devida ordem, apresentam baixos quantitativos por serem dispositivos não tão fáceis de serem deteriorados e que para diagnóstico da necessidade de obra é necessária a realização de filmagem da tubulação internamente ou detecção através da mangueira de hidro jateamento. Em relação às obras em Terminais de Inspeção e Limpeza, o TIL, com representação de 1,65% do total de obras, o baixo valor se dá em virtude de que caracteristicamente o local de estudo não possui grandes quantidade desses dispositivos implantados, sendo mais comum o uso de caixas de inspeção e poços de visita convencionais.

A Tabela 12 traz indicadores que possibilitarão a estimativa das obras em virtude de características dos SES conhecidas previamente:

Tabela 12 - Indicadores gerais para estimativa do quantitativo de obras operacionais em um SES.

Indicador	Unidade	Resultado
Obras por quilômetro de rede cadastrada	un/km	0,650
Obras por poço de visita cadastrado	un/un	0,018
Obras por ligações de esgoto	un/un	0,006

Fonte: Autor (2019).

O indicador calculado para as obras operacionais em função da quantidade de quilômetros de rede coletora de esgoto operados obteve o valor médio de 0,65 obras para cada quilômetro de rede operada (un/Km).

Considerando a quantidade de poços de visita existentes nos SES estudados, o indicador de obras por poço de visita demonstra que se tem uma média de 0,018 obras para cada poço de visita operado (un/un).

Avaliando o número de ligações de esgoto, considerando apenas as ligações em áreas de SES existente (factível faturável, ligado fora de uso, ligado e tamponado), o indicador de obras por ligações de esgoto apresentou um dado médio de 0,006 obras para cada ligação de esgoto (un/un).

Como o período de levantamento de dados foi de 8 (oito) meses, não é possível

perceber nesse período grandes alterações nos dados de rede operada, poços de visita e ligações de esgoto, a não ser que haja o recebimento ou término de implantação de grandes SES, o que não ocorreu durante esse período.

Isto posto, para esse estudo, se vê que a variação se dá de forma mais acentuada em função do número de obras realizadas no mês. Como exemplo, há os meses de abril e agosto, onde houve o menor e maior quantitativo de obras, nessa ordem, refletindo nos resultados de todos os indicadores apresentados, que seguiram a mesma tendência do quantitativo de obras.

5.2.2 Indicadores de geração de resíduos

De forma a subsidiar a realização de cálculos estimativos de geração de resíduos provenientes de obras de Sistemas de Esgotamento Sanitário, foram calculados diversos indicadores (Tabela 13):

Tabela 13 - Indicadores gerais para estimativa da geração de resíduos em função de características de um SES.

Indicador	Unidade	Resultado
Geração de resíduos por Km de rede cadastrada	t/Km	0,403
Geração de resíduos por poço de visita cadastrado	t/un	0,011
Geração de resíduos por ligação de esgoto	t/un	0,003
Geração de resíduos <i>per capita</i>	Kg/hab./dia	0,040
Geração de resíduos por quantidade total de obras	t/un	0,620

Fonte: Autor (2019).

Para que seja possível identificar as tecnologias adequadas ao beneficiamento dos resíduos de demolição e escavação ou prover recursos financeiros necessários para os processos de transporte e destinação destes resíduos, se faz necessário identificar o quantitativo de resíduos a serem gerados nas obras.

Levando em conta o número de rede coletora de esgoto cadastrada nos SES estudados, se obteve o resultado de que para cada quilômetro de rede, se tem uma geração de 0,403

toneladas de resíduos provenientes das obras.

Considerando as unidades de poços de visita existentes no SES, foi possível perceber que para cada PV há uma geração de 0,011 toneladas de resíduos de escavação e demolição.

As ligações de esgoto, quando tidas como parâmetro à geração de resíduos, demonstram que para cada unidade de ligação de esgoto é possível obter um valor de 0,003 toneladas de resíduos gerados. Foi visto também que a contribuição de resíduos por habitante por dia é de 0,04 quilogramas.

A razão do quantitativo de resíduos gerados em toneladas e o número total de obras realizadas corrobora para um valor de 0,62 toneladas de resíduos para cada obra executada.

Os resultados apresentados no Tabela 14 trazem valores correlatos aos custos com transporte e destinação de resíduos em funções de características conhecidas de um SES:

Tabela 14 - Indicadores gerais para estimativa do custo com transporte e destinação de resíduos em função de características de um SES.

Indicador	Unidade	Resultado
Custo com transporte e destinação de resíduos por Km de rede cadastrada	R\$/Km	28,13
Custo com transporte e destinação de resíduos por poço de visita cadastrado	R\$/un	0,76
Custo com transporte e destinação de resíduos por ligação de esgoto	R\$/un	0,24
Custo com transporte e destinação de resíduos por habitante	R\$/hab.	0,07
Custo com transporte e destinação de resíduos por obra	R\$/un	43,10

Fonte: Autor (2019).

Usando os quantitativos das redes coletoras de esgoto cadastradas e operadas, ou seja, passíveis de serviços de operação e manutenção, foi visto que para cada quilômetro de rede de esgoto cadastrada, se tem um custo de R\$ 28,13 com destinação e transporte de resíduos.

Os poços de visita sendo levados como parâmetro para uma estimativa de custos com

gerenciamento resíduos, no que concerne ao transporte e destinação, resulta em resultado do indicador que demonstra que para cada poço de visita cadastrado se tem um custo de R\$ 0,76.

As ligações de esgoto podem ser usadas como parâmetro para estimativa de custo com gerenciamento dos resíduos gerados. O indicador demonstra que para cada ligação de esgoto em área de SES existente, há um custo com transporte e destinação equivalente a R\$ 0,24 para cada ligação. Fazendo uma correlação com o quantitativo de habitantes, se vê que o custo com destinação e transporte é de R\$ 0,07 para cada indivíduo atendido pelo Sistema de Esgotamento Sanitário.

Ainda assim, as obras de uma forma geral, sem terem suas especificidades levadas em consideração, ou seja, considerando apenas o quantitativo total de obras, há um custo de R\$ 43,10 com disposição final e locomoção dos resíduos até o aterro sanitário para cada obra executada.

Ao passo em que não há o reaproveitamento dos resíduos demolidos e/ou escavados, é indispensável a aquisição de novos materiais para reposição dos materiais descartados. Os resultados dos indicadores da Tabela 15 demonstram a afirmação:

Tabela 15 - Indicadores gerais para estimativa do custo com aquisição de novos insumos para reaterro e base de pavimentação em função de características de um SES.

Indicador	Unidade	Média
Custo com aquisição de novos insumos para reaterro e base de pavimentação por Km de rede cadastrada	R\$/Km	19,30
Custo com aquisição de novos insumos para reaterro e base de pavimentação por poço de visita cadastrada	R\$/un	0,52
Custo com aquisição de novos insumos para reaterro e base de pavimentação por ligação de esgoto	R\$/un	0,16
Custo com aquisição de novos insumos para reaterro e base de pavimentação por habitante	R\$/hab.	0,05
Custo com aquisição de novos insumos para reaterro e base de pavimentação por obra	R\$/un	29,58

Fonte: Autor (2019).

O custo com aquisição de novos materiais em função do quantitativo de redes de

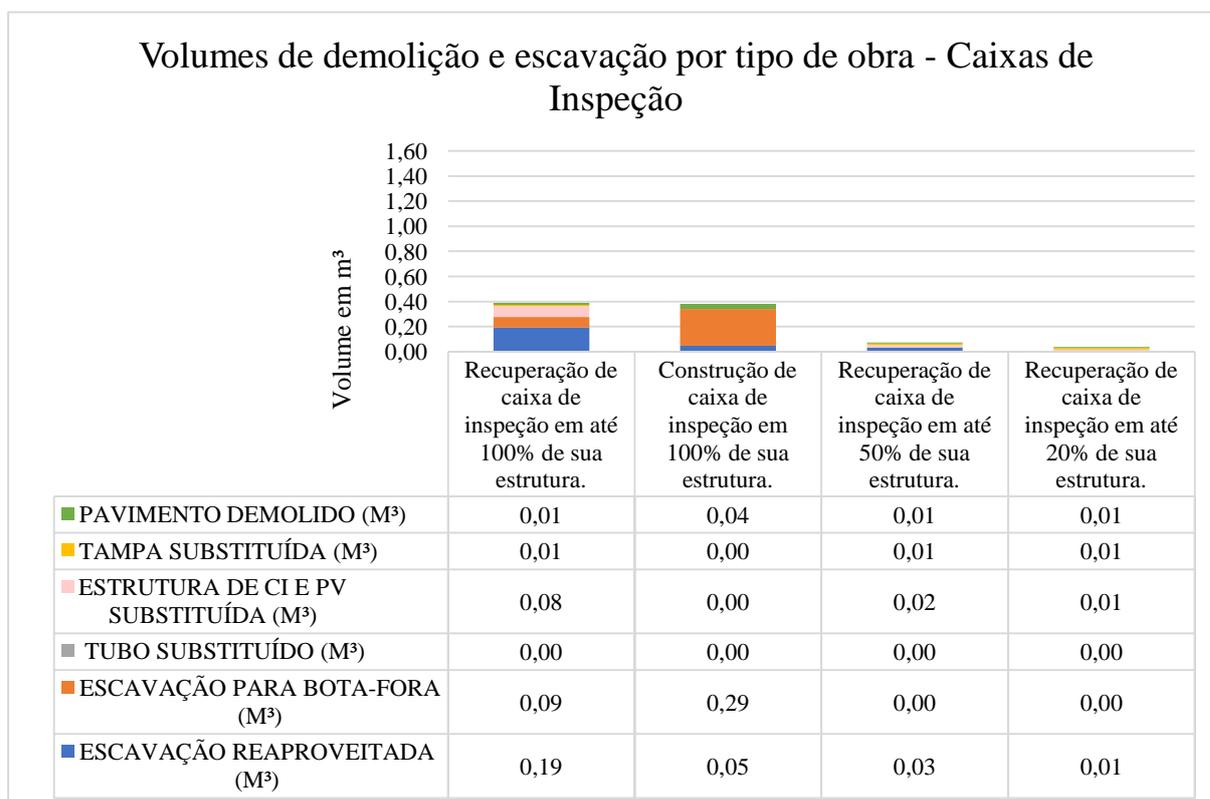
esgoto cadastradas é de R\$ 19,30 para quilômetro de rede. Já em relação aos poços de visita, se tem que para cada unidade de PV há um custo de R\$ 0,52 com aquisição de novos materiais.

Em função do número de ligações de esgoto, o valor obtido foi de R\$ 0,16 de gastos para adquirir materiais em reposição aos descartados para cada unidade de ligação. Tratando-se do número de habitantes, se tem que para cada habitante o custo é de R\$ 0,05 para cada indivíduo.

Os novos materiais que servirão para repor os materiais anteriormente descartados serão aplicados no reaterro ou base para pavimentação das obras. Desta forma, se viu que rateando o custo total com novos materiais para cada unidade, há um custo de R\$ 29,58 para cada obra.

A apresentação dos indicadores de geração de resíduos por tipo de obra não retrata o perfil de uma única obra, mas sim reúne os atributos da totalidade de obras que formam o conjunto do tipo específico ao qual foram classificadas. Foram consideradas todas as características levantadas no processo de qualificação, proporcionando um panorama geral em termos quantitativos (com base em valores médios) de geração de resíduos por especificidade de obra. O resultado para as caixas de inspeção pode ser exposto no Gráfico 7:

Gráfico 7 - Estratificação dos volumes de demolição e escavação das obras em caixas de inspeção.



Fonte: Autor (2019).

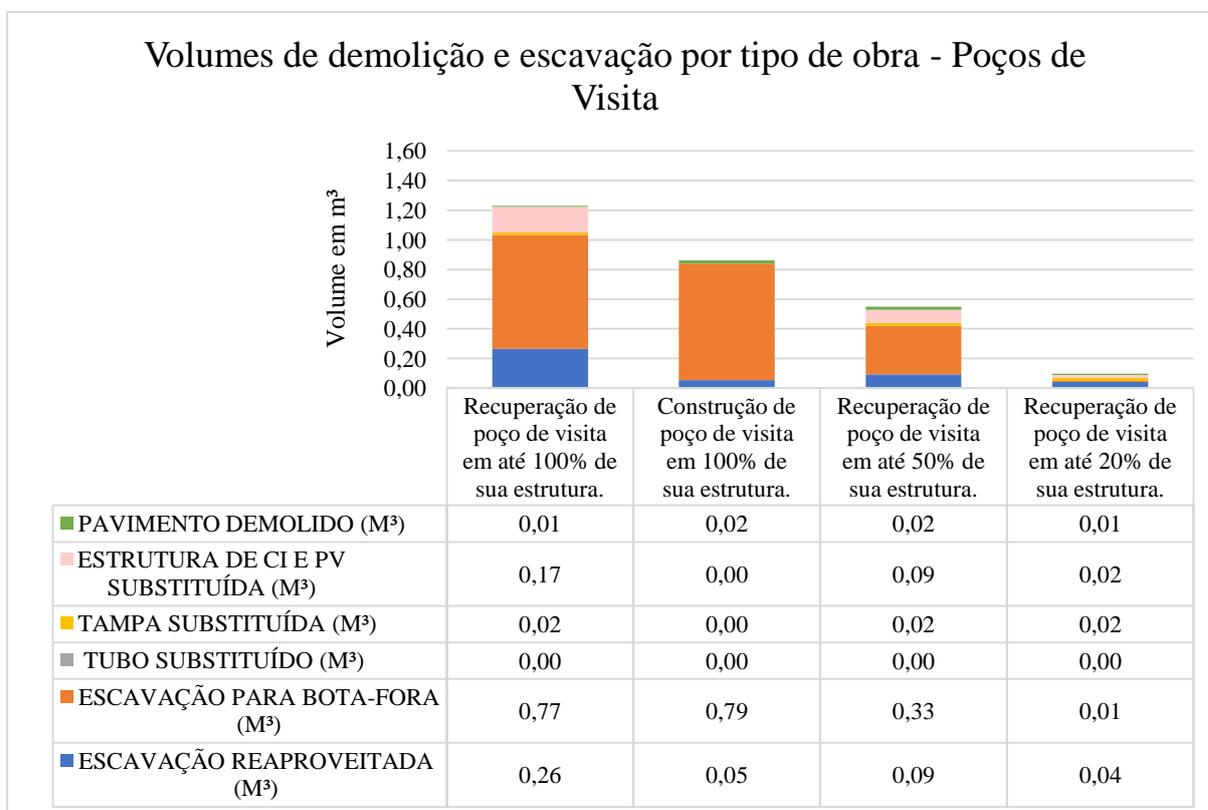
A obra do tipo recuperação de caixa de inspeção em até 100% de sua estrutura tem a característica de apresentar em seu volume de escavação e demolição material contaminado com esgoto, caracterizado por partes estruturais da caixa de inspeção, como paredes em alvenaria e anéis em concreto, que são substituídas por uma nova estrutura. Possui menor volume de escavação para bora fora em relação à caixa de inspeção construída e maior volume de escavação reaproveitada. Atualmente 51% do material escavado e demolido desse tipo de obra é destinado em aterro sanitário.

Os serviços do tipo construção de caixa de inspeção em 100% de sua estrutura são caracterizados por grandes volumes de material de escavação não reaproveitados. Por se tratar da construção e não de uma recuperação, é necessário realizar a disposição do material que ocupava anteriormente o espaço em que será construída a CI. Neste tipo de obra não há a geração de resíduos contaminados com esgoto, como partes estruturais de caixas existentes, havendo ainda um quantitativo referente à demolição do pavimento e material de escavação reaproveitado. O quantitativo de material de escavação e demolição que acaba sendo destinado em aterro sanitário representa 87% do todo.

Os serviços de recuperação das caixas de inspeção em até 50% e 20% de sua estrutura são bem parecidos em termos de resíduos gerados, onde todo o material escavado consegue ser reaproveitado, em face ao seu baixo volume. As recuperações em até 20% ou 50% contemplam essencialmente a troca da tampa ou o conserto do quadrilátero da caixa, gerando baixos quantitativos de resíduos do tipo pavimento demolido, material de escavação reaproveitado, tampa e partes estruturais. Quantitativamente representam os tipos de obras que detêm os menores valores de geração de resíduos, enquanto que os resíduos destinados para aterro ao final dessas obras representam 79% e 56% do valor total, para as obras de recuperação em 20% e 50%, nessa ordem.

Abaixo estão estratificados os valores de geração de resíduos para as obras realizadas em poços de visita (Gráfico 8):

Gráfico 8 - Estratificação dos volumes de demolição e escavação das obras em poços de visita.



Fonte: Autor (2019).

A obra do tipo recuperação de poço de visita em até 100% de sua estrutura é que apresenta o maior quantitativo de material escavado e demolido, assim como material a ser destinado em aterro sanitário. O que diferencia esse tipo de serviço do relativo à construção em 100% de sua estrutura é o fato de na obra do tipo recuperação haver a demolição de material estrutural do poço de visita, assim como, em alguns casos, a necessidade de troca de tampa.

