

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**SELEÇÃO DE LOCAIS PARA COMPOSTAGEM
DESCENTRALIZADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS
GERADOS EM ESCOLAS PÚBLICAS DO DISTRITO
FEDERAL**

RAQUEL MARTINS DA SILVA

ORIENTADOR: FRANCISCO JAVIER CONTRERAS PINEDA
CO-ORIENTADORA: ÉLEN DÂNIA SILVA DOS SANTOS

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL II EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO/2019

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**SELEÇÃO DE LOCAIS PARA COMPOSTAGEM
DESCENTRALIZADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS
GERADOS EM ESCOLAS PÚBLICAS DO DISTRITO FEDERAL**

RAQUEL MARTINS DA SILVA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

**FRANCISCO JAVIER CONTRERAS PINEDA, PhD (ENC/UNB)
(ORIENTADOR)**

**ÉLEN DÂNIA SILVA DOS SANTOS, MSc. (ADASA)
(CO-ORIENTADORA)**

**ARIUSKA KARLA BARBOSA AMORIM, PhD (ENC/UNB)
(EXAMINADORA INTERNA)**

**VANESSA FERNANDA SCHMITT, MSc. (ADASA)
(EXAMINADORA EXTERNA)**

**LINDA SORAYA ISSMAEL, PhD (DSG/EB)
(EXAMINADORA EXTERNA)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 06 DE DEZEMBRO DE 2019.

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, RAQUEL MARTINS

Seleção de locais para compostagem descentralizada de resíduos sólidos orgânicos gerados em escolas públicas do Distrito Federal

ix, 85 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2019)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Saneamento Básico

2. Resíduos Sólidos Urbanos

3. Compostagem descentralizada

4. Network Analyst

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, R. M. (2019). *Seleção de locais para compostagem descentralizada de resíduos sólidos orgânicos gerados em escolas públicas do Distrito Federal*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 91 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: Raquel Martins da Silva

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Seleção de locais para compostagem descentralizada de resíduos sólidos orgânicos gerados em escolas públicas do Distrito Federal

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2019

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Raquel Martins da Silva

raquelmartins2008@hotmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus que está comigo em todos os momentos e que a quem me agarrei nos momentos de desespero

Agradeço a minha família que desde o início me deu todo o suporte necessário para a minha formação e que me aguentaram e apoiaram quando eu achei que não conseguiria. Principalmente a minha mãe, que não mede esforços para me proporcionar o máximo de conforto possível.

Agradeço aos meus amigos da graduação, aqueles que compartilharam tantos momentos de desespero durante as disciplinas e que sempre me mostraram apoio e que confiaram no meu potencial de concluir este trabalho. Minha companheira desde DT e que levarei para a vida, Giovanna. Ao Gustavo e Anne, que também estão juntos comigo desde o primeiro semestre de curso. Depois apareceram meus calouros, Lucas e Matheus, que sentirei muita falta também.

Gostaria de fazer um agradecimento especial ao meu veterano Victor, vulgo, Caçula, que me ajudou demais na realização desse trabalho, não há palavras suficientes para demonstrar a minha gratidão.

As minhas amigas desde a época da escola, Creuza e Layane, que são como irmãs, e, que apesar de não ser da área delas, me apoiaram e me incentivaram por todo o caminho de formação.

Agradeço ao meu orientador Francisco Contreras, assim como a minha Co-orientadora Élen Dânia, pelos conselhos e orientações que enriqueceram o meu trabalho. Agradeço também a toda equipe da Adasa, onde fiz estágio e que colaboraram com este projeto.

Agradeço aos diretores das escolas que abriram as portas das instituições e acreditaram no meu trabalho.

Por fim, agradeço todos aqueles que auxiliaram direta ou indiretamente neste trabalho.

RESUMO

O saneamento básico é definido como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais, dividido em quatro vertentes: abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais. Apesar dos resíduos sólidos urbanos possuírem mais de 90% de cobertura de coleta indiferenciada, a disposição final em 40,9% ainda é feita de maneira inadequada. Os resíduos sólidos orgânicos compõem em média mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. Entretanto, nem 2% desse total é transformado em composto, ou seja, a maioria é enviada para a destinação final antes de passar por tratamento. A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece que na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos a seguinte ordem de prioridades deve ser seguida: não geração, redução, reutilização, tratamento e disposição final ambientalmente adequada. A compostagem é um método de tratamento da fração de orgânicos, que pode ser desenvolvido em diversas escalas. As grandes usinas não têm mostrado grande desempenho em termos de qualidade do composto, em contrapartida, algumas iniciativas de compostagem descentralizada estão demonstrando sucesso. Este trabalho propõe uma metodologia para alocar pátios de compostagem descentralizada. Com vistas a aplicar tal metodologia, foi realizado estudo de caso para os resíduos orgânicos das escolas públicas do Distrito Federal. Constatou-se uma geração diária de 1.318 kg de resíduos sólidos orgânicos nas escolas públicas da região administrativa de Taguatinga, área de estudo definida a partir de critérios. Para tal quantidade, é necessário que o pátio de compostagem descentralizada tenha uma área mínima de 1.199,5 m², que foi alocado respeitando os critérios determinados na metodologia deste estudo e com o auxílio da ferramenta de geoprocessamento (Network Analyst do ArcGIS).

Palavras-chave: Saneamento Básico; Resíduos Sólidos Urbanos; Compostagem Descentralizada; *Network Analyst*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. SANEAMENTO BÁSICO	4
3.2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	6
3.3. RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS	9
3.4. TRATAMENTO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS	10
3.5. RESÍDUOS SÓLIDOS DE ESCOLAS PÚBLICAS	16
3.6. GEOPROCESSAMENTO NO GERENCIAMENTO DE RSU	19
3.7. REMUNERAÇÃO E CUSTEIO DOS SERVIÇOS DE MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	21
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
4.1. COMPOSTAGEM	23
4.2. TIPOS DE COMPOSTAGEM	26
4.2.1. Sistema de leiras revolvidas (windrow)	26
4.2.2. Sistemas de leiras estáticas aeradas	28
4.2.3. Sistemas fechados ou reatores biológicos (In-vessel)	28
4.3. COMPOSTAGEM DESCENTRALIZADA	30
4.3.1. Experiências de compostagem descentralizada	31
4.4. CRITÉRIOS PARA UNIDADES DE DESTINAÇÃO DE RSU	34
4.5. APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO	36
4.5.1. Raster Calculator	37
4.5.2. Network Analyst	38
5. METODOLOGIA	41
5.1. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS	42
5.2. ESTIMATIVA DOS RSO GERADOS	43
5.3. DEFINIÇÃO DA ÁREA MÍNIMA PARA O PÁTIO DE COMPOSTAGEM	44
5.4. PROCESSAMENTO DOS DADOS ESPACIAIS	46
5.5. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS CUSTOS ENVOLVIDOS	47
6. ESTUDO DE CASO	48
6.1. CARACTERIZAÇÃO	48
6.2. ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO	51
6.3. ESCOLHA DAS ESCOLAS	54

6.3.1.	Caracterização das escolas	54
6.3.2.	Coleta de dados nas escolas	55
6.4.	SELEÇÃO DA ÁREA PARA OS PÁTIOS DE COMPOSTAGEM	57
6.5.	ASPECTOS ECONÔMICOS	59
6.5.1.	Remuneração dos serviços de manejo de resíduos sólidos	59
6.5.2.	Levantamento preliminar dos custos	60
7.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
7.1.	ESTIMATIVA DOS RSO GERADOS	65
7.2.	DIMENSIONAMENTO DA ÁREA MÍNIMA	67
7.3.	ÁREAS DISPONÍVEIS PARA A INSTALAÇÃO DE PÁTIOS DE COMPOSTAGEM	68
7.4.	ÁREAS SELECIONADAS	69
7.5	AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS CUSTOS DO PÁTIO DE COMPOSTAGEM	76
8.	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
	APÊNDICE A1	94
	APÊNDICE A2	95
	APÊNDICE A3	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Gráfico da composição gravimétrica dos resíduos sólidos produzido em escolas

Figura 4.1 Esquema simplificado do processo de compostagem

Figura 4.2 Comparação entre os métodos de compostagem

Figura 4.3 Exemplo de caixa de diálogo da ferramenta Raster Calculator

Figura 5.1 Etapas metodológicas

Figura 5.2 – Fluxograma do uso da Raster Calculator

Figura 6.1 Escolas públicas na região administrativa de Taguatinga

Figura 6.2 Separação dos resíduos orgânicos antes da pesagem

Figura 6.3 Recipiente utilizado para colocar os resíduos sólidos orgânicos

Figura 6.4 Fluxograma da rota dos resíduos de Taguatinga e seus respectivos valores