Muitos dos poços de visita existentes possuem grandes profundidades, onde para realização do processo de recuperação se faz necessária a realização de escavação de grandes volumes de terra no entorno do PV, de forma a proporcionar condições adequadas e de segurança ao trabalhador que executará a recuperação. Ao final das obras de recuperação em 100% e construção em 100% da estrutura do poço, foi visto que 79% e 94% do material escavado e demolido acaba sendo destinado em aterro sanitário, respectivamente.

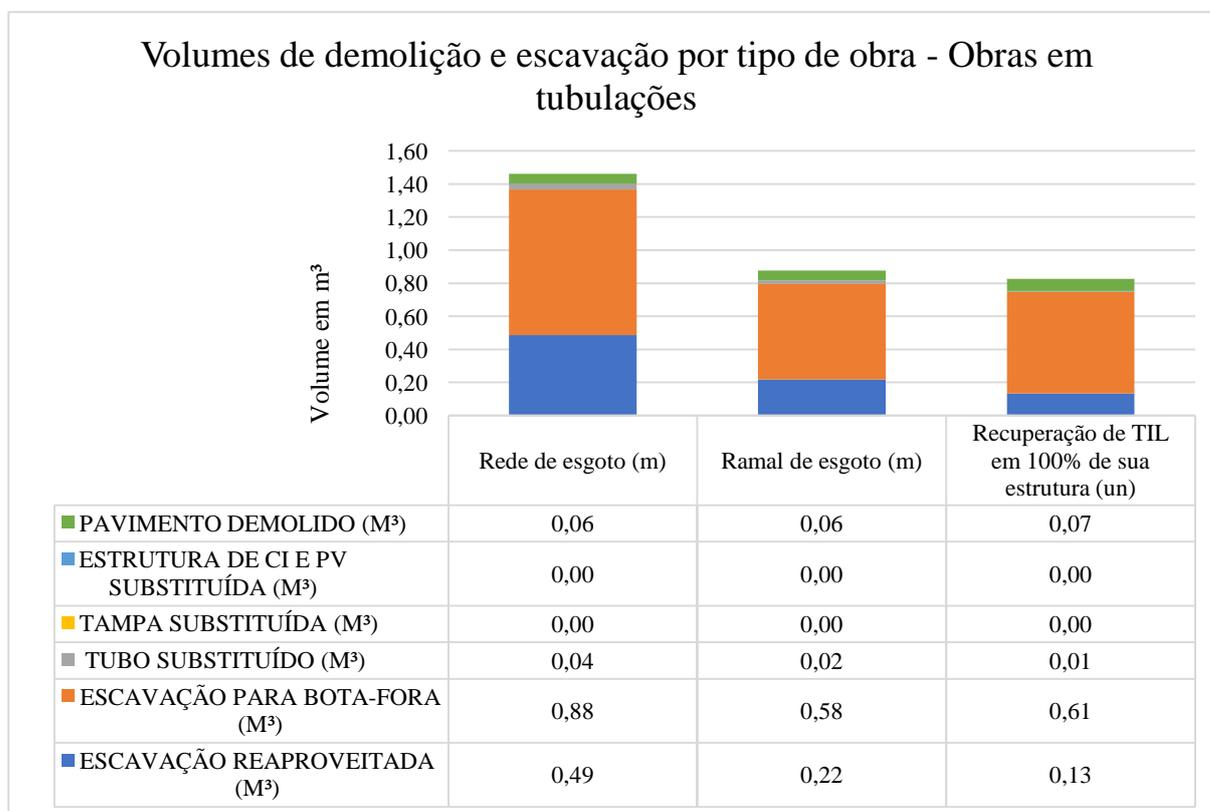
Ainda assim, é importante ressaltar a relevância em se avaliar as larguras em que são

escavadas as obras de recuperação de poço de visita em 100% de sua estrutura, visando constatar a real necessidade das mesmas. Esse fator é importante tendo em vista que pode ser um aspecto fundamental à redução de resíduos, caso seja comprovada a não necessidade das larguras apresentadas. Para Barros (2012) um dos conceitos fundamentais para a minimização da geração dos resíduos sólidos, está na redução de sua produção na fonte de geração.

As recuperações em poço de visita em 50% de sua estrutura apresentam volumes de escavação consideráveis se comparadas à recuperação em 20%. A recuperação em 20%, por sua vez, tem a característica de um serviço especificamente ligado à troca de tampa do poço de visita, com recuperação no quadrilátero e, por isso, apresentando baixos volumes de escavação. No estudo foi possível perceber que para a recuperação em 50% há a destinação para aterro de 83% do material demolido e escavado, enquanto que para a recuperação em 20% o percentual de envio de material não reaproveitado em relação a todo o material escavado e demolido é de 58%.

A estratificação dos volumes de demolição e escavação das obras envolvendo a construção ou recuperação de tubulações pode ser apresentada a seguir (Gráfico 9):

Gráfico 9 - Estratificação dos volumes de demolição e escavação das obras em tubulações.



Fonte: Autor (2019).

Para realização de conserto ou implantação de uma rede coletora de esgoto pode ser necessária a realização de grandes volumes de escavação, seja em virtude da profundidade na qual a tubulação se encontra ou devido à profundidade prevista em projeto. Tais obras têm seus resíduos compostos por basicamente material de demolição de pavimento (quando existente), material de escavação e se tratando de um conserto é gerado material proveniente de tubulações substituídas. Os materiais de escavação e demolição de pavimento podem sofrer grande aumento quando se tratar de uma obra de recuperação, pois nem sempre se tem um cadastro de rede fidedigno à realidade, sendo necessário escavar larguras e extensões de vala maiores que o necessário, de forma a encontrar a parte danificada da tubulação.

As obras em redes coletoras de esgoto apresentam um percentual de 67% de material não reaproveitado que acaba sendo destinado em aterro sanitário. Um dos pontos que contribuem para a grande quantidade de material escavado não reaproveitado é a característica do solo local, que em sua grande parte é do tipo argiloso, caracteristicamente colapsíveis, não proporcionando a resistência adequada para serem reutilizados no aterro da vala, sendo assim descartados.

Os indicadores demonstram que para os serviços realizados em ramais coletores de esgoto, se tem os mesmos resíduos gerados nas obras de redes de esgoto, havendo uma diferença apenas nos tipos de pavimento demolidos. Essas obras possuem profundidades comumente menores que as das redes coletoras de esgoto, refletindo assim em menores quantitativos de material escavado. O percentual de material não reaproveitado nessas obras é de 75% do total escavado e demolido.

Os Terminais de Limpeza e Inspeção (TIL), representados nas obras de recuperação de TIL em 100% de sua estrutura possuem características de geração de resíduos muito parecidas com as das construções de poço de visita em 100% de sua estrutura. Por serem estruturas de porte diferentes, teoricamente não deveriam ter os mesmos quantitativos de demolição e escavação. Contudo, em virtude de grandes extensões e larguras para realização das obras de recuperação de TIL, percebe-se que há a geração do quantitativo equivalente ao dos poços de visita. Em relação ao que é destinado para aterro, se vê que 84% e todo o material tem esse destino.

5.2.3 Projeção da geração de resíduos para as fases atual e final do projeto

Foi possível estimar os valores da fase atual e final de operação do projeto como um todo no que diz respeito ao quantitativo de obras, geração de resíduos e custos inerentes,

conforme resultados da Tabela 16.

Tabela 16 - Projeção atual e para final de projeto da geração de resíduos de demolição e escavação das obras operacionais.

Ano	Material escavado e demolido (t)		Material Reaproveitado (t)		Material Bota-fora (t)	
	Ano	Mês	Ano	Mês	Ano	Mês
2018	8205,45	683,79	2551,57	212,63	5653,89	471,16
2019	8246,81	687,23	2564,43	213,70	5682,38	473,53
2020	8288,17	690,68	2577,29	214,77	5710,88	475,91
2021	8329,53	694,13	2590,15	215,85	5739,38	478,28
2022	8370,88	697,57	2603,01	216,92	5767,87	480,66
2023	8412,24	701,02	2615,87	217,99	5796,37	483,03
2024	8453,60	704,47	2628,73	219,06	5824,87	485,41
2025	8494,96	707,91	2641,59	220,13	5853,37	487,78
2026	8536,31	711,36	2654,45	221,20	5881,86	490,16
2027	8577,67	714,81	2667,31	222,28	5910,36	492,53
2028	8619,03	718,25	2680,17	223,35	5938,86	494,90
2029	8660,39	721,70	2693,03	224,42	5967,35	497,28
2030	8701,74	725,15	2705,89	225,49	5995,85	499,65
2031	8743,10	728,59	2718,75	226,56	6024,35	502,03
2032	8784,46	732,04	2731,61	227,63	6052,84	504,40
2033	8825,82	735,48	2744,48	228,71	6081,34	506,78
2034	8867,17	738,93	2757,34	229,78	6109,84	509,15
2035	8908,53	742,38	2770,20	230,85	6138,34	511,53
2036	8949,89	745,82	2783,06	231,92	6166,83	513,90
2037	8991,25	749,27	2795,92	232,99	6195,33	516,28
2038	8991,25	749,27	2795,92	232,99	6195,33	516,28
2039	8991,25	749,27	2795,92	232,99	6195,33	516,28
2040	8991,25	749,27	2795,92	232,99	6195,33	516,28
2041	8991,25	749,27	2795,92	232,99	6195,33	516,28
2042	8991,25	749,27	2795,92	232,99	6195,33	516,28
2043	8991,25	749,27	2795,92	232,99	6195,33	516,28
2044	8991,25	749,27	2795,92	232,99	6195,33	516,28
2045	8991,25	749,27	2795,92	232,99	6195,33	516,28
2046	8991,25	749,27	2795,92	232,99	6195,33	516,28
2047	8991,25	749,27	2795,92	232,99	6195,33	516,28
2048	8991,25	749,27	2795,92	232,99	6195,33	516,28

Fonte: Autor (2019).

Para a fase atual do projeto, correspondente ao ano de 2018, se obteve um resultado de 683,79 toneladas por mês de resíduos advindos dos processos de escavação e demolição, enquanto que o valor acumulado para ano é de 8205,45 toneladas. Mensalmente, 212,63 toneladas desses resíduos conseguem ter um reaproveitamento nas obras, enquanto que 471,16 toneladas são destinadas em aterro sanitário. O valor anual apresenta um quantitativo de 2,5 mil toneladas de material reaproveitado, enquanto 5,6 mil toneladas não conseguem ter

uma destinação que possibilite a sua reutilização, sendo direcionados aos aterros sanitários.

Vê-se que do ano de 2018 até o ano de 2037 haverá um aumento no número de obras, referente às obras que passarão a surgir em virtude da implantação e/ou recebimento de novas redes coletoras de esgoto, cumprindo o prazo de 24 anos (início em 2013) para universalização dos serviços de esgotamento sanitário, ao qual o projeto se propõe. Após o ano de 2037 não haverá implantação de novos SES, onde até o ano de 2048 haverá apenas a operação dos sistemas existentes sem o acréscimo de novos, até o contrato ser finalizado.

Desta forma, a partir do ano de 2037, quando o SES estiver universalizado, anualmente haverá a geração de 6,2 mil toneladas de resíduos de escavação e demolição sendo destinados em aterros, enquanto que o valor mensal passa a ser de 516,28 toneladas. Segundo Dosal et al (2012, tradução nossa) a estimativa do quantitativo gerado de resíduos de construção e demolição, tem importância para as devidas análises de viabilidade e competitividade da unidade recicladora, uma vez que os equipamentos necessitarão de um quantitativo mínimo de matéria-prima para reciclagem.

Ao final do projeto, especificamente no ano de 2048, haverá um valor acumulado de aproximadamente 186 mil toneladas de RCD direcionados aos aterros sanitários. Das 186 mil toneladas de RCD, 13 mil corresponde aos resíduos de partes estruturais de componentes de inspeção (PV e CI), 10 mil é referente às tampas substituídas e 352 toneladas de tubos trocados. Tais materiais não possuem viabilidade para reaproveitamento em função da contaminação com esgoto.

Entretanto, os resíduos de escavação e de demolição de pavimentação, que podem apresentar viabilidade para o seu reaproveitamento após a realização de processos beneficiamento ou tratamento, representam aproximadamente 87% de todo o material a ser descartado, com respectivamente 141 mil e 21 mil toneladas geradas ao final do projeto.

A Tabela 17 apresenta os resultados concernentes aos custos com gerenciamento de resíduos e aquisição de novos insumos para as fases atual e de final de projeto:

Tabela 17 - Projeção atual e para final de projeto dos custos inerentes à geração de resíduos de demolição e escavação das obras operacionais.

Ano	Custo com transporte e destinação de resíduos (R\$)		Custo com aquisição de novos insumos para reaterro e base de pavimentação (R\$)	
	Ano	Mês	Ano	Mês
2018	572955,84	47746,32	393175,98	32764,66
2019	575843,68	47986,97	395157,68	32929,81
2020	578731,52	48227,63	397139,39	33094,95
2021	581619,36	48468,28	399121,09	33260,09
2022	584507,20	48708,93	401102,79	33425,23
2023	587395,04	48949,59	403084,50	33590,37
2024	590282,88	49190,24	405066,20	33755,52
2025	593170,72	49430,89	407047,90	33920,66
2026	596058,55	49671,55	409029,61	34085,80
2027	598946,39	49912,20	411011,31	34250,94
2028	601834,23	50152,85	412993,02	34416,08
2029	604722,07	50393,51	414974,72	34581,23
2030	607609,91	50634,16	416956,42	34746,37
2031	610497,75	50874,81	418938,13	34911,51
2032	613385,59	51115,47	420919,83	35076,65
2033	616273,43	51356,12	422901,54	35241,79
2034	619161,27	51596,77	424883,24	35406,94
2035	622049,10	51837,43	426864,94	35572,08
2036	624936,94	52078,08	428846,65	35737,22
2037	627824,78	52318,73	430828,35	35902,36
2038	627824,78	52318,73	430828,35	35902,36
2039	627824,78	52318,73	430828,35	35902,36
2040	627824,78	52318,73	430828,35	35902,36
2041	627824,78	52318,73	430828,35	35902,36
2042	627824,78	52318,73	430828,35	35902,36
2043	627824,78	52318,73	430828,35	35902,36
2044	627824,78	52318,73	430828,35	35902,36
2045	627824,78	52318,73	430828,35	35902,36
2046	627824,78	52318,73	430828,35	35902,36
2047	627824,78	52318,73	430828,35	35902,36
2048	627824,78	52318,73	430828,35	35902,36

Fonte: Autor (2019).

Sabe-se que tocante à geração dos RCD das obras operacionais nas redes coletoras de esgoto há a ocorrência de custos, seja para destinar adequadamente os resíduos, como também para reposição dos mesmos nas obras.

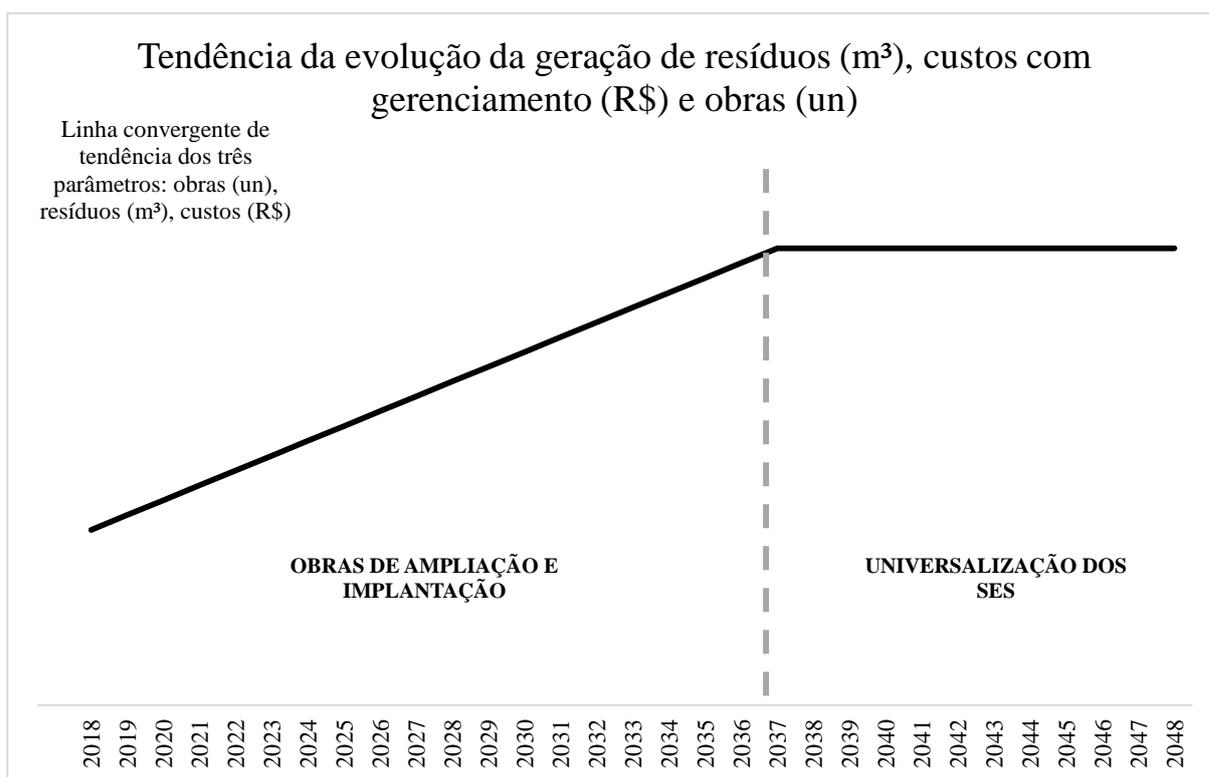
A estimativa de custo mensal para a fase atual (2018) é de R\$ 47 mil concernente ao transporte e destinação, somado a R\$ 32 mil provenientes da aquisição de novos materiais. A

projeção para o ano de 2018 é de um custo anual de aproximadamente R\$ 573 mil para encaminhar os resíduos até um aterro sanitário para o devido tratamento, enquanto que os novos insumos, necessários à reposição dos resíduos anteriormente descartados, chega a um valor estimado de R\$ 393 mil.