Figura 7.1 Localização das áreas disponíveis para instalação de pátio de compostagem

Figura 7.2 Mapa da representação do cenário 1

Figura 7.3 Mapa da representação do cenário 2

Figura 7.4 Mapa da representação do cenário 3

Figura 7.5 Mapa da densidade urbana de Taguatinga e a localização de áreas disponíveis

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Índice de atendimento dos serviços de saneamento básico no Brasil – 2017

Tabela 3.2 Estudos realizados sobre compostagem

Tabela 4.1 Comparação entre as dimensões das leiras e áreas necessárias para a compostagem, pelo sistema de leiras revolvidas

Tabela 4.2 Nome e área dos pátios de compostagem do Programa Feiras e Jardins Sustentáveis – São Paulo

Tabela 4.3 Informações de experiências de compostagem descentralizada no Brasil

Tabela 6.1 Densidade escolar do DF

Tabela 6.2 Tipo e quantidade das escolas públicas de Taguatinga

Tabela 6.3 Distâncias de transporte e transferência dos resíduos sólidos provenientes da coleta convencional e rejeitos no DF

Tabela 7.1 - Quantitativo dos resíduos orgânicos do CEF 19

Tabela 7.2 - Quantitativo dos resíduos orgânicos da EC 27

Tabela 7.3 - Quantitativo dos resíduos orgânicos do CEMTN

Tabela 7.4 - Quantitativo dos resíduos orgânicos do CEI 08

Tabela 7.5 Geração per capita de resíduos orgânicos

Tabela 7.6 Média de alunos por tipo de escola

Tabela 7.7 Características das leiras

Tabela 7.9 Quadras e áreas dos locais disponíveis Tabela 6.4 Itens da estrutura mínima para implantação de pátio de compostagem e respectivos custos

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ABRELPE – Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

Adasa – Agência Reguladora de águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal.

ASB – Aterro Sanitário de Brasília

CH₄ – Gás Metano

C/N – Carbono / Nitrogênio

CED – Centro Educacional

CEE – Centro de Ensino Especial

CEF – Centro de Ensino Fundamental

CEI – Centro de Ensino Infantil

CEM – Centro de Ensino Médio

CIL – Centro Interescolar de Línguas

CO₂ – Dióxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal

CONSAB – Conselho de Saneamento Básico do Distrito Federal

CONSANE – Conselho Nacional de Saneamento Básico

DF – Distrito Federal

EC – Escola Classe

GEE – Gases de Efeito Estufa

H₂S - Sulfeto de Hidrogênio

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

LDNSB – Lei de Diretrizes Nacionais de Saneamento Básico

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NIMBY – Not in my back Yard

PDGIRS - Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PDOT - Plano Diretor de Ordenamento Territorial

PGIRS - Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PLANASA – Plano Nacional de Saneamento

PNMC – Política Nacional de Mudanças Climáticas

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNS – Plano Nacional de Saneamento

PNSB – Política Nacional de Saneamento Básico

PRB – Projeto Revolução dos Baldinhos

RA – Região(regiões) Administrativa(s)

RSE – Resíduos Sólidos Especiais

RSO – Resíduos Sólidos Orgânicos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SEEDF - Secretaria de Estado de Educação

SEGETH – Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação

SIGI - Sistema de Gestão Integrada

SLU – Serviço de Limpeza Urbana

SLU/DF – Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

TLP - Taxa de Limpeza Pública

UDC – Unidade Descentralizada de Compostagem

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UTMB – Usina(s) de Tratamento Mecânico Biológico

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, foram gerados no ano de 2017, diariamente 214.868 toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) dos quais 115.801 toneladas foram dispostas em aterros sanitários, 44.881 em aterros controlados e 35.368 toneladas em lixões (ABRELPE, 2018).

É observado, de acordo com a Associação de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - Abrelpe (2018) que a quantidade de RSU em lixões e em aterros controlados ainda é expressiva, representando 40,9% do total de disposição final do país, impactando significativamente a vida da população e a qualidade ambiental.

A Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabeleceu princípios, objetivos e instrumentos importantes que devem ser observados na gestão e no gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil. Em seu artigo 9º, foi definido que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

O Brasil, de acordo com os dados de Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) de 2012, possui 51,4% de orgânicos na composição gravimétrica dos resíduos domiciliares. Deste total, apenas 1,6% é compostado, o restante desses resíduos é destinado para aterros sanitários, aterros controlados ou lixões, aumentando a geração de gases do efeito estufa e possível contaminação do solo pela percolação de lixiviado gerado pela decomposição da matéria orgânica.

Os resíduos sólidos provenientes das cantinas de escolas públicas representam uma fração dos resíduos sólidos urbanos, caracterizados por uma maior proporção de material orgânico e com pouca mistura na fonte. No Brasil, de acordo com o Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep) (2019), estima-se que há 184.939 escolas de educação básica. Dada a quantidade de escolas é necessário avaliar as alternativas para o gerenciamento desse tipo de resíduo nesses estabelecimentos.

Nesse contexto, observa-se a necessidade de soluções alternativas para a destinação dos resíduos sólidos orgânicos em detrimento ao aterramento e seguindo a cadeia de prioridades estabelecida pela PNRS, como a compostagem.

A compostagem pode ser realizada em diversas escalas, desde a domiciliar até em usinas com grande capacidade de recepção diária de resíduos. O que difere as diversas modalidades de compostagem é o tipo de tecnologia utilizada e os atores sociais envolvidos no processo.

Há várias iniciativas em nível nacional e internacional sobre a compostagem descentralizada, que consiste no tratamento dos resíduos orgânicos próximo ao local de geração dos resíduos e sem concentrá-los em uma unidade central com maior capacidade. Além de reduzir a quantidade de resíduos sólidos enviados a aterros, é possível utilizar o produto da compostagem como fertilizante orgânico, definido como classe C pela Instrução Normativa 25, de 28 de julho de 2009 (MAPA, 2009), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), desde que respeite os parâmetros de qualidade estabelecidos.

Nota-se que a qualidade do composto é alterada conforme o nível de segregação dos resíduos sólidos. Assim, é observado no trabalho de Siqueira (2014) que nas usinas centralizadas e de grande porte presentes no país, o resíduo utilizado como insumo no processo de compostagem é oriundo da coleta regular não segregada dos RSU, gerando um composto de baixa qualidade. Além disso, o autor também afirma que as grandes usinas centralizadas são mais falíveis do que experiências descentralizadas.

A implantação de pátios de compostagem descentralizada é alternativa para a destinação dos resíduos sólidos orgânicos em relação ao envio para grandes unidades centralizadas ou envio direto para os aterros sanitários.

Assim, o presente trabalho propõe metodologia para alocação de pátios de compostagem descentralizada, utilizando os resíduos de escolas públicas e para mostrar a aplicabilidade será utilizado o Distrito Federal (DF) como estudo de caso.

Este trabalho foi dividido em 8 capítulos. No capítulo 2 serão apresentados os objetivos, geral e os específicos, em seguida será apresentada a revisão bibliográfica e a fundamentação teórica que darão subsídios para a descrição da metodologia, apresentada no capítulo 5, utilizada nesse estudo. A metodologia adotada é dividida em levantamento de informações, visitas a campo e o uso do geoprocessamento no gerenciamento de resíduos orgânicos. No capítulo 6, é feita a descrição do estudo de caso, ou seja, as informações pertinentes sobre o DF. No capítulo 7 serão apresentados os resultados e as discussões pertinentes ao trabalho. E, por fim, no capítulo 8 serão feitas as devidas conclusões e recomendações.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver procedimento de seleção de áreas para pátios de compostagem descentralizada de resíduos sólidos orgânicos e aplicar a metodologia proposta ao estudo de caso das escolas públicas da Região Administrativa de Taguatinga, Distrito Federal.

2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinação da geração de Resíduos Sólidos Orgânicos nas escolas públicas de Taguatinga.
- Determinar a área mínima e a quantidade de pátios de compostagem.
- Selecionar locais candidatos para instalação de possíveis pátios de compostagem.
- Modelagem e simulação dos procedimentos de seleção de locais.
- Levantamento dos custos de remuneração dos serviços de manejo de resíduos sólidos

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, para embasamento do trabalho, serão apresentadas as informações gerais sobre os resíduos sólidos no Brasil, o tratamento dos resíduos orgânicos, além das legislações pertinentes à gestão e ao gerenciamento dos resíduos sólidos no país.