Os custos, por sua vez, seguem a mesma tendência dos quantitativos de resíduos gerados. Ao passo que são implantados ou recebidos novos SES, há o incremento de custo com os resíduos das obras operacionais a serem realizadas nos sistemas recém operados. Sendo assim, até 2037 haverá uma tendência de crescimento dos custos inerentes aos RCD, ano em que serão finalizadas as obras para universalização dos SES.

Ao final dos estudos de projeção, se pôde obter uma tendência evolutiva dos custos, obras e resíduos ao longo do projeto, se mantidas as características atuais de gestão dos resíduos de construção e demolição das obras de redes e ramais coletores de esgoto (Figura 40):

Figura 40 - Tendência evolutiva dos custos, obras e resíduos.



Fonte: Autor (2019).

No ano de 2048 o contrato será finalizado, sendo estimado através da projeção que, do início do estudo (2018) até o final da concessão, tenham sido gastos aproximadamente R\$ 19 milhões com transporte e destinação, acrescido de R\$ 13 milhões com a aquisição de matéria

prima a ser incorporada às obras. Desta forma, se vê que ao final da concessão terão sido gastos aproximadamente R\$ 32 milhões, o equivalente a US\$ 7,68 milhões.

5.2.4 *Dashboard*

O *dashboard*, painel visual que dispõe de maneira sistemática um conjunto informações, como indicadores e afins, permitiu que com a simples inserção de dados de entrada: quantidade de rede coletora de esgoto operada; número de poço de visita operado; número ligações de esgoto; fosse realizado o dimensionamento do quantitativo de obras a serem realizadas, assim como a definição de suas especificidades.

A geração de resíduos das obras de redes e ramais coletores de esgoto, assim como seus custos com gerenciamento (disposição final e transporte) puderam ser calculados em função de dados como: quantidade de rede coletora de esgoto operada; número de poço de visita operado; número ligações de esgoto; número total de obras. Ainda assim, com a utilização dos mesmos dados imputados para geração e gerenciamento, foi possível calcular os custos com aquisição de novos materiais em substituição àqueles escavados ou demolidos.

A partir do *dashboard*, os gestores terão acesso às informações preliminares mais importantes e necessárias à gestão dos resíduos de escavação e demolição das obras de redes e ramais coletores de esgoto. As informações foram dispostas de forma consolidada no *dashboard*, permitindo a visualização geral do cenário da geração de resíduos para rede coletoras e ramais, operados, ainda não implantados ou a serem operados.

A criação do *dashboard* foi uma forma de promover uma informação estruturada a respeito da geração resíduos de obras de redes em um SES. Ainda assim, pode servir como ferramenta auxiliar na tomada de decisão de gestores da área, de forma que os mesmos possam vir a ter conhecimento dos tipos de resíduos que essas obras podem gerar, assim como prover os recursos necessários para atuar nos princípios de redução, reutilização e reciclagem.

5.3 Proposição de rotas tecnológicas

As rotas tecnológicas para tratamento ou beneficiamento de resíduos são conhecidas por determinarem um conjunto de técnicas e/ou processos, cujas viabilidades técnica, econômica, ambiental e social precisam estar em sintonia e serem muito bem avaliadas, para que não haja prejuízos significativos para um aspecto em detrimento de outro.

Morais e Colesanti (2014) indicam que é preciso seguir uma linha de proposição e adoção de rotas tecnológicas que visem o reaproveitamento dos resíduos sólidos urbanos. Se faz necessário explorar o potencial que estes resíduos possuem em serem transformados e usados como matéria prima, assim como serem um fator minimizador de impactos ao meio ambiente e de bem social.

Desta forma, as rotas tecnológicas apresentadas representam apenas uma seleção preliminar, de uma solução para tratamento ou melhoria do processo de gerenciamento dos resíduos identificados nas obras, subsidiada pelo referencial teórico, se fazendo necessária a realização de estudos mais aprofundados no que tange à confirmação das viabilidades citadas anteriormente.

5.3.1 Rotas tecnológicas para os resíduos de demolição de pavimento e solos de escavação

Nos resultados do diagnóstico foi possível identificar que todo o resíduo de demolição e escavação das obras de redes e ramais coletores de esgoto, que não eram reutilizados *in loco*, acabavam sendo direcionados aos aterros sanitários em sua totalidade. No cenário diagnosticado, mesmo que houvesse um interesse em reciclar os resíduos, tal processo se tornara inviável em virtude da mistura dos materiais, inclusive os contaminados com esgoto, fato este ocasionado pela coleta dos resíduos de forma não diferenciada.

O primeiro passo para que seja mudada toda a concepção de uma produção linear de resíduos, já bem incorporada à cultura dos envolvidos no processo, assim como viabilizar a reciclagem ou beneficiamento dos resíduos não reutilizados de forma imediata na obra, é instaurar a segregação dos resíduos na fonte, a coleta e o acondicionamento diferenciados, gerando em uma produção cíclica de resíduos, possibilitando sua reincorporação às obras.

É preciso que a segregação dos resíduos durante o processo de demolição de pavimento e posterior escavação sejam realizados de forma a separar e diferenciar ao máximo possível: o pavimento, a base do pavimento, o solo com possibilidade de reaproveitamento

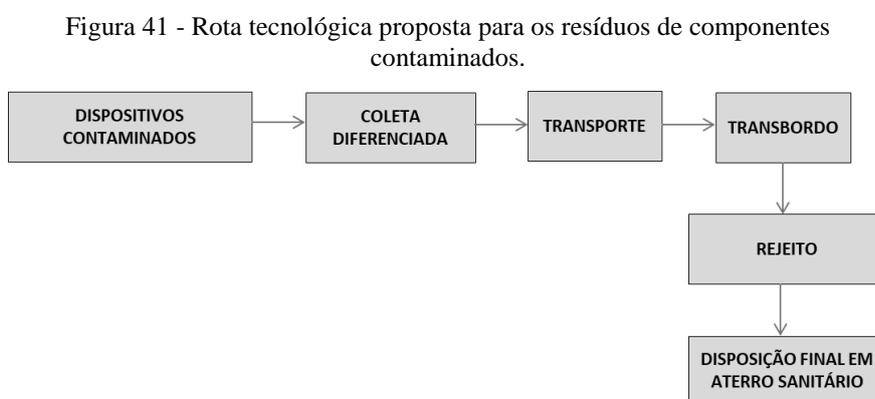
imediate, solo propício à secagem natural, solo com necessidade de tratamento (argiloso) e solo contaminado com esgoto. Tal processo deve ser replicado para as etapas de coleta em caminhão basculante e posterior acondicionamento nas áreas de transbordo.

Barros (2012) destaca que uma das principais alternativas quando se pensa em realizar uma destinação dos resíduos ambientalmente mais adequada, não apenas contando com a destinação em aterros, o primeiro passo deve ser dado a partir da segregação dos resíduos, se tornando um item principal para viabilização de processos futuros de reciclagem ou reaproveitamento.

Desta forma, considerando os processos de segregação, coleta e acondicionamento diferenciados comuns e primordiais à viabilização da reciclagem dos resíduos, foram propostas as rotas tecnológicas que seguem.

Rota tecnológica para os componentes contaminados

A rota tecnológica para os componentes contaminados pode ser representada na Figura 41:



Fonte: Autor (2019).

Os componentes das redes e ramais coletores de esgoto contaminados dizem respeito aos materiais que tiverem contato com os esgotos domiciliares. Tais materiais não apresentam viabilidade para reciclagem em virtude dessa contaminação e precisam ser dispostos em aterros sanitários. Com base na existência desses tipos de materiais contaminados, se vê a importância dos processos de segregação, coleta e acondicionamento para que estas matérias não contaminem os demais e assim inviabilizem seus respectivos processos de reciclagem.

Tais resíduos após serem coletados separadamente e transportados para área de transbordo, são enquadrados como rejeitos, devendo ser transportados novamente, dessa vez

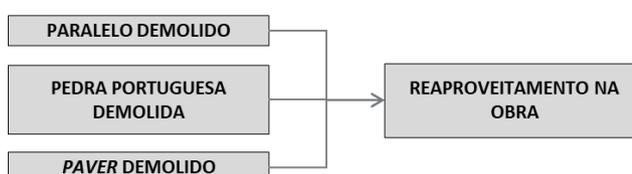
para o aterro sanitário.

Rotas tecnológicas para o material de demolição de pavimentação

Diversos foram os tipos de pavimentos identificados nas obras diagnosticadas, onde em função de suas características puderam ser agrupados de acordo com o tipo de processo ou tecnologia a serem utilizados em suas rotas.

Na Figura 42 os pavimentos do tipo paralelo, pedra portuguesa e *paver* tiveram sua rota tecnológica sugerida.

Figura 42 - Rota tecnológica proposta para os resíduos de pavimentação do tipo paralelo, pedra portuguesa e paver.

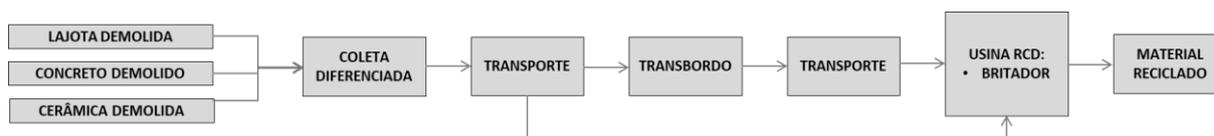


Fonte: Autor (2019).

Em função de suas características, os pavimentos do tipo *paver*, pedra portuguesa e paralelo conseguem atender ao princípio de reutilização dos 3Rs denominado reutilização de forma satisfatória, uma vez que não precisam ser direcionados para nenhum processo de beneficiamento ou reciclagem, como também não são dispostos em aterros sanitários. Isto posto, se vê que a rota tecnológica para esses tipos de pavimentos demolidos consiste em reutiliza-los de forma imediata na obra, recompondo o pavimento anteriormente demolido.

Os pavimentos constituídos de lajota, concreto e cerâmica puderam ter sua rota tecnológica traçada conforme demonstra a Figura 43:

Figura 43 - Rota tecnológica proposta para os resíduos de pavimentação do tipo asfalto.



Fonte: Autor (2019).

Os resíduos elencados para a rota tecnológica descrita acima representam materiais que podem ser considerados como entulho de obra, de acordo com o CONAMA 307 são resíduos de construção civil classe A, possuindo viabilidade para serem reciclados, sendo

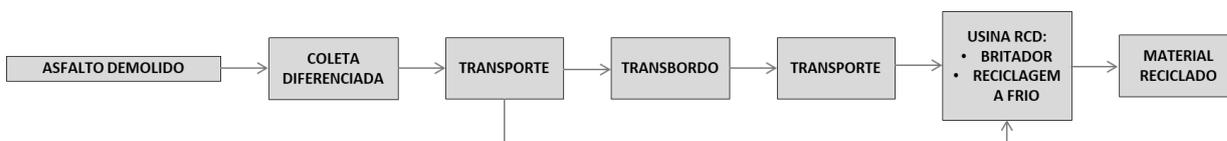
transformados em agregados reciclados, utilizados na fabricação de concreto de agregado reciclado, ou sendo aplicados em camadas de pavimentação.

A rota tecnológica sugerida para esses resíduos consiste na coleta diferenciada, transporte para área de transbordo ou diretamente para uma usina de reciclagem de RCD, para que passem pelo britador e peneiras, conferindo a estes resíduos as características de granulometria desejadas à aplicação do mesmo.

No ano de 2014, a concessão de Rio Claro em São Paulo divulgou resultados do projeto realizado para uso de RCD reciclado em usina, aplicado no reaterro de valas, cuja economia com a compra de novos insumos para reaterro, como a terra ou o pó de pedra, apresentou uma redução de 42% dos custos com a aquisição destes materiais (BRK AMBIENTAL, 2014).

Na etapa de diagnóstico e estimativa de geração de resíduos, se viu que o resíduo de demolição do pavimento asfáltico foi o que obteve os maiores quantitativos de geração. Isto posto, a Figura 44 propõe uma rota tecnológica para este resíduo:

Figura 44 - Rota tecnológica proposta para os resíduos de pavimentação do tipo asfalto.



Fonte: Autor (2019).

Para reciclagem dos resíduos provenientes dos pavimentos asfálticos se tem a utilização de duas técnicas: reciclagem a quente e reciclagem a frio. A reciclagem a quente consiste em recuperar o asfalto deteriorado para posteriormente reaplicá-lo na via sob a forma de asfalto, enquanto que a reciclagem a frio objetiva o beneficiamento do resíduo para aplicação do mesmo como base de pavimentos ou no máximo em vias vicinais e acostamentos.

Analisando o método de reciclagem a quente e aplicando-o ao cenário do projeto, se vê que não há viabilidade, pois, o processo pode se tornar oneroso em virtude dos diferentes tipos de pavimentos asfálticos existentes no local de estudo, provavelmente com uso de materiais distintos. É de conhecimento que para a metodologia de reciclagem a quente, é levado em conta as características dos resíduos, sendo elaborado um projeto com as especificações dos tipos de agentes e novos insumos a serem utilizados, assim como suas dosagens e demais aspectos, que precisam estar em consonância com as características do resíduo a ser beneficiado. Como no projeto há obras em vários pontos de 15 municípios, a

elaboração de vários projetos tornaria esse tipo de reciclagem inviável economicamente, em virtude do elevado número de ensaios que deveriam ser realizados não só por município, mas em função dos tipos de pavimento.

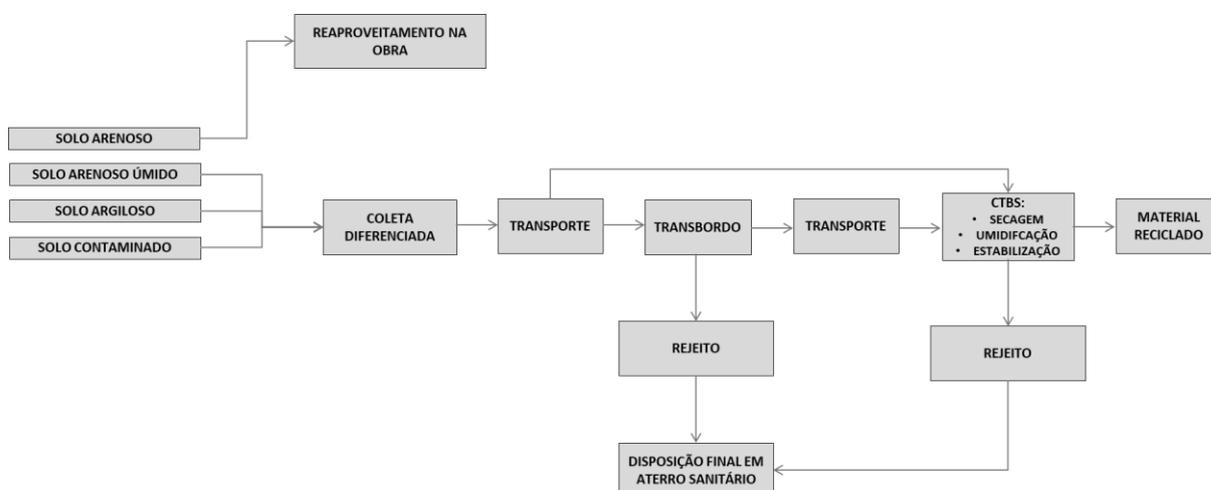
Dessa maneira, se vê que a reciclagem a frio, preferencialmente em usina (por dispor de um melhor controle de qualidade) consistiria na melhor opção para reciclagem desses resíduos, não devendo desconsiderar a necessidade de realização de testes e ensaios laboratoriais para comprovação da viabilidade técnica do processo.

A cadeia da rota tecnológica proposta para os resíduos de pavimentação asfáltica fica definida através da coleta diferenciada; transporte direto para a usina de RCD ou passando anteriormente por uma unidade de transbordo; e beneficiamento na usina de RCD, consistindo na passagem pelo britador de maneira a reduzir as dimensões do resíduos e por fim passando pelo processo de mistura com a adição dos materiais previamente identificados em consequência das características do resíduos e da aplicação que se deseja dar ao material reciclado.

Rota tecnológica para os solos provenientes das escavações

Os solos das escavações das obras nas redes e ramais coletores de esgoto representam o maior quantitativo de resíduos atualmente destinados em aterros sanitários em função dessas obras, representando 76% do total, conforme analisado na fase de diagnóstico. À vista disso, é necessária a proposição de rotas tecnológicas para melhor aproveitamento desses resíduos (Figura 45):

Figura 45 - Rota tecnológica proposta para os resíduos de escavação de solos.



Fonte: Autor (2019).

A partir da proposição da rota tecnológica, os resíduos passam a ser separados durante a execução das obras nas redes, ramais e dispositivos de inspeção, o que pode proporcionar a reutilização do solo não contaminado e em características adequadas para o reaterro das valas abertas, ao invés da compra de novos insumos. Os solos arenosos não contaminados com esgoto, em sua maioria atendem à essas características. Quando encontrados durante a escavação, conseguem ter aplicação direta no aterro das valas de forma imediata.

O solo arenoso que eventualmente possuir teor de umidade elevado, não podendo ser imediatamente reaproveitado para o reaterro das valas, pode ser disposto em uma área específica em uma unidade de elevação (EEE) ou de tratamento de esgoto (ETE), para secagem natural e posterior reutilização.

A terra contaminada por esgoto ou com excesso de material orgânico não possuem viabilidade para serem reutilizados como material de preenchimento das valas após escavação, sendo considerados rejeitos e assim dispostos em aterros sanitários. Conforme prevê a rota para os solos no que concerne à necessidade de uma coleta, transporte e acondicionamento de forma diferenciada, é primordial que esses resíduos até a sua devida disposição permaneçam de forma isolada dos demais resíduos, para que não inviabilizem os processos de reciclagem ou beneficiamento dos demais. A Figura 46 apresenta a forma ideal de separação desses materiais em campo:

Figura 46 - Separação de materiais durante a execução das obras. A. Visão geral da obra. B. À esquerda material proveniente da demolição de pavimento e materiais de base de pavimentação, à direita o solo do processo de escavação sendo reaproveitado.



A



B

Fonte: Autor (2019).

Vê-se que é de extrema importância que durante o início da instauração da rota tecnológica as equipes que realizam as obras sejam orientadas a separar durante a abertura das

valas o material grosso (pavimentos, pedra, brita e paralelepípedos) do solo, uma vez que essa fase é essencial para todas as etapas seguintes da rota tecnológica. Caso o processo de separação dos materiais não seja executado da forma correta, as etapas seguintes poderão ser inviabilizadas, gerando na necessidade de disposição em aterro de todo o material.

A primeira experiência da concessão de Rio Claro em São Paulo do grupo BRK Ambiental (2012), consistindo apenas na incorporação dos processos de separação dos materiais, reaproveitamento imediato e secagem natural durante a execução das obras, já apresenta ganhos financeiros no que diz respeito às etapas de gerenciamento dos resíduos. Em relação à aquisição de novos insumos para o reaterro das valas a redução dos custos foi de 100%, uma vez que as características do solo local permitiram a reutilização em sua totalidade. Os custos com o transporte de resíduos e destinação em aterro sanitário obtiveram uma redução de 66%.

A economia total anual estimada representou aproximadamente 3,1% do orçamento do ano de 2012 da área de manutenção de redes, valor que pôde ser revertido em mais resultado financeiro para a empresa ou investido em outras atividades, de forma a promover melhorias operacionais (BRK AMBIENTAL, 2012).

Oliveira et al (2016) afirma que os solos na planície do Recife, município onde há o maior quantitativo de obras do projeto, possuem baixa capacidade de suporte e elevada compressibilidade.

O estudo realizado para identificação dos perfis de solo no Recife, contando com o levantamento de cento e oitenta e oito perfis de solos, localizados em vinte e um bairros da planície do Recife, chegou ao resultado de que mais de 50% dos solos do município são constituídos por argila, podendo haver intercalação com camadas de areia, e entre essas duas camadas, outras de siltes e turfas (OLIVEIRA et al, 2016).

Cadete, Oliveira e Ferreira (2016) na realização de sua pesquisa, também afirmam que há uma ocorrência de 50% de solo em argila no município do Recife. O estudo realizado por Pfaltzgraff et al (2003) sobre o sistema de informações geoambientais da Região Metropolitana do Recife, contou com 49 unidades de mapeamento de solos, tendo como resultado a distinção e classificação dos solos existentes no local. Em relação à existência de argissolos na RMR, os argissolos amarelos e argissolos vermelho-amarelos possuem distribuição por toda a RMR, estando localizados em terrenos acidentados, como planos.

Os solos de escavação das obras em redes e ramais de esgoto do tipo argilosos possuem características de serem colapsíveis, ou seja, impróprios para reutilização no reaterro das valas, pois possuem baixa capacidade de suporte. Em virtude dessas características, tais

solos acabam sendo descartados em aterros sanitários. Segundo Souza Neto (2004) os solos argilosos são predominantemente colapsíveis, que por sua vez podem gerar a ocorrência de recalques. Também afirma que é um tipo de solo encontrado em todas as regiões do Brasil, citando como exemplo o estado de Pernambuco.

Jennings e Knigth (1957) apud Souza Neto (2004, p. 15) definem o colapso como “Quando o solo sob carregamento ganha umidade e uma certa umidade crítica é excedida, os vínculos alcançam um estágio em que não podem mais resistir às forças de deformação.”

Os solos, por sua vez, podem ser tratados a partir do processo de estabilização com uso de aditivos, a partir de misturas mais comuns a base de solo-cimento ou solo-cal.

Como exemplo do uso de estabilizante químico para tratamento dos solos se tem a experiência da Concessão do Sistema de Esgotamento Sanitário da Zona Oeste do Rio de Janeiro na Área de Planejamento 5 da BRK Ambiental (2015). A concessão contemplava além das atividades de operação e manutenção, a implantação de infraestrutura com 2.200 km de redes coletoras, coletores tronco e interceptores para coleta e transporte dos esgotos, até diversas Estações de Tratamento existentes ou a implantar no empreendimento.

Durante a implantação dos primeiros 50 km de redes nos anos de 2013 e 2014, surgiram graves problemas de recalques dos aterros de recomposição das valas de assentamento das tubulações. Tais recalques eram provocados por deficiências construtivas aliadas à baixa capacidade de suporte do solo original, cuja constituição é silto areno-argiloso, por vezes simplesmente arenoso, saturado e contaminado por infiltrações de esgoto, provenientes de vazamentos das redes de águas pluviais, que na região operavam como com o sistema unitário (BRK AMBIENTAL, 2015).

De acordo com a BRK Ambiental (2015) esta situação levou o Poder Concedente a exigir que 100% do solo escavado fosse destinado para aterro licenciado e que os aterros das valas fossem executados com a utilização de material não coesivo e granular, no caso areia ou pó-de-pedra. Com base nessa premissa, houve o aumento do custo de implantação das obras a valores que inviabilizariam o empreendimento, em caso de não ser possível a reversão da situação.

O cenário geológico aliado à eminente necessidade de reverter a posição do Poder Concedente, fomentou a busca por uma solução que viabilizasse o uso deste resíduo, habilitando-o de tal maneira que garantisse a estabilidade das valas aterrada e a consequente eliminação dos recalques, de forma a se tornar tecnicamente correta a sua utilização (BRK AMBIENTAL, 2015).

A BRK Ambiental (2015) explica que a solução a ser adotada necessitava atender às

seguintes premissas: ter baixo custo e não necessitar de grandes investimentos operacionais; um custo final inferior ao do pó-de-pedra e ao da areia, considerando-se toda a operação de tratamento e descarte de material excedente; possuir uma alta resposta na estabilidade dos aterros, mesmo com o uso de equipamentos de compactação de pequeno porte; atender às legislações ambientais, bem como a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A caracterização geológica do solo com a presença de silte e argila em matriz arenosa permite a aplicação de aditivos químicos ou minerais que atuam na parte coesiva, com significativos ganhos de resistência, em aplicações com umidade corrigida e controlada (BRK AMBIENTAL, 2015).

Atendendo as premissas estabelecidas, optou-se pela utilização de um estabilizante sólido, composto com hidróxido de cálcio, comercialmente conhecido como Dynabase®, cuja aplicação introduz novos parâmetros geomecânicos aos solos utilizados devido seu efeito aglutinante e estabilizante (DYNABASE, 2019).

Segundo a DYNABASE (2019) o produto atua nas partículas do solo, aumentando sua capacidade de suporte (CBR), reduzindo a sua expansão, cujo mecanismo consiste em perenizar a resistência através da impermeabilização e da cimentação das partículas.

Estes efeitos são gerados inicialmente pela absorção dos íons de cálcio pelas partículas argilosas, modificando suas propriedades, que dependem da atividade superficial, e, um segundo efeito, de reação mais lenta, causado pelas interligações entre os íons de cálcio e os componentes aluminosos e silicosos separados em meio alcalino nos solos, transformando-os em silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, estáveis e com poder de cimentação das partículas (DYNABASE, 2019).

A DYNABASE afirma que devido ao efeito cimentício e impermeabilizante obtido com a adição do produto ao solo tratado, as camadas de aterro ou bases executadas com este solo possuem elevada resistência ao tempo, mesmo com a incidência de chuva ocasional. Tal fato oferece vantagem sobre produtos hidrofugantes por não permitir a infiltração e assim coibir a desagregação sob a presença de água.

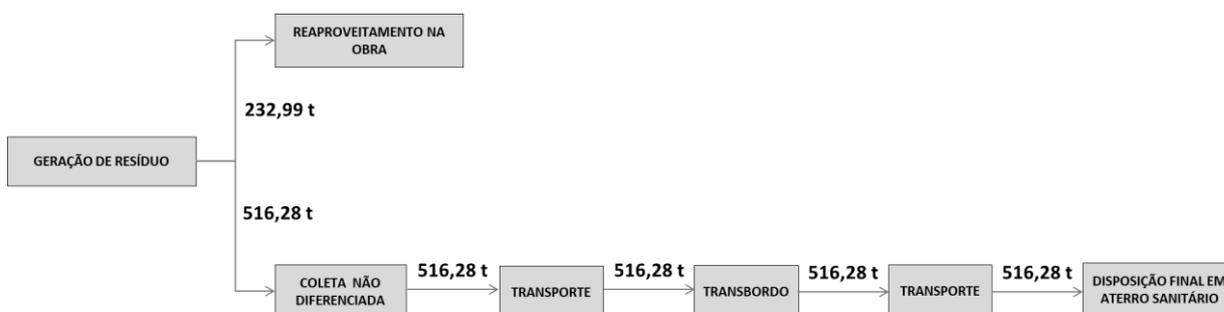
Com a obtenção da estabilidade dos aterros a partir da utilização do estabilizante químico de forma a reutilizar o material escavado, o Poder Concedente liberalizou o uso do resíduo tratado como material de aterro. Tal mudança de posição acarretou em: eliminação do passivo ambiental gerado pelo transporte e disposição de todo material excedente para bota-fora não licenciado, sem controle e monitoramento; significativa redução nas quantidades de solo enviado para aterro licenciado, onde após o processo de aplicação de estabilizante passou a ser enviado para aterro licenciado 30% do volume de material escavado; redução

significativa do uso de pó-de-pedra e/ou areia, hoje restrita à envoltória dos tubos; adequação dos custos aos custos orçados e por conseguinte sendo eliminado o fator de inviabilidade imputado pela rejeição de 100% do solo escavado (BRK AMBIENTAL, 2015).

5.3.2 Rotas tecnológicas e alocação quantitativa de resíduos

Ao final das proposições das rotas tecnológicas, se pôde fazer uma comparação da rota da fase de diagnóstico e das rotas propostas, no que tange à alocação do quantitativo de resíduos. Desta forma, a Figura 47 aponta como ficaria a alocação de resíduos caso não houvesse modificação nas rotas tecnológicas identificadas no diagnóstico, para a fase final do projeto, ou seja, quando os serviços de coleta e tratamento de esgoto forem universalizados:

Figura 47 - Alocação dos resíduos nas rotas tecnológicas da etapa de diagnóstico.



Fonte: Autor (2019).

Como não há o processo de coleta diferenciada nas rotas tecnológicas identificadas no diagnóstico, tudo o que não é reaproveitado em obra acaba sendo destinado em aterro sanitário. O fator preocupante é que se os processos de gerenciamento de resíduos atuais continuarem a serem adotados, após a implantação das redes coletoras de esgoto, haverá um quantitativo de 516 toneladas/mês a serem destinadas em aterros sanitários, provenientes das obras operacionais. Desta forma, se tem que 100% do material que não é possível o reaproveitamento in loco, acaba sendo classificado como rejeito.

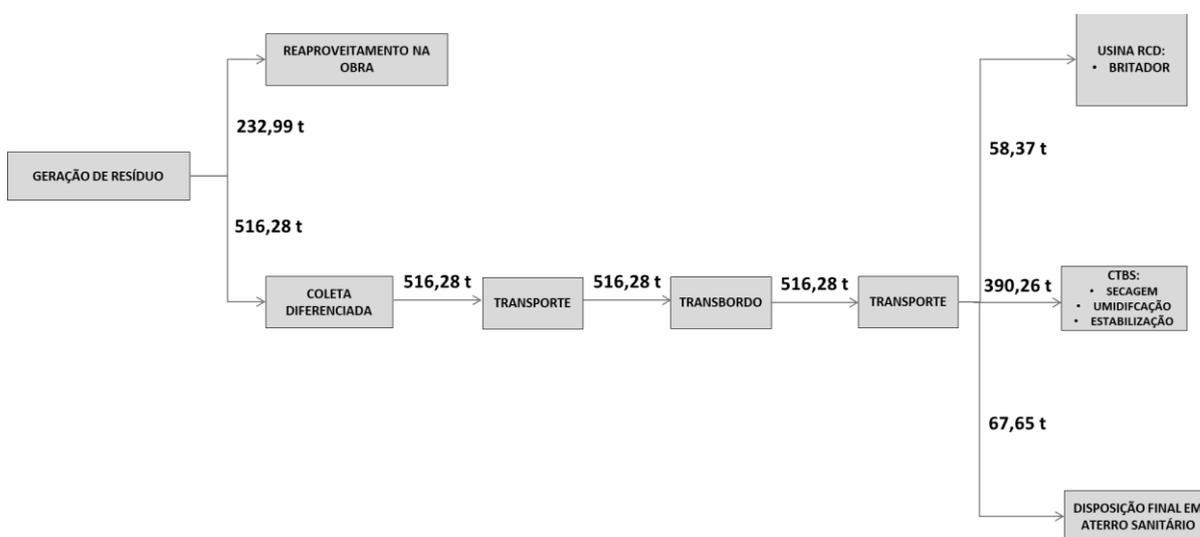
Tal fato contribui não só para a saturação dos aterros sanitários e a consequente diminuição de seu tempo de vida útil, mas também para a redução dos recursos naturais em função da necessidade de extração de novas matérias primas em substituição aos rejeitos gerados.

Angulo et al (2011) também utilizou a metodologia de alocação de resíduos, denominada balanço de massa, avaliando os resíduos gerados por pequenos e grandes empreendimentos. O balanço de massa realizado pode demonstrar quanto dos resíduos eram

dispostos irregularmente, assim como o quantitativo que era disposto em áreas de bota fora, onde 37% do RCD (4.896 m³/ano) foram depositados ilegalmente em bota-fora e o restante está disposto irregularmente em ruas e terrenos. A ferramenta se mostrou importante para diagnóstico da situação e definição de estratégias de gerenciamento.

A Figura 48 aponta a alocação de resíduos quando os serviços de esgotamento sanitário forem universalizados, considerando as rotas tecnológicas de tratamento propostas pelo estudo:

Figura 48 - Alocação dos resíduos nas rotas tecnológicas propostas.



Fonte: Autor (2019).

Com base nas proposições das rotas tecnológicas realizadas por este estudo, foi possível prover rotas tecnológicas para todos os resíduos identificados na etapa de diagnóstico, seja para fins de destinação ou disposição final. Ainda assim, houve o direcionamento de resíduos antes tido como rejeitos, para tecnologias ou processos que possibilitam a reincorporação dos mesmos às obras realizadas em redes e ramais de esgoto.

Morais e Colesanti (2014) reforçam que a partir do momento em que se define uma rota tecnológica para cada resíduo identificado, propondo a melhor tecnologia para cada um, se tem ganhos ambientais. É possível reduzir as emissões de gases de efeito estufa, reincorporar o que seria rejeito sob a forma de matéria-prima e minimizar ou mitigar impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada dos resíduos.