3.1. SANEAMENTO BÁSICO

O rápido crescimento populacional no Brasil do final do século XIX e início do século XX, em função das significativas imigrações estrangeiras, contribuiu para o aparecimento de novas vilas e cidades, provocando também o adensamento naquelas pré-existentes e o aumento das demandas relacionadas à infraestrutura sanitária (REZENDE *et al*, 2009).

A primeira normativa a respeito do saneamento básico no Brasil foi o Decreto-Lei n. 248, de 28 de fevereiro de 1967, que instituiu a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), que era entendida como “conjunto de diretrizes destinadas à fixação do programa governamental a aplicar-se nos setores de abastecimento de água e esgotos sanitários” (COSTA; RIBEIRO, 2012). Nota-se que os serviços de drenagem urbana e limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos não foram englobados na política inicialmente estabelecida.

Poucos meses depois, foi promulgada a Lei 5.318 de 26 de setembro de 1967 que instituiu a Política Nacional de Saneamento (PNS), que tinha o objetivo de abranger mais do que apenas o saneamento básico. Para esta Lei, o saneamento básico compreenderia apenas abastecimento de água, sua fluoretação e destinação de dejetos. Mais uma vez, pode-se notar que os outros serviços os drenagem urbana e limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos foram deixados de fora.

Essa política, fruto do governo militar, criou um Conselho Nacional de Saneamento (CONSANE), em que uma de suas atribuições era a elaboração e a expedição do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA). É inegável que o PLANASA gerou uma ampliação significativa da cobertura de água e esgotos no país. De outro lado como aponta Costa e Ribeiro (2012) (apud ARRETCHE, 1996) o PLANASA privilegiou as regiões mais ricas do Sul e do Sudeste, e a maior parte dos investimentos esteve concentrada nas cidades mais populosas e, nestas, nos segmentos populacionais de maior renda.

Na década de 1980 o PLANASA entrou em declínio. Não se sabe ao certo a data de encerramento do plano, mas simbolicamente, fixa-se o fim do PLANASA a data de

promulgação da Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007, a atual Lei de Diretrizes Nacionais de Saneamento Básico (LDNSB).

A Lei Federal 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, define o saneamento básico como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais relacionados ao abastecimento de água potável, ao esgotamento sanitário, à limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e à drenagem e manejo de águas pluviais, bem como a limpeza e fiscalização das respectivas redes urbanas.

Apenas com a promulgação da LDNSB os serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e de drenagem urbana foram incorporados no conceito de saneamento básico. Diante disso, Heller *et al* (2012) observam comprometida a prestação de serviços de saneamento sob a ótica de integralidade, com grandes descompassos entre a cobertura e/ou eficiência de serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem e limpeza urbana.

A importância da provisão de serviços adequados de saneamento para a proteção da saúde da população e a melhoria de sua qualidade de vida é constatação indiscutível e de amplo reconhecimento (HELLER; CASTRO, 2007). Assim, como princípios fundamentais da Política Nacional de Saneamento Básico, pode-se destacar a universalização do acesso e abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de forma adequada à saúde pública e à proteção do meio ambiente.

A Política Nacional de Saneamento Básico estabelece que no exercício da titularidade dos serviços, um dos deveres do titular do serviço é implementar o sistema de informações sobre os serviços públicos de saneamento básico. O Ministério das Cidades aglomera as informações passadas pelos prestadores dos serviços públicos no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Os dados geram diagnósticos periódicos além de alimentar as séries históricas.

De acordo com SNIS (2019), 93% da população urbana possui abastecimento de água potável, 60,2% possui coleta de esgotos, em que desse montante aproximadamente 74% é tratado. Já a cobertura de coleta de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) possui valor de 91,7%.

Apesar de bons percentuais de atendimento a nível nacional, dentro do território brasileiro é perceptível uma diferença no atendimento da população pelos serviços de saneamento. A Tabela 3.1 mostra os índices de atendimento de saneamento para as diferentes regiões do país.

Tabela 3.1 Índice de atendimento dos serviços de saneamento básico no Brasil - 2017

Região	RSU coletado (%)	Abastecimento de água (%)	Coleta de esgotos (%)
Sul	99,4	98,4	50,6
Sudeste	99,3	95,9	83,2
Centro-Oeste	99,5	98,1	59,5
Nordeste	97,2	88,8	34,8
Norte	97,5	70,0	13,0

Fonte: SNIS (2017)

Os maiores índices de abastecimento de água potável e de esgotamento sanitário estão nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. No caso das regiões Sul e Sudeste, os índices ainda são resultados dos privilégios feitos pelo PLANASA para estas regiões.

Heller *et al* (2012), consideram que a universalização do acesso ao saneamento básico para os brasileiros, com base nos princípios da equidade e da integralidade, apenas será alcançada por meio de uma visão sistêmica do setor.

Considerada um dos setores do saneamento básico, a gestão dos resíduos sólidos não tem merecido a atenção necessária por parte do poder público. Com isso, compromete-se cada vez mais a já combalida saúde da população, bem como degradam-se os recursos naturais, especialmente o solo e os recursos hídricos (IBAM, 2001). Essa falta de atenção é reflexo de anos sem considerar os resíduos sólidos como componente do saneamento básico e sem legislação específica. A mudança começou a ocorrer com a promulgação da Lei 11.445/2007 (BRASIL, 2007) e posteriormente, em 2010, foi publicada a Lei Federal 12.305/2010 (BRASIL, 2010) que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

3.2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

As grandes cidades, densamente ocupadas e conturbadas, que no Brasil hoje á compõem 26 Regiões Metropolitanas, apresentam problemas relacionados aos resíduos sólidos semelhantes e que desconhecem os limites municipais, são eles: escassez ou inexistência de áreas para a disposição final; conflitos de usos do solo, com a população do entorno das instalações de tratamentos e disposição final; exportação de lixo a municípios vizinhos; lixões e aterros operados de forma inadequada, poluindo recursos hídricos (CEMPRE, 2018).

Sisinno e Moreira (1996) destacam alguns dos principais problemas relacionados com a disposição de grandes quantidades de resíduos sólidos como a poluição do ar, das águas e do solo, além da proliferação de vetores.

A problemática dos resíduos sólidos por possuir diferentes atores sociais envolvidos necessita de uma gestão integrada para solucioná-la. De acordo com Mesquita Junior (2007) a gestão integrada de resíduos sólidos pode ser entendida como a maneira de conceber, implementar e administrar sistemas de resíduos sólidos urbanos, considerando uma ampla participação dos setores da sociedade e tendo como perspectiva o desenvolvimento sustentável. A PNRS (2010) ainda acrescenta na definição de gestão integrada a necessidade de acrescentar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social.

Os resíduos sólidos, de acordo com a Lei 12.305/2010, são definidos como materiais, substâncias, objetos ou bens descartados resultantes de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

A Lei supracitada, classifica os RSU como aqueles de origem domiciliar, ou seja, gerados nas atividades domésticas em residências urbanas e, os resíduos de limpeza urbana que são resultado da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.

De acordo com dados do Ipea divulgados em 2012, a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil é de 51,4% de matéria orgânica, 31,9% de material reciclável e os outros 16,7% são classificados como outros.

No Brasil, de acordo com Abrelpe (2018), em 2017, de 214.868 toneladas de resíduos sólidos urbanos geradas por dia, 196.050 toneladas são aterradas, sendo 59,1% em aterros sanitários, 22,9% aterros controlados e 18% em lixões. Logo, pode-se concluir que 40,9% dos resíduos sólidos ainda são dispostos de maneira ambientalmente inadequada.

A contínua geração de RSU, resultado das atividades antrópicas, demanda soluções para a sua correta destinação. A disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários ainda é a forma mais utilizada no Brasil e no mundo, e os impactos mais comuns para o ar são as emissões odoríferas

(odores) e poluentes atmosféricos, constituídas principalmente de gases de efeito estufa (GEE): CO₂, CH₄ e H₂S (GALVÃO, 2019 *et al* apud CONTE *et al*, 2018; SÃO PAULO, 2010).