A partir da proposição das rotas tecnológicas para os resíduos de pavimento e escavação das redes de esgoto, estima-se que de todo o material em que não é possível o uso imediato nas obras e que seriam enviados para aterros sanitários, seria possível reduzir o

percentual atual de 100% de envio para aterro para 13%. Ou seja, 87% de todo o material que hoje é tratado como rejeito dispõe de alternativas para reciclagem, dadas as devidas comprovações e estudos de viabilidade.

Este percentual está próximo do que Gusmão (2008) afirma ser o potencial de reaproveitamento dos RCC, onde 90% dos resíduos de construção civil podem ser reaproveitados, mas acabam sendo destinados de forma inadequada. Ainda segundo Lauritzen (1998, tradução nossa) na Europa já é possível ter viabilidade econômica para reciclar cerca de 80% a 90% de todo o resíduo de construção e demolição gerado.

Tojo e Fischer (2011) demonstram que em alguns países europeus já é possível atingir grandes percentuais de reciclagem para os resíduos de construção e demolição. A viabilidade para reciclagem de RCD chega a 98,1% nos Países Baixos, 94,9% na Dinamarca, 91,9% na Estónia 86,3% na Alemanha e na Irlanda o percentual é de 79,5%.

Ferreira et al (2015) afirma que a partir do desenvolvimento de rotas tecnológicas para tratamento ou reciclagem dos resíduos, é possível obter a redução do volume dos resíduos a serem enviados para aterros, de modo a terem a sua disposição final.

Barros (2012) aponta que ao mesmo passo em que as atividades na construção civil são grandes geradoras de RCC, há um grande potencial para reciclagem desses resíduos, podendo ser reincorporados às próprias atividades de construção. Uma das formas é a reciclagem na própria obra, seguindo da alternativa de criação de unidades de tratamento ou beneficiamento dos RCC, de maior porte, de modo a reunir grandes volumes destes materiais.

5.3.3 Rotas tecnológicas, distribuição espacial e proposição das unidades de transbordo, reciclagem e disposição final

Para o transporte dos resíduos das frentes de serviço para as unidades de transbordo, é de suma importância que todas as viagens realizadas com o resíduo coletado sejam devidamente acompanhadas por fichas de transporte, identificando o equipamento de transporte, a origem do material, a data e a hora de coleta da carga, assim como sejam acondicionados de forma adequada.

Em relação às regionais, a área Centro é responsável por 49,88% do total quantitativo de obras realizadas em todo o projeto, enquanto que a regional Sul detém de um quantitativo equivalente a 9,41% de todas as obras realizadas no projeto da PPP de Esgotamento Sanitário de Pernambuco. Em virtude do baixo quantitativo de obras na regional Sul, não se faz necessário o estabelecimento de uma área de transbordo para atendimento específico da área.

Sendo assim, se tem que para atendimento das áreas Centro e Sul, será proposta como unidade de transbordo a Estação de Tratamento de Esgoto ETES-01, localizada no município do Recife, dentro do condomínio residencial Ignêz Andreazza (Figura 49):

Figura 49 - Layout da área de transbordo na ETES-01 Ignêz Andreazza.



Fonte: Autor (2019).

Atualmente a ETE já usada como unidade de transbordo dos resíduos de demolição e escavação, atendendo as regionais Centro e Sul, contemplando os resíduos das obras dos seguintes municípios: Recife, Camaragibe, São Lourenço da Mata, Moreno, Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca. A situação da área de transbordo atual é evidenciada na Figura 50 a seguir:

Figura 50 - Área de Transbordo na ETES-01 Ignêz Andreazza. A. Visão geral da área de transbordo. B. Disposição dos materiais provenientes das obras de redes e ramais coletores de esgoto.



A



B

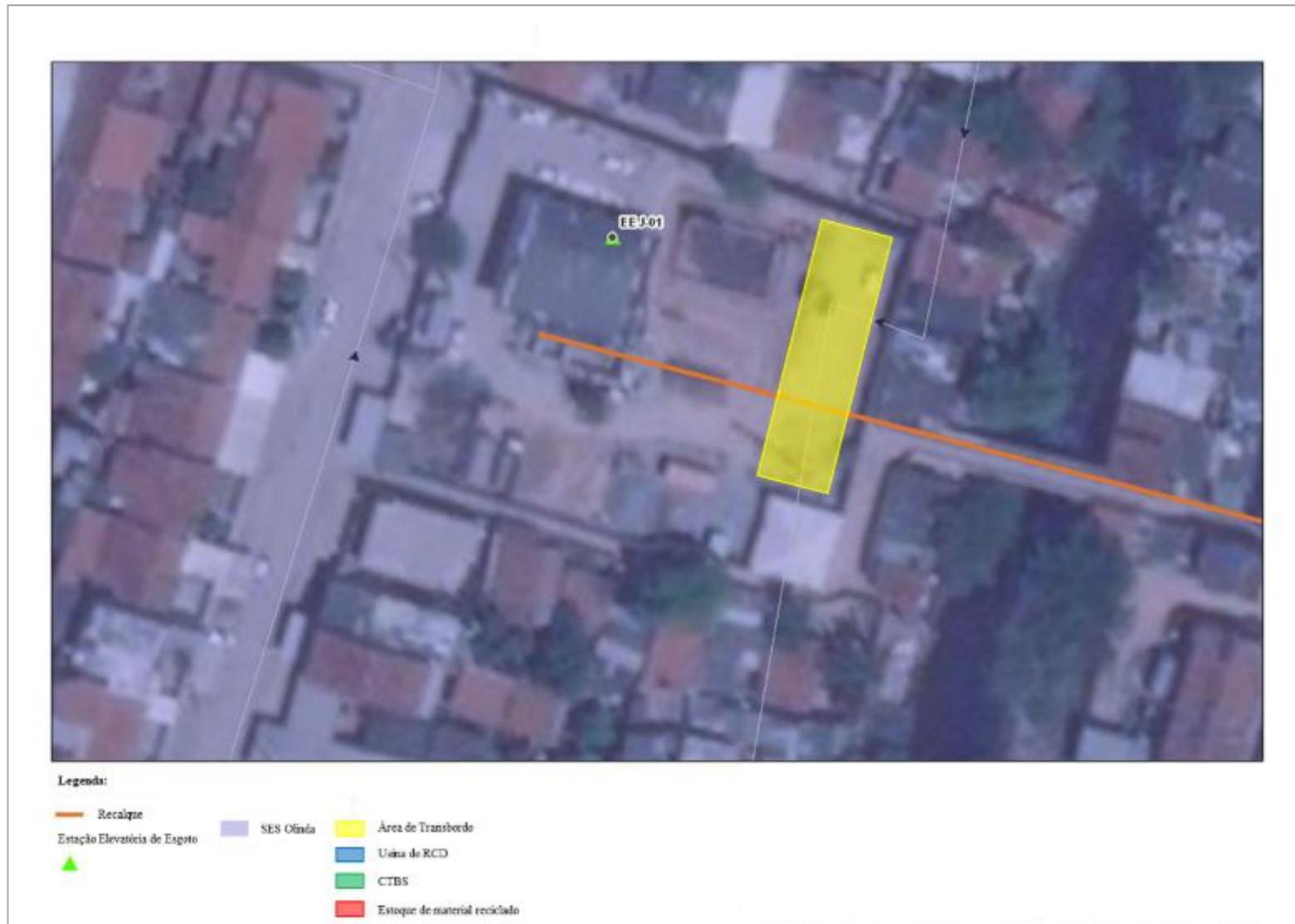
Fonte: Autor (2019).

Vê-se que por não haver ainda um processo de reaproveitamento dos resíduos de demolição e escavação implantado, os mesmos acabam sendo acondicionados sem nenhum tipo de separação. É possível ver a mistura de tubos, caixilhos de caixas de inspeção e poços de visita, concreto demolido e solo (contaminado e não contaminado) misturados.

Barros (2012) reforça que quando os RS não são segregados na fonte de geração, as possibilidades de reaproveitamento desses materiais são diminuídas, trazendo consigo custos mais dispendiosos e até mesmo a inviabilidade de reaproveitamento em função da contaminação. A segregação dos resíduos durante todo o processo de geração até o de reaproveitamento, trará menores custos, uma vez que serão aplicados menos processos.

Na regional Norte, responsável por 40,72% das obras realizadas na Concessão, se faz necessária a disposição de uma unidade de transbordo para acondicionamento dos RCD em função do grande quantitativo de obras. Desta forma, para acondicionamento temporário dos resíduos na área Norte, se tem a Estação Elevatória de Esgoto EEJ-01 Frágoso, conforme Figura 51:

Figura 51 - Layout da área de transbordo na EEJ-01 Fragoso.



Fonte: Autor (2019).

A unidade de transbordo proposta fica localizada no município de Olinda, aos limites com o município de Paulista. Os dois municípios mencionados são responsáveis pelos maiores quantitativos de obras na regional Norte, onde a unidade proposta atenderia logisticamente aos maiores geradores de resíduos. Além dos municípios de Olinda e Paulista, a unidade acondicionaria os resíduos aos municípios de Abreu e Lima, Igarassu, Araçoiaba, Itapissuma, Goiana e Ilha de Itamaracá.

A Figura 52 mostra a unidade elevatória EEJ-01 Fragoso e sua área de transbordo:

Figura 52 - Área de Transbordo na EEJ-01 Fragoso. A. Visão geral da área de transbordo. B. Disposição dos materiais provenientes das obras de redes e ramais coletores de esgoto.



A



B

Fonte: Autor (2019).

Assim como na área de transbordo da ETES-01 Ignêz Andreazza, a EEJ-01 Fragoso dispõe de uma área de transbordo cujo acondicionamento dos RCD é feito de forma misturada, não havendo segregação dos mesmos no que diz respeito aos materiais viáveis e não viáveis para o reaproveitamento. É possível perceber também que materiais novos como areia e pó de pedra estão próximos dos rejeitos, podendo também haver a contaminação dos materiais recém adquiridos.

Com base no cenário de armazenamento atual dos resíduos, é preciso estabelecer um método de acondicionamento mais apropriado, de forma a fazer com que os resíduos possam ter viabilidade de reaproveitamento nas fases seguintes. Sendo assim, se tem como exemplo a estrutura de Central de Armazenamento Temporário de Resíduos, a CATRE (Figura 53):

Figura 53 - Central de Armazenamento Temporário de Resíduos (CATRE). A. CATRE ETE Dancing Days. B. CATRE ETEJ-01 Peixinhos.



A



B

Fonte: Autor (2019).

Estes exemplos de estrutura, instalados em unidades de tratamento de esgoto da Concessão estudada, servem para separar os resíduos coletados nas atividades administrativas e de operação, sendo excelentes exemplos de acondicionamento adequado de resíduos. A ideia pode ser replicada para a realização da segregação e acondicionamento dos RCD das obras de redes e ramais, realizando as adaptações necessárias, de forma a preservar as características dos resíduos para as etapas de tratamento e beneficiamento.

A separação desses materiais na área de transbordo é de extrema necessidade para que as características de cada tipo de resíduo sejam preservadas, de modo a não inviabilizar o processo de reciclagem daqueles que a tenham. Para que a mistura dos resíduos não ocorra na unidade de transbordo, é preciso que seja criada uma estrutura, no qual os resíduos sejam divididos por compartimentos específicos, de modo a não entrarem em contato.

Barros (2012) afirma que a necessidade de segregação dos resíduos sólidos não se dá apenas na fase de geração dos resíduos, ou seja, na fonte. Todas as demais etapas da gestão dos RS requerem a separação dos mesmos, como as etapas de triagem, transporte, transbordo, usinas de reciclagem e unidades de tratamento.

Inicialmente se faz necessária a divisão dos pavimentos do tipo asfáltico dos pavimentos do tipo concreto, cerâmica e lajota, além da criação de local para disposição dos solos não contaminados. Um local para acondicionamento dos resíduos contaminados com esgoto deverá ser identificado, onde serão inclusos os solos contaminados ou geologicamente impróprios, as partes constituintes de poços de visita e caixas de inspeção demolidos, como também os tubos substituídos nas obras.

É importante que para os resíduos contaminados seja construída uma estrutura coberta e com piso impermeável, de modo a não haver a contaminação do solo local com o esgoto

presente nos rejeitos. Para os solos não contaminados, a cobertura desse material de modo a evitar o contato com a chuva é benéfico à fase de tratamento posterior, onde é preciso atingir uma umidade ideal para aplicação de estabilizante químico à base de hidróxido de cálcio.

Barros (2012) afirma que a unidade de transbordo precisa ter configuração tal que permita o acesso e locomoção dos caminhões necessários aos processos de descarga de materiais, fato esse verificado em relação às unidades de transferência propostas. A proposição das áreas de transbordo apesar de apresentarem custos inerentes à sua operação e gerenciamento, são cada vez mais viáveis do ponto de vista econômico dada a distância das mesmas em relação às áreas de disposição, tratamento ou beneficiamento.

A partir das áreas de transbordos, há uma série de benefícios em relação à operação e gestão dos resíduos, ligados à economia em relação ao transporte, uma vez que da área de transbordo para as unidades posteriores segue apenas um caminhão, de maior porte; a economia de trabalho também pode ser um item muito importante no processo, uma vez que será necessário apenas um funcionário para condução do material, no caso um motorista; economia de combustível, pois se comparados os veículos usados para coleta e os veículos para transporte, se terá praticamente os mesmos custos; menos falhas mecânicas por parte dos equipamentos de coleta; maior flexibilidade para mudanças em relação aos locais dos processos de tratamento, disposição final ou reciclagem; redução das áreas necessárias para realização da disposição final; possibilidade reciclagem nas unidades de transbordo a partir da segregação e correto acondicionamento dos resíduos (Barros, 2012).

Após proposição das áreas de transbordos, itens essenciais para que seja viável a realização dos processos de reciclagem e destinação dos rejeitos, é imprescindível a definição da localização do aterro sanitário a ser usado para destinação final, da Central de Tratamento e Beneficiamento de Solos (CTBS) e Usina de reciclagem de RCD.

A BRK Ambiental desde o início da operação da PPP de Esgotamento Sanitário da região Metropolitana do Recife, no ano de 2013, realiza a destinação dos resíduos provenientes de obras no aterro sanitário CTR-PE.

Em relação aos municípios com maior quantitativo de obras realizadas no projeto, o CTR está a uma distância de 21 Km do município de Paulista, 27 Km do município de Olinda e 40 Km do município do Recife (CTR-PE IGARASSU, 2019).

O aterro sanitário da CTR-PE Igarassu (2019) é gerido por uma empresa privada, que realiza serviços de tratamento e destinação final de resíduos sólidos, conforme classificação da NBR 10.004. Há no local um aterro para resíduos sólidos industriais classe I e aterro para resíduos sólidos classe IIA e IIB (Figura 54).

Figura 54 - CTR-PE Igarassu. A. Visão geral da CTR-PE Igarassu. B. Aterro sanitário.



A



B

Fonte: CTR-PE Igarassu (2019).

O aterro classe IIA e II B, ao qual os rejeitos de demolição e construção enquadrados como resíduos classe II B serão destinados, é composto por células cuja capacidade volumétrica total é de 8.700.000 m³ provendo uma capacidade operacional instalada para receber até 3.000 t/dia o que garante uma vida útil de aproximadamente 20 anos (CTR-PE IGARASSU, 2019).

O aterro sanitário escolhido para destinação dos rejeitos dispõe de toda a estrutura física necessária ao tratamento dos resíduos: sistema de impermeabilização de base, sistema de drenagem e Estação de Tratamento de Efluentes, de forma a isolar todo o chorume do solo, drená-lo e destiná-lo para a ETE. É realizado também o monitoramento geotécnico e ambiental do aterro (CTR-PE IGARASSU, 2019).

Apesar da destinação final em aterros sanitários apresentar diversas vantagens, como: custos de implantação e operação relativamente baixos; absorção de grandes volumes de resíduos sólidos; possibilidade de dispor adequadamente os RS; controle de vetores e diminuição de riscos à saúde de eventuais catadores, os mesmos também possuem diversos problemas (Barros, 2012).

Barros (2012) acrescenta que apesar de dispor de soluções de engenharia adequadas para o controle operacional, funcionamento, fechamento e monitoramento ambiental, os aterros sanitários não devem ser considerados a melhor alternativa para finalização do ciclo de vida de um resíduo. Embora exista toda a dificuldade em se estabelecer níveis de educação ambiental e conscientização, exigindo uma nova postura comportamental por parte dos envolvidos, o melhor caminho sempre estará na prevenção da geração de resíduos.

Seguindo o que preconiza Barros (2012), antes de se pensar na destinação dos resíduos

em um aterro sanitário, se faz necessário avaliar todas as possibilidades de reciclagem, assim como tratamento, contribuindo para a redução do volume de RS que seguiriam para o aterro sanitário. Sendo assim, é preciso trabalhar primeiramente nos aspectos de prevenção, minimização, reciclagem, compostagem e tratamento dos resíduos.