De acordo com Dias (2012), um dos problemas operacionais com essa solução de destinação dos resíduos é que os aterros estão ficando cada vez mais distantes dos locais de geração de resíduos. O autor destaca duas razões, a primeira delas é explicada pela expressão NIMBY (not in my backyard), que quer dizer “não no meu quintal”, que exprime o consenso de que ninguém quer resíduos próximos da sua residência. A segunda razão é o aumento do preço do metro quadrado nas proximidades da região central das cidades.

Phillippi Jr *et al* (2012) concluíram que a gestão integrada de resíduos vem evoluindo ao longo do tempo conforme as soluções tecnológicas se apresentam para aumentar o leque de alternativas. Ao mesmo tempo, aproxima-se o esgotamento das áreas disponíveis para aterros de resíduos, particularmente em grandes cidades e regiões metropolitanas, tornando ainda mais premente a necessidade de redução dos volumes de RSU destinados a tais aterros.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), de acordo com Bruno *et al* (2017), determinam que as emissões de gases de efeito estufa produzidas pelas atividades humanas, como o descarte de resíduos sólidos estão entre os principais fatores da interferência humana no clima. O IPCC subdivide as emissões do setor de resíduos em disposição, tratamento biológico e incineração, e queima a céu aberto.

Em dezembro de 2009, a partir da Lei federal nº 12.187, foi instituída a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), que tem como uma das suas visões, a redução das emissões antrópicas de GEE em reação às suas diferentes fontes. Para alcançar os objetivos da PNMC, o país visa reduzir entre 36,1% e 38,9% suas emissões projetadas até 2020. A nível internacional, sobre combate nas mudanças climáticas, existe o Acordo de Paris, em que, um dos objetivos é manter o aquecimento global “muito abaixo de 2°C”, buscando ainda “esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais”(BRUNO *et al*, 2017).

A gestão de resíduos transcende a temática de mudanças climáticas e deve ser tratada, primordialmente, como uma questão de saúde pública e integridade ambiental. Contudo, a estreita correlação entre gestão de resíduos sólidos e emissão de gases de efeito estufa sinaliza a necessidade e a urgência de um debate integrado das PNRs e PNMC (SABBAG *et al*, 2012).

Além da falta de áreas disponíveis para a disposição, emissão dos GEE, existe um conceito atrelado com os resíduos sólidos em ascensão que é de *Economia Circular*. De acordo com

House of Commons (2014), a economia circular maximiza o uso sustentável e o valor dos recursos, eliminando o desperdício e beneficiando tanto a economia quanto o meio ambiente. É uma alternativa da nossa atual economia linear, em que se usa o recurso para uma finalidade e depois há o descarte. O interesse pela economia circular reside no seu potencial para reduzir o desperdício, usar os recursos de maneira mais eficiente e promover o desenvolvimento sustentável.

Devido à vasta complexidade dos resíduos sólidos, exposto anteriormente, é necessária uma adequada gestão dos mesmos, em que é englobado o adequado gerenciamento de RSU. Entende-se por gerenciamento de resíduos sólidos o 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 (BRASIL, 2010).

O gerenciamento integrado, portanto, implica a busca contínua de parceiros, especialmente junto às lideranças da sociedade e das entidades importantes na comunidade, para comporem o sistema. Além disso, é necessário identificar as alternativas tecnológicas necessárias a reduzir os impactos ambientais decorrentes da geração de resíduos, ao atendimento das aspirações sociais e aos aportes econômicos que possam sustentá-lo (IBAM, 2001).

Considerando a representatividade dos resíduos orgânicos na composição gravimétrica da realidade brasileira, é necessário propor um gerenciamento integrado deste, de maneira a reintroduzir esses resíduos sólidos na economia, assim como preconiza a economia circular, além de ser destinados de maneira que emita menos GEE e reduzir a necessidade de novas áreas para a disposição final, ou seja, diminuir e desviar os resíduos sólidos nos aterros sanitários, construindo, assim, uma gestão integrada dos RSO, visando no aumento do número de resíduos desviados do aterro sanitário.

3.3. RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Os Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO) que compõem os RSU são aqueles de origem domiciliar, de estabelecimentos públicos e privados com composição similar aos de origem domiciliar e da limpeza urbana. Os de origem domiciliar são os restos de alimentos *in natura*, ou seja, oriundo do preparo de alimentos e os restos de alimentos já preparados ou industrializados. Um tipo de estabelecimento com resíduos similares com os de origem domiciliar são os gerados nas

escolas, nas quais são servidas refeições, assim há geração de grande quantidade de orgânicos na cantina proveniente do preparo dos alimentos e do resto das refeições.

Ao contrário do grande volume ocupados pelos recicláveis, os resíduos orgânicos têm como principal característica a rápida degradação, e representam cerca de 50 a 60% dos resíduos encaminhados para um aterro sanitário. Porém, o ambiente em que a degradação nos aterros ocorre é basicamente anaeróbico, tendo como consequência a geração de sub-produtos, tais como o chorume e o biogás. O gás metano, presente no biogás, quando não coletado é emitido diretamente para a atmosfera contribui entre 28 a 36 vezes mais para o aumento efeito estufa se comparado com o CO₂. Dessa forma, é interessante que os resíduos orgânicos sejam coletados e tratados em locais adequados, desviando essa parcela dos aterros (MASSUKADO, 2008; MMA, 2012; EPA, 2017).

Apesar dos RSO representarem a maioria da composição gravimétrica, a coleta diferenciada, quando ocorre, contempla apenas resíduos sólidos inertes (plástico, papel, metais e vidro), que são comercialmente mais valorizados (SIQUEIRA; ABREU, 2016).

Sousa *et al* (2017) afirmam que o gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos tem por objetivo mitigar a sua produção e proporcionar uma destinação segura, de forma eficiente, buscando preservar os recursos naturais, o meio ambiente e a saúde pública.

Considerando a representatividade dos resíduos orgânicos no montante de RSU gerados e a sua potencialidade de reaproveitamento, é necessário obter conhecimento das alternativas de tratamento dos RSO em detrimento ao aterramento, cumprindo com a ordem de priorização do gerenciamento dos resíduos sólidos estabelecida na PNRS.

3.4. TRATAMENTO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

A necessidade de desviar RSU de aterro, sobretudo a componente biodegradável devido às emissões provocadas pelo biogás e efeito, principalmente do metano, nos GEE, conduziu ao desenvolvimento de processos de estabilização dos resíduos, e, se possível, ao aproveitamento dos produtos resultantes como forma de atenuar aquele efeito e gerar recursos que minimizem o custo da gestão de resíduos (PIEDADE; AGUIAR, 2010).

As alternativas de tratamento de resíduos evoluem constantemente, assim, processos que em épocas passadas eram considerados inviáveis, hoje são aplicados normalmente e com sucesso em diversas situações. São alguns exemplos a compostagem da matéria orgânica e a incineração associada à geração de energia e à produção de biogás (PHILLIPI Jr *et al*, 2012). Entre as

alternativas de destinação ambientalmente adequada dos RSU incluem os aterros sanitários, o uso de biodigestores, a incineração e a compostagem.

No Brasil, o processo mais utilizado para tratamento da fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos é o tratamento aeróbio (compostagem), que objetiva a obtenção do composto orgânico para aplicação na agricultura (REIS, 2012). A própria PNRS (BRASIL, 2010), em seu artigo 36 inciso V, indica a compostagem como o tratamento de orgânicos que deve ser adotado pelo titular dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.

A Resolução Conama nº481, de 03 de outubro de 2017 (BRASIL, 2017), define a compostagem como o processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem. Os fatores que influenciam a compostagem e os diferentes tipos desse tratamento serão abordados nesse trabalho nos itens 4.1.1 e 4.2 respectivamente.

Lim *et al* (2019), afirmam que a compostagem envolve uma tecnologia mais simples e uma taxa de processamento relativamente menor em comparação com outras tecnologias de gerenciamento de RSU, como a digestão anaeróbica, incineração e pirólise. Wagas *et al* (2018) dizem que a recuperação de recursos através da compostagem é uma das melhores abordagens para o tratamento de resíduos orgânicos ricos em nutrientes.

A Tabela 3.2 mostra estudos realizados nos últimos anos sobre a compostagem, considerando, o tipo de compostagem e a escala de aplicação, ou seja, se é centralizada ou descentralizada e seus objetivos/resultados.

Tabela 3.2 Estudos realizados sobre compostagem

Fonte	Local	Tipo de tratamento	Centralizada ou descentralizada	Objetivos/Resultados
Colón <i>et al</i> (2010)	Barcelona Espanha	Composteira com aeração passiva	Descentralizada	- Composto como adubo
Karnchanawong e Suriyanon (2011)	Tailândia	Aeração passiva	Descentralizada	- Composto como adubo - Redução da massa de RSO
Andersen <i>et al</i> (2012)	Dinamarca	Composteira	Descentralizada	- Menores valores nas categorias de impacto após a realização de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) em 6 cenários. - Economia ambiental resultante da substituição de adubo por composto

Fonte	Local	Tipo de tratamento	Centralizada ou descentralizada	Objetivos/Resultados
Guidoni <i>et al</i> (2013)	Capão do Leão – RS Brasil	Reatores com aeração passiva	Descentralizada	- Redução do volume de resíduos destinados a coleta pública - Composto como adubo - Aumento da vida útil do aterro - Redução com gastos de transporte
Faverial e Sierra (2014)	Guadeloupe França	Composteira	Descentralizada	- Desviar resíduos do aterro - Aumento das taxas de recuperação - Composto como adubo
Melo e Zanta (2016)	São Domingos – Bahia Brasil	Composteira	Descentralizada	- Redução na fonte de resíduos - Qualidade do composto - Participação popular
Vázquez e Soto (2017)	Oroso, A Laracha e Camariñas Espanha	Composteira	Descentralizada	- Redução dos orgânicos coletados pelos serviços de limpeza urbana - Composto como fertilizante
Lima Junior <i>et al</i> (2017)	-	Composteira com aeração passiva	Descentralizada	- Aproveitamento energético - Redução de emissões de gases e geração de lixiviados nos aterros
Neugebauer e Solowiej (2017)	Olsztyn Polônia	Pilhas com Aeração passiva	Descentralizada	- Proporção entre os resíduos orgânicos e os agentes de volume - Diminuição da frequência da coleta de lixo
Oliveira <i>et al</i> (2017)	Bauru – São Paulo Brasil	Composteira	Descentralizada	- Compostagem doméstica com maior potencial de redução de CO ₂ equivalente em relação as usinas de compostagem - Necessidade da redução nos dias de coleta de lixo
Arrigoni <i>et al</i> (2018)	San Carlos de Bariloche Argentina	Caixas de compostagem estática	Descentralizada	- Viabilidade da compostagem sob condições climáticas desfavoráveis
Guidoni <i>et al</i> (2018)	-	Reatores	Descentralizada	- Proporção de agente de volume influenciando a geração de odores e de lixiviado.
Manu <i>et al</i> (2019)	Bombain Índia	Tambores plásticos	Descentralizada	- Produção de composto livre de patógenos
Lim <i>et al</i> (2019)	Johor Bahru Malásia	Pilhas	Descentralizada	- Redução dos GEE

A seguir é apresentado de forma resumida as experiências listadas na Tabela 3.2, bem como as conclusões de cada estudo.

O trabalho de Lima Junior *et al* (2017) avaliou dois tipos de composteiras, 1 – com aeração central e 2 – sem aeração central, e quatro formas de manejo, operadas de maneira estática. Também foi analisado o aproveitamento energético, circulando água entorno da composteira por 24h. As composteiras foram diferenciadas pela presença de um tubo de drenagem, simulando uma chaminé, para aumentar a aeração passiva dos RSO. As quatro formas de manejo foram: A – RSO inoculados com 10% de seu volume com composto após cada aporte. B – RSO inoculados com 10% de seu volume com composto no primeiro aporte. C – RSO inoculados com 10% de seu peso úmido com inóculo líquido a cada aporte. D – Compartimentos controle, recebendo RSO sem inoculante externo. Os autores concluíram que todas as composteiras e todos os tratamentos foram eficientes sanitária e ambientalmente em compostar os RSO, mas indicam o modelo 2A em aplicações práticas.

Guidoni *et al* (2013), realizaram a implantação de reatores em 4 domicílios, os quais foram caracterizados em aspectos sociais, econômicos e ambientais, além da capacitação para os moradores. O estudo foi realizado no município de Capão do Leão – RS, os moradores foram diretamente envolvidos na atividade, acompanhando não somente a geração de resíduos, mas também a segregação, o processo de produção e uso do composto. Assim, eles passam por uma sensibilização no sentido de viabilizar práticas mais sustentáveis, podendo vir a disseminá-las de uma forma natural e exponencial. Melo e Zanta (2016), similar a Guidoni *et al* (2013), elaboraram levantamento socioeconômico da população dos conjuntos habitacionais, no qual, foram escolhidas 12 unidades habitacionais para compor a amostragem a ser pesquisada sobre a avaliação do uso da composteira. As composteiras utilizadas tiveram um baixo custo e a participação popular foi considerada satisfatória e que possuem intenção de dar continuidade no processo.

O estudo de Arrigoni *et al* (2018) demonstra que o processo de compostagem também pode ocorrer em climas frios, o experimento foi realizado em Bariloche, na Argentina. Os resíduos usados na composteira foram os resíduos orgânicos da cozinha e as podas de jardim de uma mesma empresa. Já Manu *et al* (2019), utilizaram resíduos coletados na área residencial do campus do Instituto Indiano de Tecnologia (IIT) de Bombain, assim como as podas das gramas e folhas como agente de volume. O processo de compostagem foi observado em 6 tambores de plástico reciclado com perfurações para que ocorra a circulação passiva de ar, com diferentes configurações. Essas configurações são as composições de características adicionadas a cada tambor, são elas: fase de alimentação (dias), buracos na circunferência, se o tambor estava ou não girando, se houve a adição de inóculo e adição de resíduos de jardins.

Lim *et al* (2019) realizaram uma comparação entre dois cenários em relação as emissões de gases. O cenário 1 foi responsável pela emissão de GEE de aterro e lixão e o consumo de combustível, enquanto o cenário 2 foi responsável pela emissão de CH₄ e N₂O do processo de compostagem, emissão de GEE do consumo de diesel para transporte de biomassa, trituração, mistura e triagem de materiais, e ainda fez uma análise custo benefício do cenário 2. Eles encontraram que as emissões de GEE relacionadas a compostagem em sua maioria são devidas ao consumo de diesel do transporte e maquinário no local, o que pode ser reduzido por um melhor planejamento da rota de coleta. Além disso, os autores concluíram que o custo de investimento relativamente baixo e a tecnologia simples em compostagem também permitem o melhor desenvolvimento do projeto de compostagem em um país em desenvolvimento.

Vázquez e Soto (2017) avaliaram a compostagem doméstica realizada em 8 áreas distintas de conselhos galegos, com um total de 163 residências com 56% delas cobertas pelo programa de compostagem. A eficiência dos programas é definida como a razão entre a quantidade de resíduos orgânicos compostado e a quantidade de resíduos potencialmente compostáveis. Concluíram que a compostagem doméstica é uma rota promissora, eficiente e sustentável, descentralizada para a gestão municipal de resíduos orgânicos, obtendo uma eficiência média de 77% de compostagem da fração orgânica dos RSU.

Andersen *et al* (2012) utilizaram a Análise de Ciclo de Vida (ACV) para avaliar 6 cenários da compostagem domiciliar. Os processos mais importantes foram identificados como as emissões de GEE da compostagem e a economia ambiental resultante da substituição de adubo e turfa por composto. A compostagem doméstica teve melhor desempenho do que ou tão boa quanto a incineração e o aterro em várias categorias de impacto.

Colón *et al* (2010) e Oliveira *et al* (2017) também fizeram o uso de ACV para a compostagem. No caso, o primeiro trabalho tinha o objetivo quantificar e avaliar os impactos ambientais da compostagem doméstica, além de detectar suas fases críticas do ponto de vista ambiental. Foram utilizados para o processo de compostagem restos de frutas e vegetais crus e usando os resíduos de poda como agente de volume para fornecer porosidade e evitar a geração de chorume, obtendo um composto estável com alto teor de nitrogênio e matéria orgânica. Em relação a ACV, a composteira foi a principal contribuinte para a depleção abiótica, a depleção da camada de ozônio e a demanda acumulada de energia, principalmente devido à produção de matérias-primas para a fabricação da composteira.

O segundo, analisou sete cenários diferentes de compostagem com os resíduos orgânicos da cidade de Bauru no estado de São Paulo. Os resultados mostraram que a compostagem domiciliar deve ser seguida por uma redução nos dias de coleta de resíduos orgânicos, a fim de ter um efeito positivo nas emissões de gases de efeito estufa derivadas do transporte e coleta. A compostagem doméstica também tem um potencial maior para reduzir as emissões de CO₂ equivalente por massa de resíduos sólidos compostados em comparação com as instalações de compostagem.