O pensamento prevencionista para evitar a geração de resíduos sólidos e sua posterior destinação final em aterros sanitários, se dá de forma a evitar a ocorrência de problemas acarretados por aterros sanitários. Exemplos de problemas que podem acontecer na operação de aterros sanitários são: riscos de explosão, poluição das águas superficiais e/ou subterrâneas, poluição atmosférica, contaminação direta de trabalhadores com os resíduos, incêndios, odores, ocorrência de animais, ruído, transporte de resíduos por ação do vento, desvalorização do local (Barros, 2012).

A definição do local para instalação dos processos de reciclagem permeou muito mais os requisitos de espaço das unidades elevatórias e de tratamento estudadas, do que de logística. Apesar de muitas das unidades disporem de área para instalação da estrutura para os processos de britagem de RCD e tratamento de solo, muitas ainda passarão por obras de ampliação e recuperação, podendo reduzir significativamente as áreas atualmente disponíveis.

Ainda assim, Dosal et al (2012) descreve que para escolha de unidades de reciclagem, se faz necessário um estudo detalhado de vários aspectos, que muitas vezes em função de um aspecto, se torna inviável a construção da unidade. Os aspectos que devem ser avaliados são: localização geográfica, a distância das fontes de geração de resíduos, existência de outras unidades de reciclagem que possam representar uma competitividade para o empreendimento a ser implantado, aceitabilidade dos municípios e circunvizinhança.

Com base nessa premissa, se viu que a unidade de tratamento de esgoto ETEJ-01 Janga é a que melhor atende em termos de espaço e por ser uma ETE cujas obras de recuperação já foram finalizadas.

Para que sejam previstas estruturas que visem a reciclagem de resíduos, de forma a comercializá-los, é preciso garantir que, após produção, os mesmos possam ser absorvidos pelo mercado consumidor (BARROS, 2012).

Para o caso das empresas que operam sistemas de esgotamento sanitários e realizam obras de recuperação, há o potencial das mesmas absorverem os materiais reciclados que produzirem.

Na Figura 55 há a apresentação da possível localização e *layout* da unidade de tratamento:

Figura 55 - Layout da Central de Tratamento e Beneficiamento de Solo (CTBS) e Usina de RCD na ETEJ-01 Janga.



Fonte: Autor (2019).

A Estação de Tratamento de Esgoto ETEJ-01 Janga, localizada no município de Paulista, atenderá os 15 municípios da Região Metropolitana do Recife no que se refere à reciclagem dos RCD gerados nas obras de redes e ramais coletores de esgoto. Para início dos processos de reciclagem, será necessária a implantação de uma Central de Tratamento e Beneficiamento de Resíduos (CTBS), uma usina de reciclagem de RCD, uma área de transbordo, um laboratório de solos e área para estocagem de materiais reciclados. As áreas disponíveis na unidade, que possivelmente servirão como áreas para realização de processos de reciclagem, são evidenciadas na Figura 56 a seguir:

Figura 56 - Central de Tratamento e Beneficiamento de Solo (CTBS) e Usina de RCD na ETEJ-01 Janga.



Fonte: Adaptado de BRK Ambiental (2019).

Um exemplo do processo de britagem de RCD é o da empresa Ciclo Ambiental localizada na Região Metropolitana do Recife, cuja planta de reciclagem está situada no município de Camaragibe.

A Ciclo Ambiental é uma empresa privada localizada em Camaragibe, com capacidade para processar 900 toneladas de resíduos de construção e demolição por dia, sendo a primeira recicladora de Pernambuco autorizada pela CPRH, órgão ambiental responsável. Possui alta tecnologia e trata através de britagem e separações balísticas os resíduos da construção civil, em conformidade com a Resolução CONAMA 307 (Figura 57):

Figura 57 - Usina de reciclagem de RCD da Ciclo Ambiental. A. Visão geral da usina de reciclagem de RCD. B. Material reciclado.



A



B

Fonte: Ciclo Ambiental (2019).

O ciclo produtivo na usina de reciclagem da Ciclo Ambiental (2019) tem início na geração dos resíduos, onde o gerador é responsável por coletar os materiais e transportá-los para a Ciclo Ambiental. Ao chegar na usina o material é pesado, gerando em um ticket de entrada/saída, passando em seguida por um processo de triagem para remoção de materiais contaminantes ou indesejáveis ao processo de reciclagem, sendo estes destinados para aterro sanitário. Os materiais classificados como apropriados para o processo de reciclagem são britados, sendo transformados em agregados reciclados, direcionados posteriormente para venda.

Barros (2012) incentiva que a reciclagem dos resíduos de construção civil seja feita nas próprias empresas geradoras, com o objetivo de economizar na compra materiais de jazidas, diminuir os custos com transporte e evitar a disposição destes materiais em aterros sanitários.

Os materiais constituintes do entulho, que são utilizados na produção de agregado reciclados na usina de RCD, são divididos em dois grupos: o primeiro é constituído de materiais compostos de cimento, cal, areia e brita (concretos, argamassas e blocos de concreto) e o segundo grupo é formado por materiais cerâmicos (telhas, manilhas, tijolos, azulejos). Em termos de produtos gerados no processo de britagem de RCD, se tem a areia grossa, expurgo para aterro, brita cascalhinho, brita 19 e brita 25, agregados reciclados que são utilizados de acordo com as normas ABNT NBR 15115 e NBR 15116 (CICLO AMBIENTAL, 2019).

A Ciclo Ambiental (2019) no ano de 2011 divulgou que a área necessária para a implantação da usina de reciclagem foi de 30 mil m², cuja produção de material reciclado era de 1000 toneladas por dia, sendo preciso um investimento de R\$ 2 milhões.

Barros (2012) reforça a necessidade de reciclagem dos resíduos oriundos da construção civil, uma vez que os mesmos possuem alto potencial de reciclagem, proporcionando através destes processos o reaproveitamento dos resíduos, gerando um material de boa qualidade a baixo custo, com menos impactos ao meio ambiente.

A implantação de unidades de reciclagem ainda é uma situação que pouco acontece no Brasil. Algumas situações podem influenciar nessa questão, como a necessidade de um aporte financeiro para investir nessas tecnologias, ou a produção de resíduos de construção e demolição ainda não são suficientemente ideais para justificativa da necessidade de implantação de sistemas de reciclagem. (MESQUITA, 2012).

Faz-se necessária a avaliação em termos de custos em relação aos processos de reciclagem realizados nos resíduos de construção civil Classe A. Esta avaliação poderá determinar qual será a margem da comercialização ou a comparação com os custos da aquisição de novos insumos (SILVA, SILVA, 2016).

As atividades na Central de Tratamento e Beneficiamento de Solos já têm início nos processos de coleta e acondicionamento dos resíduos, onde deve ser realizada a triagem do material não reaproveitável (rejeito), separando-o do material que possui condições de ser reaproveitado. O material com possibilidade de reaproveitamento deve ser direcionado para a CTBS e estocado em pilhas na área de transbordo para posterior tratamento.

A experiência da Concessão do Sistema de Esgotamento Sanitário da Zona Oeste do Rio de Janeiro na Área de Planejamento 5 – AP5, demonstra alguns itens necessários para o tratamento realizado na CTBS, assim como deverá ser a sua sequência executiva (BRK AMBIENTAL, 2015).

A BRK Ambiental (2015) afirma que a operação do processo de tratamento dos solos com uso de estabilizante químico requer um terreno amplo, onde para o *case* tido como exemplo, foi necessária uma área de 30.000 m². Tal área foi suficiente para operacionalização da mistura do aditivo no solo, que sua vez é disposto em pista de homogeneização devidamente licenciada para esta atividade (Figura 58).

Figura 58 - Pista de homogeneização da Central de Solos na ETE Deodoro, Rio de Janeiro.



Fonte: BRK Ambiental (2015).

Todo o material de escavação depositado na área de transbordo da unidade onde será realizado o processo de tratamento, deve ser avaliado por um técnico em solos (laboratorista). A análise visa avaliar a qualidade do material transportado, seja em termos de possibilidade de aplicação do estabilizante ou de disposição final em aterro, caso não possua as características geológicas compatíveis com o tratamento (BRK AMBIENTAL, 2015).

Após confirmação da viabilidade de tratamento pelo técnico em solos, o mesmo é retirado da área de transbordo e espalhado na pista de tratamento, de modo a ser obtida uma espessura solta de 30 a 40 centímetros de solo. Após o espalhamento é efetuada a determinação da umidade do solo, para correção através de gradeamento ou por umectação e gradeamento. Com a umidade corrigida para a compatível com necessidade estabelecida pelas análises do laboratorista, o espalhamento do estabilizante é realizado. A proporção do estabilizante químico para o solo é de 2% do estabilizante em relação a massa do solo, sendo utilizada uma pá carregadeira neste processo (BRK AMBIENTAL, 2015; DYNABASE, 2019).

A homogeneização do solo com o estabilizante é efetuada usando a grade de disco após escarificação da camada, de modo a soltar os torrões e expor algum material contaminante, como pedras, pedaços de asfalto, galhos e outros que não tenham sido segregados no processo de coleta de resíduos (BRK AMBIENTAL, 2015; DYNABASE, 2019).

Após a operação de homogeneização, o material tratado deve ser estocado em pilhas de pequenos volumes. É necessário realizar a sua proteção com lona, para que suas

características não sejam modificadas nos períodos chuvoso, assim como acondicionar o material reciclado no estoque em pequenos volumes, para que a manutenção da umidade com aspersão manual possa ser executada. Estes estoques devem ser identificados e ensaiados por amostragem, para se obter a capacidade de suporte (CBR) representativa da pilha (BRK AMBIENTAL, 2015; DYNABASE, 2019).

O material tratado e armazenado na área de estoque é enviado para as obras das redes e ramais coletores de esgoto em volumes suficientes, devendo haver um controle para que não haja a ocorrência de estoques temporários nas próprias obras. Esta ação é imprescindível para que não seja ocasionada a perda do controle da umidade, garantindo assim a boa qualidade dos aterros, bem como evitar o carreamento do solo tratado para a rede de drenagem de águas pluviais em dias chuvosos (BRK AMBIENTAL, 2015; DYNABASE, 2019).

É importante não só no transporte do transbordo para a unidade de tratamento, como também da unidade de tratamento para as obras, que o material tratado tenha seu transporte identificado e rastreado por ficha de transporte, constando a data e a hora da saída do material, o endereço de seu destino e a hora de entrega na frente de serviço (BRK AMBIENTAL, 2015).

O material enviado para a obra é espalhado dentro da vala em camadas inferiores a 30 cm e compactado com o uso de compactadores de placa vibratória tipo CM20 ou CM30. A experiência da BRK Ambiental (2015), é que se tem obtido desde a aplicação do material reciclado, resultados de CBR superiores a 35% e Compactação Média de 103% do PN, com desvio padrão de 2% em mais de 400 ensaios realizados nos aterros das valas e cavas.

É importante frisar que de acordo com alteração feita em 2012, da resolução número 307 de 2002 do CONAMA, onde são estabelecidos os critérios para gestão dos resíduos de construção civil, se tem que no seu art. 4º, parágrafo primeiro: “Os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos sólidos urbanos, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei.” (CONAMA, 2002, p. 04).

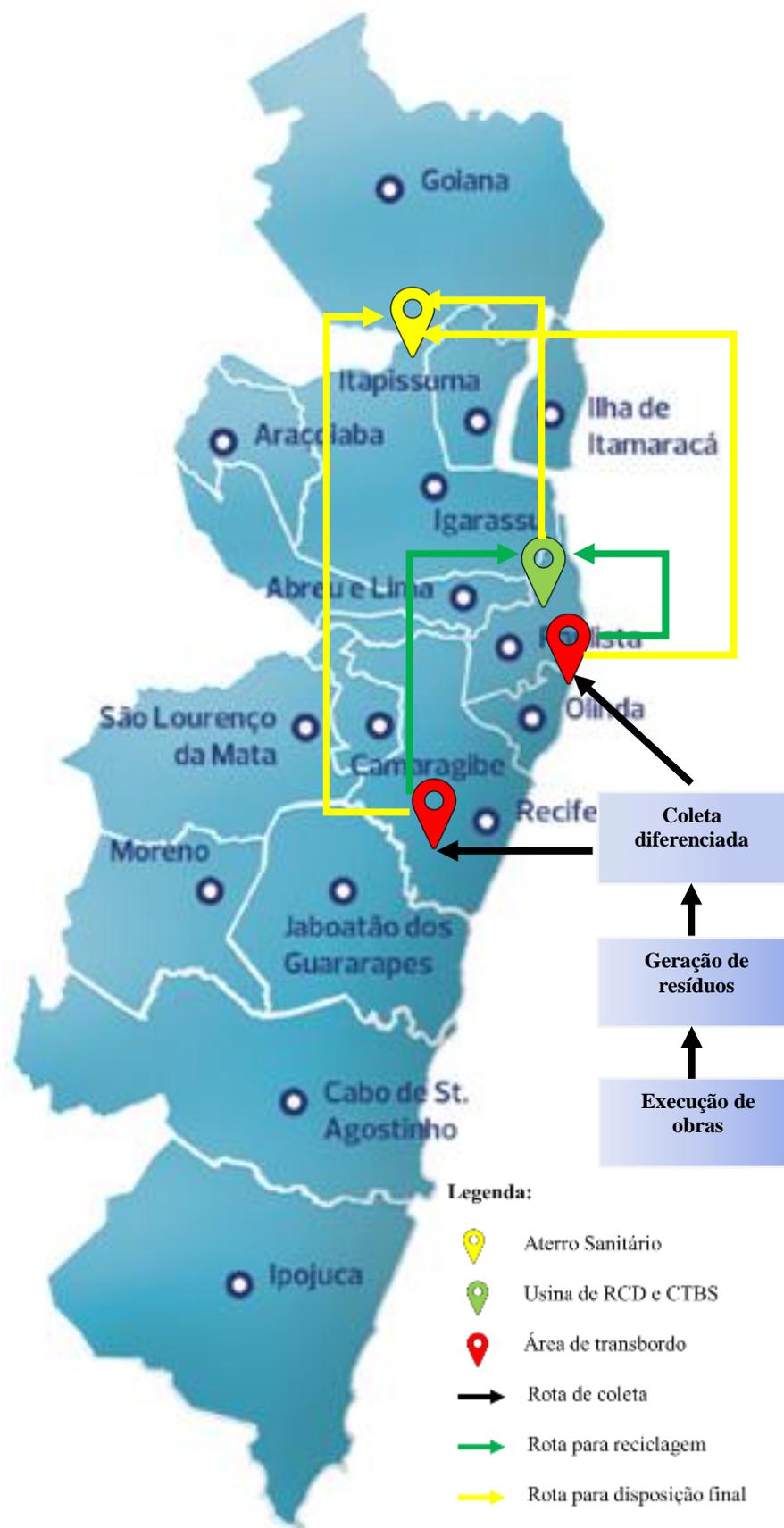
Sendo assim, apesar de ainda não ser fielmente aplicada em função das problemáticas apresentadas para cumprimento do que se dispõe, já existe a determinação em Lei para que a destinação dos resíduos de construção civil não mais ocorra em aterros sanitários, muito menos em locais de “bota fora”. Desta forma, perante o que preconiza a legislação, se vê a necessidade de buscar alternativas para reciclagem de resíduos de construção e demolição das obras de redes e ramas coletores de esgoto.

Além da análise dos entulhos em si, para decisão de como se dará o processo de

reciclagem dos resíduos de construção e demolição, assim como das unidades de reciclagem, transbordo e afins, se faz necessário visualizar como se dará a dinâmica de produção e seus devidos fluxos (BARROS, 2012).

Sendo assim, após definição das rotas tecnológicas sugeridas para os resíduos de demolição e escavação de obras de redes de esgoto, bem como indicação da localização geográfica das unidades de transbordo e de tratamento, foi possível ter uma visão geral e espacial de todas as proposições apresentadas para implantação de futuros processos de reciclagem dos RCD estudados (Figura 59):

Figura 59 - Rotas tecnológicas e distribuição geográfica de unidades de transbordo, tratamento e disposição final.



Fonte: Autor (2019).

A identificação da localização das unidades componentes das áreas de manejo de resíduos de construção e demolição são importantes para que a partir das distâncias necessárias para transporte de RCD por entre as unidades, seja avaliada seus respectivos custos. A partir do estudo realizado por Ulubeyli, Kazaz e Arslan (2017, tradução nossa), com base na bibliografia de diversos autores, se viu que as distâncias entre as unidades recicladores e as demais unidades das áreas de manejo devem possuir distância entre 15 a 50 km. Essa premissa tem o objetivo de manter o preço do transporte inferior ao custo com aquisição de materiais virgens. Ainda segundo Coelho e Brito (2013a) os processos de transporte dos RCDs são os com maior possibilidade de geração de impactos ambientais negativos.