Karnchanawong e Suriyanon (2011) estudaram o desempenho da compostagem em 6 baldes de polietileno de 200 l, cada um com *layout* diferente para aeração passiva, com uma duração de 120 dias, sendo que um deles era o de controle, o número 6, que não possuía nenhuma ventilação. Os baldes de 1 a 5 havia aeração passiva crescente. Os baldes 1 e 2 tinham orifícios retangulares ao redor da parte inferior (8 e 16 orifícios, respectivamente). Cada orifício foi de 50 mm x 100 mm. Os baldes 3 e 4 tinham os mesmos números e tamanhos de furos que os baldes 1 e 2, e adicionalmente equipados com um tubo de cloreto de polivinil de 38 mm de diâmetro conectado a um funil de plástico invertido de 200 mm de diâmetro na parte central do recipiente para ventilar o ar quente. Todos os furos na Bandeja 1–4 estavam cobertos com tela de arame. O balde 5 tinha um tubo de polietileno de baixa densidade e flexível de 3 m de comprimento com um diâmetro de 38 mm; este foi conectado a um orifício na parte inferior do compartimento para permitir a passagem de ar. O tubo foi perfurado a cada 10 mm com um orifício de 3 mm de diâmetro. A qualidade do composto produzido atendeu a legislação da Tailândia, além disso, todos os baldes com aeração passiva tiveram uma taxa de decomposição significativamente maior do que a do controle.

No trabalho de Neugebauer e Solowiej (2017) o objetivo foi determinar a proporção ideal de mistura de resíduos de cozinha e resíduos de jardins no que diz respeito as emissões de amônia e a temperatura dentro da pilha. O experimento ocorreu compostando os resíduos sólidos diretamente no solo ou usando um recipiente, além disso, eram aerados de forma passiva. As proporções variaram de 0% de resíduos de cozinha com 100% de resíduos de jardim até 100% de resíduos de cozinha com 0% de resíduos de jardins, a um passo de 20%, totalizando 6 proporções distintas. Os autores concluíram que os resíduos de cozinha devem ser compostados com pelo menos 40% de resíduos de jardins e, complementam que os resíduos residenciais compostados também constituem fertilizantes de alta qualidade para fins de jardinagem.

Guidoni *et al* (2018) investigaram como diferentes proporções de agente de volume e porção orgânica do lixo doméstico pode afetar o progresso e o resultado da compostagem. Foram avaliadas três proporções distintas de casca de arroz: sobras de frutas e vegetais crus (70:30, 50:50, 30:70). Uma maior proporção de resíduos alimentares apresentou melhores condições para o desenvolvimento microbiológico e menor tempo para obtenção de características de compostos amadurecidos. Em contrapartida, uma maior proporção de agentes de volume resultou em condições favoráveis para o manuseio doméstico e menor potencial para impactos ambientais.

Faverial e Sierra (2014) realizaram um estudo sobre a compostagem domiciliar com 60 famílias de voluntários de 10 municípios com diferentes condições climáticas, motivados pelo colapso dos aterros sanitários, a redução e a reciclagem de RSU se tornou uma preocupação para os estados da região do Caribe. O objetivo do trabalho foi examinar os problemas observados durante a compostagem doméstica e avaliar a qualidade do composto. Esses problemas foram identificados pelo preenchimento de questionários pelos domicílios participantes. Os resultados deste estudo indicam que a compostagem caseira pode desempenhar um papel fundamental em ajudar as autoridades locais a atingir metas para aumentar as taxas de recuperação de resíduos e desviar os resíduos do aterro.

Considerando todos estes trabalhos listados, é observada uma tendência de tratamento de resíduos orgânicos através da compostagem. Os trabalhos apresentados são caracterizados pela abordagem da compostagem de forma descentralizadas. Alguns deles, exploraram a necessidade de uma maior participação social para o sucesso do processo. Outro ponto recorrente é a utilização do composto como adubo, e isso é resultado da boa segregação na origem e da proporção de resíduos orgânicos e os agentes de volume, usados para obter a relação C/N e manter a umidade.

3.5. RESÍDUOS SÓLIDOS DE ESCOLAS PÚBLICAS

Dentro das instituições de ensino existem diversas fontes de geração de resíduos, desde a sala de aula até a cantina. Apesar das diversas fontes, cada uma possui a predominância de algum tipo de material. Nas salas de aula e secretarias, espera-se uma quantidade maior de resíduos sólidos secos, em especial papel. Já nos refeitórios/cantinas espera-se maior quantidade de orgânicos.

O trabalho de Santos (2017) realizou a composição gravimétrica de uma escola pública de ensino fundamental II em Lorena (SP), na qual mostra a presença 50,35% de orgânicos, 20,60%

de papel, 9,46% de plástico, 3,13% de metal e 16,46% de rejeitos. Os dados foram obtidos a partir da pesagem diária dos resíduos nas frações acima citadas, por uma semana em setembro de 2017.

Além do trabalho de Santos (2017), pode-se listar os trabalhos de Klippel (2015), Adriano e Murata (2015), Maia e Molina (2015) e Oliveira *et al* (2005) que também realizaram estudos de composição gravimétrica dos resíduos sólidos de escolas e mostram que a maior parte são de resíduos orgânicos (Figura 3.1).

O trabalho de Klippel (2015), feito em uma escola municipal localizada no município de Foz do Iguaçu - PR, consistiu na caracterização dos resíduos sólidos gerados na escola. Essa caracterização se baseou em avaliação visual *in loco*, aplicação de questionário aos funcionários de todos os setores, composição gravimétrica total dos resíduos gerados em três dias de funcionamento normal e geração per capita, a fim de avaliar o atual sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos produzidos, visando produzir indicadores que auxiliem no futuro estudo e melhora do sistema.

Adriano e Murata (2014) utilizaram como metodologia o diagnóstico inicial, seguida de entrevistas e o método de composição gravimétrica para caracterização e quantificação dos resíduos sólidos em uma escola de Matinhos (PR), visando medidas de gestão, tal como estímulo a educação ambiental.

Maia e Molina (2015) caracterizaram quali-quantitativamente os resíduos sólidos gerados em uma escola pública estadual do município de Ponta Porã (MS) para utilizar como subsídio para a implementação de propostas sustentáveis. A coleta, o acondicionamento, pesagem e separação foram realizadas em dias alternados durante 5 semanas, três vezes ao dia, correspondente aos horários de limpeza da escola, 6 horas, 11h40min e 17h40min. O estudo mostrou uma média de geração diária de 25,47 kg de resíduos sólidos, divididos nas frações mostradas na Figura 3.1. Além das pesagens, a pesquisa também realizou entrevistas em forma de conversas informais para esclarecimento do gerenciamento interno dos resíduos escolares.

Oliveira *et al* (2005) realizaram o trabalho de caracterização dos resíduos sólidos gerados na Escola Municipal Advogado Otávio Amorim, localizada no município de Campina Grande (PB). A metodologia utilizada pelos autores consistiu na coleta de todos os resíduos gerados na escola em dias alternados por um período de três semanas consecutivas, totalizando três coletas. O total de resíduos eram pesados e depois separados nas frações determinadas. Além da

quantificação, houve discussões com todo o corpo de funcionário e estudantes da escola sobre a gestão integrada de resíduos sólidos.

A comparação entre os valores e os trabalhos de outros pesquisadores mostra que, existem variações entre a composição dos resíduos nas diferentes unidades de ensino em diferentes localidades do país. No entanto, os resíduos orgânicos são sempre os responsáveis pela maior parcela da composição, normalmente seguidos por papel ou rejeito (SANTOS, 2017), o que está exposto na Figura 3.1.

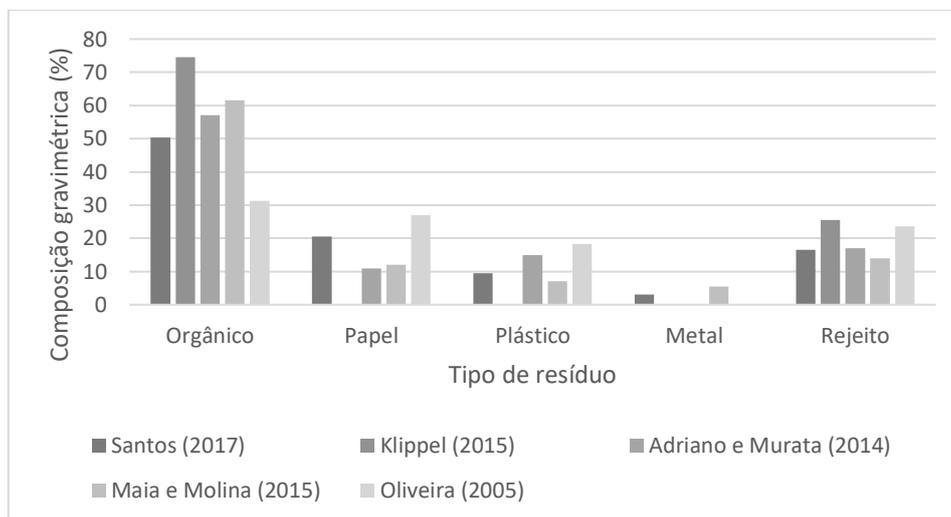


Figura 3.1 Gráfico da composição gravimétrica dos resíduos sólidos produzido em escolas a nível nacional

Fonte: Santos, 2017

Maia e Molina (2015) concluíram que a participação da população escolar neste processo é fundamental, pois depende de sua ação na separação do resíduo sólido para a implantação e realização da coleta seletiva, reciclagem e compostagem, sendo palavras que estão diretamente ligadas ao processo de tratamento dos resíduos sólidos. Neste contexto, pode ser utilizado pela escola, pois pequenas ações podem ser desenvolvidas com sucesso e seriedade garantindo um ambiente mais saudável, conservando e preservando também todo patrimônio escolar.

Diante da representatividade dos resíduos sólidos orgânicos na composição gravimétrica das escolas, é necessário propor medidas de gerenciamento desses resíduos, a fim de reduzir e/ou tratá-los, para que deixe de ser um passivo e se torne um ativo ambiental, como a geração de um composto de qualidade.

3.6. GEOPROCESSAMENTO NO GERENCIAMENTO DE RSU

Ornelas (2011) define geoprocessamento como um conjunto de ciências, técnicas e tecnologias utilizadas para aquisição, processamento, armazenamento e publicação de dados e informações espacialmente explícitas. As atividades envolvendo o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos mais comumente chamados de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Um SIG é capaz de processar dados gráficos e não gráficos com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies (SPRING, 2006).

A ferramenta de maior destaque dentro do geoprocessamento é o SIG, e provavelmente por essa razão muitas vezes os termos são utilizados como sinônimos, sendo que, na verdade, o segundo está contido no primeiro. O SIG é protagonista, pois tem a capacidade de armazenar e processar dados provenientes de diferentes fontes e combiná-los para gerar informações relevantes, seja por meio de relatórios, gráficos ou cartografia temática (ANDREOLI, 2001).

Os sistemas de Informações Geográficas são muito importantes na coleta e análise de dados, pois integram uma sofisticada interface gráfica a uma base de dados georreferenciados, constituindo-se em poderosas ferramentas de análise e planejamento espacial (LIMA, 2003).

A possibilidade de combinar informações cartográficas e tabular, bem como embutir conhecimento específico e/ou subjetivo em uma análise, torna um sistema de geoprocessamento uma ferramenta especialmente útil para o planejamento de empreendimentos (VIEIRA, 1999).

Andreoli (2001) afirma que o SIG tem-se tornado essencial para a caracterização e análise dos fenômenos ocorrentes no espaço geográfico. Particularmente, atividades complexas, como o planejamento e a tomada de decisão, foram favorecidas pela possibilidade de processamento simultâneo de grandes quantidades de dados georreferenciados. O autor exemplifica essa afirmação com a seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos dizendo que é uma atividade com o emprego de geoprocessamento em que se observa contundente melhora na qualidade dos resultados e facilidades em toda a operação.

Dado que a espacialidade é uma característica intrínseca dos sistemas ambientais, os SIG são instrumento relevante para os procedimentos de modelagem ambiental. Os *softwares* de SIG são utilizados seja para a elaboração de mapas relacionados com os dados, seja para a própria modelagem do sistema. As concepções da análise espacial são importantes para comparações socioeconômicas e ambientais, visando que essas interações correspondam com ocorrências distribuídas espacialmente (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A utilização do SIG é cada vez mais recorrente nos serviços ambientais, como ferramenta para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. Alocação das unidades de destinação de resíduos sólidos e a otimização das rotas de coleta são exemplos do uso.

Felicori *et al* (2016), realizaram estudo para identificar áreas adequadas para a construção de unidades de disposição de resíduos, aterro sanitários e usina de triagem e compostagem, na mesorregião da Zona da Mata de Minas Gerais. Para isso, utilizaram os dados das cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), contendo: hidrografia, hipsografia, localidades, sistema viário, limites, obras e edificações, pontos de referência e vegetação. No processamento, foram restringidas áreas de acordo com critério das legislações pertinentes. A restrição foi baseada na lógica booleana, arbitrando 1 para áreas sem restrição e 0 para áreas com restrição.

Prampolim *et al* (2015) em sua proposta de implantação de unidade de compostagem, consideraram zonas de envoltórias, também chamadas de *buffer*, que servem para minimizar os impactos causados por odores, ruídos e lixiviados resultantes do processo de compostagem. Tais zonas podem ser constituídas por vegetação, arbustos ou árvores servindo de barreira visual à usina de compostagem.

O trabalho de Santos (2017) desenvolveu metodologia para a localização de contêineres semienterrados para o acondicionamento de RSU em regiões precárias e carentes do Distrito Federal. Para isso, a autora utilizou um pacote de ferramentas de análise de malha viária em um software de SIG. Além do geoprocessamento também foram realizadas a aplicação de questionário e visita técnica.

Araújo (2012) utilizou a extensão *Network Analyst* para fazer análise de rotas para a coleta de resíduos sólidos recicláveis nas escolas públicas do Plano Piloto de Brasília/DF. O objetivo geral do trabalho foi planejar alternativas de rotas e frequência de coleta de resíduos sólidos recicláveis, nas escolas públicas do Plano Piloto de Brasília, utilizando recursos de um SIG. A ferramenta foi utilizada no trabalho pois, permite a criação e o controle de conjuntos de dados com topologia de rede (malhas viárias, redes hidrográficas, etc), além de oferecer, nesse caso, soluções para geração de rotas.

3.7. REMUNERAÇÃO E CUSTEIO DOS SERVIÇOS DE MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo Lindemeyer (2008) a análise econômica consiste em fazer estimativas de todo o gasto envolvido com o investimento inicial, operação e manutenção e receitas geradas durante um determinado período de tempo, para assim montar-se o fluxo de caixa relativo a esses investimentos, custos e receitas e determinar quais serão os indicadores econômicos conseguidos com esse empreendimento. Comparando-se esses indicadores econômicos com o que se espera obter com outras alternativas de investimento de capital, pode-se concluir sobre a viabilidade do empreendimento.

De acordo com a Lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007), entre os princípios a serem observados na prestação dos serviços públicos de saneamento básico estão a eficiência e a sustentabilidade econômica.

O art. 29 da referida Lei estabelece que os serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos terão a sustentabilidade econômico-financeira assegurada, sempre que possível, mediante remuneração pela cobrança dos serviços por meio de taxas ou tarifas e outros preços públicos, em conformidade com o regime de prestação do serviço ou de suas atividades.

Grande parte das carências relacionadas à gestão desses serviços públicos no Brasil pode ser atribuída à falta de cobrança adequada por sua prestação, restringindo os recursos disponíveis para o custeio dos serviços. Além disso, essa ausência de cobrança é seguramente um dos principais responsáveis pela recorrente perda dos investimentos realizados em resíduos sólidos.

De acordo com SNIS (2017), a despesa total das Prefeituras com manejo de resíduos sólidos no ano de 2017, quando rateada pela população urbana, resultou no valor de R\$ 121,62 por habitante, ou seja, um gasto aproximado de R\$ 21 bilhões para o manejo de resíduos sólidos urbanos em todo o país. Ainda assim, a fragilidade da sustentabilidade financeira se mantém no setor, uma vez que apenas 46,3% dos municípios fazem cobrança pelos serviços, e o valor arrecadado cobre somente 54,6% dos custos.