Ao final dos estudos se tem que as obras executadas na Região Metropolitana do Recife, contemplando 15 municípios, deverão ter seus RCD coletados de forma diferenciada e transportados em equipamentos adequados para áreas de transbordo. As áreas de transbordo localizadas nos municípios de Recife e Olinda, respectivamente nas unidades ETES-01 Ignêz Andreazza e EEJ-01 Fragoso, deverão ter estrutura necessária para acondicionamento desses materiais, bem como manter suas características através da segregação, preservando as condições necessárias para tratamento ou destinação final.

Os resíduos identificados como rejeitos, deverão ser transportados para o Aterro Sanitário CTR Igarassu, localizado no município de Igarassu, de maneira serem dispostos da forma adequada no meio ambiente.

Os resíduos passíveis a processos de reciclagem, tratamento ou beneficiamento deverão seguir da área de transbordo para a unidade de tratamento de esgoto ETEJ-01 Janga, por meio de transporte adequado. Nesta unidade foi proposta a implantação da Central de Tratamento e Beneficiamento de Solos, como também da Usina de Reciclagem de RCDs, onde os resíduos serão transformados em agregados reciclados e solo tratado. Ainda assim, eventuais resíduos direcionados para ETEJ-01 Janga podem ser identificados como rejeitos, durante a execução dos processos tratamento e beneficiamento. Tais resíduos deverão ser destinados para o Aterro Sanitário da CTR Igarassu.

6 CONCLUSÃO

Tendo em vista os atuais índices baixos de esgotamento sanitário no Brasil, se vê que ainda se faz necessária a realização de muitas obras para implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário. Esse cenário reflete diretamente na geração de resíduos de obras em redes e ramais coletores de esgoto, não só na fase de implantação, mas também durante a operação e manutenção desses dispositivos.

A avaliação dos resíduos de pavimentação e escavação gerados em obras de manutenção de redes coletoras de esgoto, trazendo subsídios para gestão ambiental, se mostrou um passo importante para a mudança dos paradigmas em relação aos resíduos das obras de infraestrutura de saneamento, uma vez que foram propostas alternativas para reaproveitamento desses resíduos, comumente dispostos aterros, sem antes serem esgotadas todas as possibilidades para reaproveitamento dos mesmos.

A etapa de diagnóstico demonstrou que as atividades realizadas nas obras de redes e ramais coletores de esgoto que mais geram resíduos são as relativas à escavação e demolição de pavimento. No levantamento de aspectos e impactos ambientais se viu que nas etapas de escavação e demolição de pavimentação há a ocorrência de impactos ambientais em função da geração de resíduos, assim como no reaterro e recomposição de pavimentação há impactos ambientais em função de necessidade de exploração de recursos naturais, para reposição dos materiais escavados ou demolidos. O levantamento dos quantitativos de obras geradas, como os custos relativos ao gerenciamento de resíduos e aquisição de novos materiais foram importantes para subsídio das etapas seguintes de estimativa para as várias fases do projeto.

Foi visto que o pavimento do tipo asfalto forma o maior quantitativo de resíduos de pavimento, sendo responsável por 61% de todo o material de pavimentação demolido. O solo escavado nas obras de rede e ramal coletores de esgoto só foi reaproveitado em 15% de todas as obras realizadas. De modo abrangente, 69% do volume total de material de escavação e demolição é disposto em aterro sanitário, enquanto 31% é reaproveitado *in loco*. O conhecimento das rotas tecnológicas existentes, evidenciou que não existe coleta diferenciada dos resíduos, onde os mesmos são misturados nos processos de coleta, transporte e transbordo, o que inviabiliza os processos de reutilização ou reciclagem destes resíduos.

A proposição de indicadores de geração de resíduos apresentou dados que auxiliarão os gestores da área, na estimativa de geração de resíduos futuros sistemas de esgotamento sanitário a serem operados. A partir do *dashboard*, a estimativa de resíduos gerados na

manutenção de redes e ramais coletores de esgoto, assim como os custos incorridos com seu gerenciamento e necessidade de aquisição de novos insumos, auxiliará os gestores no gerenciamento de resíduos das redes e ramais coletores de esgoto de SES a serem implantados ou recebidos.

A estimativa é de que se os moldes de gestão de resíduos continuarem, aproximadamente R\$ 32 milhões serão gastos com gerenciamento e aquisição de novos insumos até o fim da concessão. Com base nos indicadores, foi possível estimar o quantitativo de obras, geração de resíduos e custos com gerenciamento e novos materiais, para meses e anos de operação, como também para as fases de implantação e universalização dos Sistemas de Esgotamento Sanitário.

A proposição de rotas tecnológicas para destinação ou disposição dos resíduos de demolição e escavação de redes e ramais de esgoto apresentou bons resultados, uma vez que foi possível encontrar alternativas para reutilização ou reciclagem dos resíduos e, quando não possível realizar a destinação, dispendo os demais de forma adequada em aterros. As novas rotas tecnológicas propostas demonstraram que há uma probabilidade de reaproveitamento em até 87% de todo o volume de resíduos que é disposto em aterro.

Reforça-se, portanto, a importância em realizar antes de qualquer início de projeto ou atividade, uma avaliação a respeito dos resíduos a serem gerados. A análise deve contemplar o estudo dos aspectos dos resíduos do início ao fim de suas cadeias de produção, de modo a viabilizar alternativas para destinação adequada, como a reutilização ou a reciclagem, antes de dispor os mesmos em aterros sanitários. Este tipo de postura acaba por beneficiar o meio ambiente, uma vez que contribui para redução de impactos ambientais, aumentando o tempo de vida útil dos aterros sanitários e reduzindo a extração de recursos naturais. Ainda assim, a reutilização ou reciclagem dos resíduos reduzem os custos com gerenciamento de resíduos, como também de aquisição de novos insumos.

Para trabalhos posteriores nessa linha de pesquisa é sugerida a realização de testes em laboratório para atestar a aplicabilidade dos resíduos de demolição de pavimento e escavação na fabricação de concreto com agregado reciclado, assim como para aplicação do solo tratado para uso nas camadas de pavimentação. A avaliação dos aspectos e impactos ambientais inerentes às novas tecnologias ou processos a serem implantados a partir das rotas tecnológicas precisam ser melhor estudados. É importante que os custos de implantação das novas tecnologias ou processos sejam avaliados, de forma a analisar o *payback* do investimento em relação aos custos com disposição em aterros sanitários e aquisição de novos insumos. De modo geral, é recomendado o estudo aprofundado das rotas tecnológicas

propostas e seus aspectos técnico, econômico, social, ambiental e legal, de modo a comprovar suas devidas viabilidades.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12266**: Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13221**: Transporte terrestre de resíduos. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14486**: Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário - Projeto de redes coletoras com tubos de PVC. Rio de Janeiro, 2000.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15112**: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004b.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004f.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15114**: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004c.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004d.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Rio de Janeiro, 2004e.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7367**: Projeto e assentamento de tubulações de PVC rígido para sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8849**: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1985.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986b.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9649**: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9814**: Execução de rede coletora de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.

AEGEA. **Cuidados básicos evitam transtornos com a rede de esgoto**. 2012. Disponível em:
<<http://www.aegea.com.br/2013/07/cuidadosbasicosevitamtranstornoscomarededeesgoto/>>. Acesso em: 07 jul. 2017.

AIDONIS, D. et al. **DECONRCM: a web-based tool for the optimal management of waste from construction activities**. In: 1st Logistics International Conference, Belgrade, Serbia, 28 - 30 November 2013. Disponível em: <<http://logic.sf.bg.ac.rs/wp-content/uploads/Papers/ID-44.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2017.

ANGULO, S. C. et al. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. **Eng Sanit Ambient**, v. 16, n. 3, p. 299-306, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n3/v16n3a13>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

AZEVEDO NETTO, J. M. et al. **Sistemas de esgotos sanitários**. CETESB, 1977.

BARROS, R. T. V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. 2012. Belo Horizonte: Ed.Tessitura, 2012.

BOHN, F. P. **Tratamento do efluente gerado na lavagem de veículos**. 2014. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Panambi. 2014. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/2289>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

BORGES, K. L. **Análise e redimensionamento das estações elevatórias de esgoto no município de Araguari-MG**. In: Anais de VII Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, Caxias do Sul, 2003. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/49051403-Analise-e-redimensionamento-das-estacoes-elevatorias-de-esgoto-no-municipio-de-araguari-mg.html>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

BRASIL. **Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2 de agosto de 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017**. Brasília: SNS/MDR, 2019. 226 p.: il. Disponível em: <<http://snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>>. Acesso em: 14 out. 2017.

BRITO, L. C.; PARANHOS, H., S. Estabilização de Solos. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Edição 06. Ano 02, Vol. 01. pp 425-438, Setembro de 2017. ISSN:2448-0959. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wp-content/uploads/artigo-cientifico/pdf/estabilizacao-de-solos.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

BRK AMBIENTAL. **Aproveitamento de Resíduos: Material Proveniente de Escavação de Obras**. Encontro Sustentabilidade 2015,.

BRK AMBIENTAL. **Reuso de Resíduos do CTR**. Prêmio automação e eficiência. 2012.

BRK AMBIENTAL. **Utilização de resíduos de construção civil para reaterro e compactação de serviços de manutenção de redes de esgoto em Rio Claro**. Prêmio automação e eficiência. 2014.

CADETE, A. N. M.; OLIVEIRA, J. T. R.; FERREIRA, S. R., M. **Resistência não drenada de uma argila orgânica mole no bairro Chão de Estrelas na cidade do Recife-PE avaliada por meio de ensaios de campo e laboratório**. In: Anais XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica 2016. Belo Horizonte, ABMS, 2016. p. 1-8. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Silvio_Ferreira2/publication/309223226_Resistencia_nao_drenada_de_uma_argila_organica_mole_no_bairro_Chao_de_Estrelas_na_cidade_do_Recife-PE_avaliada_por_meio_de_ensaios_de_campo_e_laboratorio/links/590c5ac2aca272db9ca6de7f/Resistencia-nao-drenada-de-uma-argila-organica-mole-no-bairro-Chao-de-Estrelas-na-cidade-do-Recife-PE-avaliada-por-meio-de-ensaios-de-campo-e-laboratorio.pdf?origin=publication_detail>. Acesso em: 02 jun. 2019.

CARNEIRO, A. P. et al. **Caracterização do entulho de Salvador visando a produção de agregado reciclado**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENTAC, 2000, Salvador. Disponível em: <http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_124953_pdf_3.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

CAVALCANTE, R. S. **Esgoto não é lixo: um pensar reflexivo acerca de resíduos sólidos presentes nos esgotos**. 2014. 57f. Monografia de especialização - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Medianeira, 2014. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4277/1/MD_GAMUNI_2014_2_64.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

CESAN. Companhia Espírito-santense de Saneamento. **Redes de esgoto e redes de drenagem: você sabe a diferença?** 2010. Disponível em: <<https://www.cesan.com.br/noticias/redes-de-esgoto-e-redes-de-drenagem-voce-sabe-a-diferenca-2/>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

CICLO AMBIENTAL. **Serviços prestados**. 2019. Disponível em: <<http://cicloambientalrcc.com.br/site/home/>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

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. 2013a. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612004465>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

COELHO, A.; BRITO, J. Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal–part II: economic sensitivity analysis. **Journal of cleaner production**, v. 39, p. 329-337, 2013. 2013b. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612002296>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

COMPESA. Companhia Pernambucana de Saneamento. **Sistema Integrado de Gestão de Serviços de Saneamento, GSAN**. 2019. Disponível em: <<https://lojavirtual.compesa.com.br:8443/gsan/efetuarLoginAction.do>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307, de 05 de julho 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 17 jul. 2002.

COPASA. **Uso da Rede de Esgoto**. 2017. Disponível em: <<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/copasaorienta/conteudos/usodarededeesgoto>>. Acesso em: 07 jul. 2017.

CRISTELO, N. **Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal**. 2001. Tese de Doutorado - Universidade do Minho, Braga, 2001. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/150>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

CTR-PE IGARASSU. **Central de Tratamento de Resíduos de Igarassu**. 2019. Disponível em: <<http://www.ctrpe.com.br/site/>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

DEBIASI, L. R. et al. **Aspectos promotores de impactos ambientais decorrentes da implantação de redes de coleta de esgoto sanitário no município de Dionísio Cerqueira-SC**. 2012. 111f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/126176/TCC%20II%20Let%20C3%20ADcia%20Debiasi%20FINALL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

DIAS, A. P.; ROSSO, T. C. A. Análise dos Elementos Atípicos do Sistema de Esgoto – Separador Absoluto – na Cidade do Rio de Janeiro. **Engevista**, v. 13, n. 3. p. 177-192, dez. 2011. Disponível em: <<http://www.comiteguandu.org.br/downloads/ARTIGOS%20E%20OUTROS/ANALISE%20DOS%20ELEMENTOS%20ATIPICOS%20DO%20SISTEMA%20DE%20ESGOTO.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT 109: Terraplenagem – Cortes Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2009.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:

<http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/>. %5Carquivos_internet%5Cipr%5Cipr_new%5Cmanuais%5CManual_de_Restauracao.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

DOSAL, E. et al. Application of multi-criteria decision-making tool to locate construction and demolition waste (C&DW) recycling facilities in a northern spanish region. **Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)**, v. 11, n. 3, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Maria_Coronado/publication/236111270_Application_of_Multi-Criteria_decision-making_tool_to_locate_construction_and_demolition_waste_CDW_recycling_facilities_in_a_northern_Spanish_region/links/540ebafa0cf2df04e756efa3.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.
DYNABASE. Estabilizante sólido: produto, ensaio, distribuição, incorporação, umidade, compactação, acabamento. 2019. Disponível em: <<http://dynabase.com.br/>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

EINSFELD, N.; LINDNER, E. A. Implantação e manutenção de redes coletoras de esgoto: estudo de caso Joaçaba, SC. **Unoesc & Ciência-ACET**, v. 6, n. 2, p. 191-200, 2015. Disponível em: <<https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/acet/article/view/6896/5079>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

EMBASA. **Rede de esgoto x rede de drenagem.** 2013. Disponível: <<http://www.embasa.ba.gov.br/content/rededeesgotoxredededrenagem>>. Acesso em: 07 jul. 2017.

FERREIRA, E. M. et al. Diagnóstico e proposições para os resíduos sólidos urbanos de Professor Jamil, GO. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, n. 3, p. 27-41, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/remoa/article/view/17547>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

FONSECA, R. M. C.; SARMENTO, A. P.; PAULA, H. M. **Estudo de caso:** processo executivo de redes coletoras de esgoto em loteamentos do município de Catalão-GO. In: XIII Simpósio Iberoamericano de redes de água, esgoto e drenagem. 2014b, Fortaleza. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Antover_Sarmento/publication/280099739_ESTUDO_DE_CASO_PROCESSO_EXECUTIVO_DE_REDES_COLETORAS_DE_ESGOTO_EM_LOTEAMENTOS_DO_MUNICIPIO_DE_CATALAO-GO/links/55a9298908aea3d086803203/ESTUDO-DE-CASO-PROCESSO-EXECUTIVO-DE-REDES-COLETORAS-DE-ESGOTO-EM-LOTEAMENTOS-DO-MUNICIPIO-DE-CATALAO-GO.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

FONSECA, R. M. C.; SARMENTO, A. P.; PAULA, H. M. Práticas executivas de redes coletoras de esgoto sanitário. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 9, n. 3. 2014a. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Antover_Sarmento/publication/280097964_Praticas_executivas_de_redes_coletoras_de_esgoto_sanitario/links/55a8fb2c08ae481aa7f82d21.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2018.

FRANCO, L.; BILOTTA, P. Implantação de um laboratório de análise da qualidade da água e efluentes de uma indústria farmacêutica. **Revista Gestão Industrial**, v. 10, n. 2, 2014. Disponível em: <<https://revistas.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/1650/1849>>. Acesso em:

23 fev. 2018.

FREITAS, K. R. **Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil**. 2002. 162f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

FUNASA. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Departamento de Saneamento. **Manual de Saneamento**. 3ª edição, Brasília, 1999. p. 14-16; 153-184.

GARCEZ, L. N. **Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial**. São Paulo: Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, 105p, 2004. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Fernando/leb360/Manual%20de%20Tecnicas%20de%20Laboratorio_Aguas%20e%20Esgotos%20Sanitarios%20e%20Industriais.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

GAVA, T.; FINOTTI, A. R. Resíduos sólidos urbanos na rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio do meio, Florianópolis/SC. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 1, n. 2, 2012. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/4716/471647097004/>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

GOMES, D. P. P. **A influência do papel higiênico no tratamento de efluente doméstico em reator UASB**. 2016. 62 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/18735>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

GRUPO ÁGUAS DO BRASIL. **Você conhece a sua rede de esgoto?** 2016. Disponível em: <<http://www.grupoaguasdobrasil.com.br/wp-content/uploads/2016/07/Voc%C3%AA-conhece-a-sua-rede-de-esgoto.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2017.

GUERRA, J. S. **GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM OBRAS DE EDIFICAÇÕES**. 2009. 108f. Dissertação de Mestrado - Universidade de Pernambuco, Recife, 2009.

GUSMÃO, A. D. **Manual de Gestão de Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Camaragibe: CCS Gráfica Editora, 2008. 140 p.

HOSSEINI, M. R. et al. Reverse logistics in the construction industry. **Waste Management & Research**, v. 33, n. 6, p. 499-514, 2015. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242x15584842>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

I&T GESTÃO DE RESÍDUOS. **Textos técnicos**. Disponível em: <<https://www.ietsp.com.br/Documentos/textos-t%C3%A9cnicos/>>. Acesso em: 26 ago. 2019.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama do Recife**. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

JOCHEM, L. F. **Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de RCD: características físicas e propriedades da microestrutura.** 2012. 221 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/99239/309267.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C., A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 3 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. 1995. 720 p. Cap. 3, 11 e 20.

JUCÁ, J. F. T. et al. **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Jaboaão dos Guarapes.** 2014. Disponível em: <<http://www.protegeer.gov.br/biblioteca/publicacoes/gestao-integrada-de-rsu/50-analise-das-diversas-tecnologias-de-tratamento-e-disposicao-final-de-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-europa-estados-unidos-e-japao>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

LAMPOGLIA, T. C.; MENDONÇA, S., R. **Alcantarillado condominial: Una estrategia de saneamiento para alcanzar los objetivos del milenio en el contexto de los municipios saludables.** 2006. Disponível em: <<http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/handle/minam/622/BIV00001.pdf?sequence=36>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

LAURITZEN, E. K. Emergency construction waste management. **Safety Science**, v. 30, n. 1-2, p. 45-53, 1998. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753598000320>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

LILIAMTIS, T. B.; MANCUSO, P. C. S. A geração de maus odores na rede coletora de esgotos do município de Pereira Barreto: um problema de saúde pública. **Saúde e Sociedade**, v. 12, n. 2, p. 86-93, 2003. Disponível em: <<http://pesquisa.bvs.br/brasil/resource/pt/lil-312971>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

MAKUSA, G. P. **Soil stabilization methods and materials in engineering practice: State of the art review.** 2013. Disponível em: <<http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A997144&dswid=-4916>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

MELO, F. P. L. **Simulação do sistema de esgotamento sanitário de Ponta Negra-Natal: mitigação dos riscos ambientais e estratégia de manutenção preditiva.** 2012. 110f. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/15997/1/FabianaPLM_DISSERT.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2018.

MENEZES, F. L. **Avaliação da qualidade de águas de drenagem urbana correlacionada aos poluentes originados pelo tráfego de veículos automotores: estudo de caso do túnel**

Rebouças na bacia contribuinte da Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ. 2004. 142f. Dissertação de mestrado - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2004/PEAMB2004FLMenezes.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

MESQUITA, A. S. G. Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí. **Holos**, v. 2, 2012. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/html/4815/481549265005/>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

MORAIS, C. F.; COLESANTI, M., T., M. Proposta de tratamento alternativo para resíduos sólidos urbanos na cidade de Uberlândia–MG. **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 52. 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/26955>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

MOUSAVI, S. E.; KARAMVAND, A. Assessment of strength development in stabilized soil with CBR PLUS and Silica sand. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, v. 4, n. 4, p. 412-421, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756416300708>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

NAKAMURA, D. B. et al. **Reciclagem de pavimentos asfálticos**. 2011. In: VII ENTEC – Encontro de Tecnologia da UNIUBE. Uberaba, 2011. Disponível em: <<https://www.uniube.br/eventos/entec/2011/arquivos/civil2.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

NEVES, M. G. F. P.; TUCCI, C. E. M. Resíduos Sólidos na Drenagem Urbana: Aspectos Conceituais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 13 n.3 Jul/Set 2008, 125-135. 2008. Disponível em: <<http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/04/Res%C3%ADduosS%C3%B3lidos08.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

NINA, A. D. et al. **Construção de redes de esgotos sanitários**. CETESB, 1975.

NUNES, K. R. A. **Avaliação de investimentos e de desempenho de centrais de reciclagem para resíduos sólidos de construção e demolição**. 2009. 276f. Tese de doutorado – Escola de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

NUVOLARI, A. et al. **Esgoto sanitário: coleta transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2011. 2ª ed. rev. Atualizada e ampl. – São Paulo: Blucher, 2011.

O CORREIO DO POVO, 2017. **Alerta do Samae: rede de esgoto não é lugar de lixo. Ligações clandestinas e redes entupidas pelo descarte irregular de materiais estão na origem da maioria de transbordamentos**. Disponível em: <<http://ocponline.com.br/meioambiente/Alertadosamaerededeesgotonaelugardelixo>>. Acesso em: 14 out. 2017.

OLIVEIRA, M. S. et al. **Identificação e Classificação de Perfis Típicos de Solos na**

Planície do Recife. In: Anais XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. 2016. Belo Horizonte, ABMS, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Silvio_Ferreira2/publication/309223073_Identificacao_e_Classificacao_de_Perfis_Tipicos_de_Solos_na_Planicie_do_Recife/links/59238cb2aca27295a8a96330/Identificacao-e-Classificacao-de-Perfis-Tipicos-de-Solos-na-Planicie-do-Recife.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

ORTIZ, O.; PASQUALINO, J. C.; CASTELLS, F. Environmental performance of construction waste: comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain. **Waste management**, v. 30, n. 4, p. 646-654, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09005005>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

PACHER, B. A.; VAZ, C. R.; OLIVEIRA, I. L. Análise do gerenciamento de resíduos de lavanderias de Ponta Grossa. **P&D em Engenharia de Produção**, v. 9, n. 2, p. 121-131, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Caroline_Vaz/publication/297032084_ANALISE_DO_GERENCIAMENTO_DE_RESIDUOS_DE_LAVANDERIAS_DE_PONTA_GROSSA/links/56df7d2e08ae9b93f79a99a8/ANALISE-DO-GERENCIAMENTO-DE-RESIDUOS-DE-LAVANDERIAS-DE-PONTA-GROSSA.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

PEDROZA, M. M. et al. Produção e tratamento de lodo de esgoto—uma revisão. **Revista Liberato**, v. 11, n. 16, 2010. Disponível em: <[http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2011,%20n.%2016%20\(2010\)/5.%20Produ%20E7%20E3o%20e%20Tratamento%20de%20Lodo%20de%20Esgoto.pdf](http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2011,%20n.%2016%20(2010)/5.%20Produ%20E7%20E3o%20e%20Tratamento%20de%20Lodo%20de%20Esgoto.pdf)>. Acesso em: 23 fev. 2018.

PEREIRA, K. L. A. **Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos.** 2012. 125f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/14841/1/KievLAP DISSERT.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2017.

PERNAMBUCO, 2016. **Lixo e mau uso do sistema de esgoto causa prejuízo à população.** Disponível em: <<http://www.pe.gov.br/blog/2016/11/09/lixoemauusodosistemadeesgotocausaprejuizoapopulacao/>>. Acesso em: 14 out. 2017.

PERNAMBUCO. COMPESA. Companhia de Saneamento de Pernambuco. **Regulamento geral do fornecimento de água e coleta de esgotos.** 1994. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Regulamento-Geral-da-Compesa-decreto_18251_211294_.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

PERNAMBUCO. **Governo do estado de Pernambuco. Relatório de Atividades Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) 2013.** 2013. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Relat%C3%B3rio%20de%20Atividades%202013.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

PERNAMBUCO. **Lei nº 14.236, de 13 de dezembro de 2010.** Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e dá outras providências. Palácio Do campo das Princesas, em

13 de dezembro de 2010.

PFALTZGRAFF, P. A. S. et al. **Sistema de informações geoambientais da Região Metropolitana do Recife**. Recife: CPRM, p. 119, 2003. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/10202>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

PINI. **Material de 1ª, 2ª e 3ª categorias**. 2014. Disponível em: <<http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/material-de-1-2-e-3-categorias-318190-1.aspx>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

PINTO, T. P. et al. Ministério das Cidades. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios**. v. 1. 196 p. Brasília: Caixa, 2005. Disponível em: <http://www.cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/Manual_RCD_Vol1.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

PITTA JUNIOR, O. S. R.; NOGUEIRA NETO, M. S.; SACOMANO, J. B.; LIMA, A. **Reciclagem do óleo de cozinha usado: uma contribuição para aumentar a produtividade do processo**. In: International workshop advances in cleaner production. 2009. São Paulo. Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4b/2/M.%20S.%20Nogueira%20-%20Resumo%20Exp.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

PRADO, G., S.; CAMPOS, J., R. **Determinação da quantidade de areia no esgoto sanitário: metodologia e estudo de caso**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 13, n. 3, p. 306-312, 2008. Disponível em: <http://www.producao.usp.br/bitstream/handle/BDPI/4349/art_CAMPOS_Determinacao_da_quantidade_de_areia_no_esgoto_2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 fev. 2018.

PRODETEC. **Pesos específicos de materiais**. 2019. Disponível em: <http://www.prodetc.com.br/downloads/pesos_especificos.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

R7, 2013. **Descarte de lixo em rede de esgoto provoca transtornos e prejuízo de R\$ 28 milhões por ano em SP**. Disponível em: <<http://noticias.r7.com/saopaulo/descartedelixoemrededeesgotoprovocatranstornoseprejuizoder28milhoesporanoemsp25032013>>. Acesso em: 14 out. 2017.

RABELO, R. A.; FERREIRA, O., M. Coleta seletiva de óleo residual de fritura para aproveitamento industrial. **Universidade Católica de Goiás**, v. 6, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268297697_COLETA_SELETIVA_DE_OLEO_RESIDUAL_DE_FRITURA_PARA_APROVEITAMENTO_INDUSTRIAL>. Acesso em: 02 jun. 2019.

RAMYA, K.; PUSHPAVALLI, M. Survey On Sewage Maintanance System. **International Journal for trends in Engineering & Technology** Volume 20 issue 1 –february 2017 -

ISSN: 2349 – 9303. 2017. Disponível em: <<http://ijtet.com/wp-content/plugins/ijtet/file/upload/docx/2787IJTET2001004-pdf.pdf>>.

RECESA. **Esgotamento sanitário: operação e manutenção de estações elevatórias de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 1 / Ministério das Cidades.** Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). 2008b. Brasília: Ministério das Cidades, 2008. 48 p.

RECESA. **Esgotamento sanitário: operação e manutenção de redes coletoras de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 2 / Ministério das Cidades.** Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). 2008. Brasília: Ministério das Cidades, 2008a. 78 p.

RECESA. **Resíduos Sólidos: gerenciamento e reciclagem de resíduo de construção e demolição – RCD: guia do profissional em treinamento: níveis 1 e 2 /** Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org). 2008c. Salvador: ReCESA, 2008. 76 p.

REGUS, R. C. **Manutenção de motobombas centrífugas submersíveis.** 2011. 86f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/33107/000787170.pdf?sequence=1>>.

Acesso em: 02 jun. 2019.

REQUE, P. T.; KUNKEL, N. Quantificação do óleo residual de fritura gerado no município de Santa Maria-RS. **Disc. Scientia.** Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, v. 11, n. 1, p. 50-63, 2010. Disponível em: <

<https://periodicos.unifra.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1266/1198>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

RODRIGUES, C. B. **Blocos de concreto produzidos com agregados reciclados mistos: avaliação das propriedades físicas, mecânicas e térmicas.** 2015. 143f. Dissertação de Mestrado - Universidade de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: <http://pecpoli.com.br/exibir_teses/2015>. Acesso em: 23 fev. 2018.

RODRIGUES, D. C. **Proposição de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos para o Centro Integrado de Operação e Manutenção da CASAN (CIOM).** 2015. 127f.

Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,

2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/160198>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

SANTOS JÚNIOR, M. A. **Projeto maiores consumidores de água do Recife: análise para interligação no Sistema de Esgotamento Sanitário.** 2015. 98f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário Maurício de Nassau, Recife: 2015.

SANTOS, J. O. et al. Estimativa de emissões de GEE devido ao transporte de resíduos em estações elevatórias de esgoto na área de atuação da Embasa - BAHIA, BRASIL. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica**, v. 9, n. 1, p. 75-88. 2016. Disponível em:

<<http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/55024/48862>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

SARSHAR, N.; HALFAWY, M. R.; HENGMEECHAI, J. Video processing techniques for

assisted CCTV inspection and condition rating of sewers. **Journal of Water Management Modeling**, p. 129-147, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Mahmoud_Halfawy/publication/44742953_Video_Processing_Techniques_for_Assisted_CCTV_Inspection_and_Condition_Rating_of_Sewers/links/00b495371419abdb90000000/Video-Processing-Techniques-for-Assisted-CCTV-Inspection-and-Condition-Rating-of-Sewers.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2018.

SELINGARDI JUNIOR, T. **Gestão de redes coletoras de esgotos modalidade condominial**. 2013. 58f. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Pernambuco, Recife: 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/12478>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

SILVA, A. B.; MACIEL, J. C. S. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. **Revista Igapó-Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM**, v. 3, 2014. Disponível em: <<http://200.129.168.183/ojs/index.php/igapo/article/view/214/179>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

SILVA, A.; CANOZZO, M. A. R.; FEHR, M. Modelo gerencial da rede de esgoto do município ideal de Toribaté/Sewage network management model of the ideal municipality of Toribate. **Caminhos de Geografia**, v. 5, n. 13, 2004. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/viewFile/15363/8662>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

SILVA, L. F. F.; SILVA, M. A. **Resíduos sólidos na construção civil: qual o custo de sua destinação e tratamento?** In: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2016. Disponível em: <<https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/4101>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

SOBRINHO, P. A.; TSUTIYA, M. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. 548 p. Cap. 1, 2 e 3.

SOUTSOS, M.; FULTON, M. Recycling of demolition waste in Merseyside. **Construction Materials**, v. 169, p. 54-66, 2015. Disponível em: <<https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/coma.15.00012>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

SOUZA NETO, J. B. **Comportamento de um solo colapsível avaliado a partir de ensaios de laboratório e campo, e previsão de recalques devidos à inundação (colapso)**. 2004. 468f. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/pt/component/docman/?task=doc_download&gid=767&Itemid=>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

SOUZA, J. C. S. S. et al. Potenciais impactos causados por obras civis em aquíferos costeiros: estudo de caso. 2011. **Águas Subterrâneas**. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22074>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

SOUZA, M. A.; FUSS, M.; VARELLA, C. V. S.; LIMA, F., P., A. **Lixo zero: por uma rota tecnológica alinhada às diretrizes da política nacional de resíduos sólidos**. 2016. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/160331_livro_catadores_cap_18.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

SOUZA, N. F. O.; SOARES NETO, J. L. **Caracterização do potencial poluidor por salões de beleza em Palmas-TO**. Disponível em: <http://www.catolica-to.edu.br/portal/portal/downloads/docs_gestaoambiental/projetos2009-2/4-periodo/Caracterizacao_do_potencial_poluidor_por_saloes_de_beleza_em_palmas-to.pdf>. Acesso em: 14 out. 2017.

TA'NEGONBADI, B.; NOORZAD, R. Stabilization of clayey soil using lignosulfonate. **Transportation Geotechnics**, v. 12, p. 45-55, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214391216301349>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

TOJO, N.; FISCHER, C. Europe as a Recycling Society. European Recycling Policies in relation to the actual. **ETC/SCP working paper**, n. ETC/SCP working paper 2/2011, 2011. Disponível em: <<https://lup.lub.lu.se/search/publication/2303681>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

TRATA BRASIL. **Manual de Saneamento Básico: Entendendo o Saneamento Básico Ambiental no Brasil e a sua importância socioeconômica**. 2012. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estudos/pesquisa16/manual-imprensa.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R. Contribuição de Águas Pluviais em Sistemas de Esgoto Sanitário no Brasil. **Água Latinoamérica. ADIS - Asociación Dominicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**. jul./ago. 2004.

TUCCI, C., E., M. Gerenciamento da drenagem Urbana. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 7 n.1 Jan/Mar 2002, 5-27. 2001. Disponível em: <<http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/GEREN02.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

UFPR. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Estabilização com aditivos**. 2019. Disponível em: <www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/Texto%20Complementar.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

ULUBEYLI, S.; KAZAZ, A.; ARSLAN, V. Construction and demolition waste recycling plants revisited: management issues. **Procedia Engineering**, v. 172, p. 1190-1197, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817306458>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

VON SPERLING. **Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgotos/Marcos**

Von Sperling. – 2. ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais; 1996. Cap. 4.

WORLD HEALTH ORGANIZATION et al. "**Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene – 2017 Update and SDG Baselines**". 2017. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/258617/9789241512893-eng.pdf;jsessionid=830650BF1D8D91C92E6F34349030DC0B?sequence=1>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

YEUNG, A. T. Construction and demolition materials management in Hong Kong. **Municipal Engineer**, v. 161, p. 43-49, 2008. Disponível em: <<https://hub.hku.hk/bitstream/10722/150481/1/content.pdf?accept=1>>. Acesso em: 14 out. 2017.