No Brasil, existem 4 tipos diferentes de cobrança pelos serviços de manejo de resíduos sólidos, são eles: taxa específica no boleto do IPTU, representando 85,8% dos casos, seguido pela taxa específica no serviço de boleto do serviço de abastecimento de água (9,6%), em terceiro, taxa cobrada em boleto específico (3,2%), e outras formas de cobrança, nos 1% restante dos casos (SNIS, 2017).

De acordo com Magalhães (2009), a questão da cobrança dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos não é trivial, pois há atividades de natureza variada na prestação dos serviços que têm fontes de financiamento diversas e que precisam ser articuladas.

Observe-se que os serviços tipicamente de limpeza urbana, como, por exemplo, varrição, capina, poda, roçagem, raspagem de ruas e poda de árvores em vias e logradouros públicos, não são divisíveis e devem ter seus custos, de acordo com a Constituição Federal cobertos por fonte do orçamento que não a receita de taxa. Sendo despesas indivisíveis não podem ser atribuídas especificamente a um ou a outro cidadão.

Já os serviços ditos de manejo, que incluem atividades de coleta, tratamento e disposição final, são potencialmente mensuráveis e divisíveis, pois é possível atribuir uma quantidade de serviço prestado a cada usuário. Portanto, essas atividades dos serviços de manejo de resíduos sólidos podem e devem ser remuneradas por meio da cobrança de taxa, conforme disposto no art. 145, inciso II da Constituição Federal de 1988.

Taxas podem ser intuídas pelo Poder Público pela utilização, efetiva ou potencial, de serviços públicos específicos e divisíveis, prestados ao contribuinte ou postos a sua disposição. No caso específico, há jurisprudência firmada pelo STF, a partir da Súmula Vinculante 19: “A taxa cobrada exclusivamente em razão dos serviços públicos de coleta, remoção e tratamento ou destinação de lixo ou resíduos provenientes de imóveis, não viola o art. 145, II, da CF.” (STF, 2008).

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo visa obter subsídios necessários para fundamentar a metodologia, adentrando mais profundamente em alguns tópicos já abordados na revisão bibliográfica.

4.1. COMPOSTAGEM

Em 1920, com Albert Howard, o processo da compostagem passou a ser pesquisado cientificamente e realizado de forma racional. Nas décadas seguintes, muitos trabalhos científicos lançaram as bases para o desenvolvimento desta técnica, que hoje pode ser utilizada em diversas escalas, inclusive a industrial (FERNANDES; SILVA, 1999)

A compostagem pode ser considerada uma técnica que imita os processos naturais, sendo que seu sucesso está atrelado ao controle de requisitos físicos e químicos para que se obtenha as condições necessárias ao ótimo desenvolvimento dos processos biológicos (SCHALCH *et al*, 2015). Já a definição da ABNT (1996) consiste em um processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação.

No Brasil, a técnica de compostagem ainda está restrita às pequenas comunidades, pois faz-se necessário, além da segregação dos resíduos na origem, a implementação da coleta seletiva pelo poder público (SCHALCH *et al*, 2015).

A compostagem apresenta muitas vantagens ambientais, podendo-se destacar o aumento da vida útil do aterro sanitário, a redução na emissão do gás metano e na geração de lixiviado. Indiretamente, tem-se como benefício, a redução nos custos de implantação e operação de sistemas para o tratamento do chorume (MASSUKADO,2008).

Schalch *et al* (2015), dividem a compostagem em duas formas distintas, considerando seu contexto, dimensão e objetivos.

- i. Em instalações centralizadas: tratam-se de centrais de compostagem de média ou grande porte, que atende muitos geradores de resíduos orgânicos, espalhados geograficamente. Como vantagem desse tipo de sistema identifica-se a possibilidade de misturar vários tipos de resíduos orgânicos, provenientes de várias fontes. No entanto, necessita de uma etapa de triagem de forma a viabilizar o processo de tratamento e evitar contaminantes que comprometam a qualidade final do composto;

- ii. Em unidades descentralizadas: este tipo de compostagem é baseado no uso de pequenos compostores ou pilhas de resíduos, localizados próximos ao local de geração dos resíduos. Este tipo de compostagem tem a grande vantagem de diminuir os custos associados à coleta e ao transporte de resíduos e permite a produção de um composto de elevada qualidade, uma vez que a probabilidade de existir contaminantes é menor. Além disso, compostagem em pequena escala apresenta ainda a característica de promover o envolvimento da comunidade na questão do tratamento de resíduos.

Siqueira e Abreu (2016) afirmam que a centralização implica no transporte a longas distâncias e na concentração, em um só local, dos problemas decorrentes de uma separação na fonte ineficiente, principalmente quando a população não está habituada a descartar resíduos orgânicos em separado.

Caso a separação não seja realizada na origem, os resíduos urbanos descartados e coletados sem distinção precisam ser separados em centrais de triagem e compostagem, como as Unidades de Tratamento Mecânico e Biológico (UTMB). Nesses locais a separação não tem a qualidade necessária para gerar um composto final de qualidade. O “composto de lixo”, carregado de impurezas inertes (plásticos, cacos de vidro e até resíduos de serviço de saúde) e metais pesados (como cádmio, chumbo, cromo), em muitos casos se parece mais com um resíduo do que com um produto e tem que ser disposto em aterros, devido ao seu potencial contaminante e baixa qualidade agrônômica (SIQUEIRA; ABREU, 2016).

De acordo com Santos (2013), no que diz respeito ao tratamento, apesar da massa de resíduos sólidos urbanos apresentar alto percentual de matéria orgânica, as iniciativas de compostagem no Brasil são ainda incipientes. O resíduo orgânico, por não ser coletado separadamente, acaba sendo encaminhado para disposição final, aterros sanitários ou lixões, juntamente com os demais resíduos domiciliares. Essa forma de destinação gera, para a maioria dos municípios e para o Distrito Federal, despesas que poderiam ser evitadas caso a matéria orgânica fosse separada na fonte e encaminhada para um tratamento específico, por exemplo, via compostagem.

A compostagem é uma das alternativas para tratar os resíduos orgânicos, pois pode reduzir em mais de 60% o seu volume, produzindo ao final do processo, um material estável que pode ser utilizado como condicionador de solos ou até mesmo atuar como fertilizante (MASSUKADO,2013).

Quanto aos aspectos legais da compostagem no Brasil, foi publicada em outubro de 2017 a Resolução Conama nº 481 (BRASIL, 2017), em que se estabelece os critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos sólidos orgânicos, e dá outras providências. A resolução não se aplica a processos de compostagem de baixo impacto ambiental, desde que o composto seja para uso próprio ou quando comercializado diretamente com o consumidor final. É competência do órgão ambiental definir os limites de baixo impacto. A normativa traz além de algumas definições, a exigência da qualidade e controle ambiental do processo.

No art. 9º desta resolução diz que os RSO originários dos resíduos sólidos urbanos destinados ao processo de compostagem devem, preferencialmente, ser oriundos da segregação em, no mínimo, três frações: resíduos recicláveis, resíduos orgânicos e rejeitos. Esta é uma maneira de garantir um composto final de maior qualidade, visto que, deve ser utilizado apenas a fração orgânica, assim, sem a contaminação do composto pela mistura com outros materiais indesejáveis no composto.

O tratamento de resíduos sólidos por compostagem é uma prática reconhecida no mundo todo e em especial na Europa, porém pouco utilizada no Brasil (PDGIRS, 2018). No entanto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) em seu art. 36º, inciso V dispõe:

Art. 36 - No âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, cabe ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, observado, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos:

V - implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido;

A preocupação para a compostagem é que os materiais orgânicos, como restos de frutas, verduras, de processamento de alimentos em geral e restos da atividade de jardinagem, não são coletados seletivamente e acabam chegando às usinas de forma misturada juntamente com materiais inertes ou mesmo contaminantes, como pilhas e baterias, resultando em um composto com a presença de metais pesados (BARREIRA, 2005). Para superar tal adversidade, a recomendação de compostagem descentralizada se faz presente, visto que, nessa modalidade, é priorizada a separação dos resíduos sólidos na fonte e o processamento do resíduo é feito próximo ao local de geração, evitando a mistura de todos os materiais no transporte.

O material orgânico mais adequado, encontrado nos RSU, para o processo de compostagem e comumente encontrado são restos de frutas, verduras, de processamento de alimentos em geral e restos da atividade de jardinagem, ou seja, excelentes matérias-primas para o processo

(BARREIRA, 2005). Os restos de frutas e verduras além dos restos das refeições compõem a maioria da fração orgânicas dos resíduos sólidos das escolas públicas, e por isso, é um bom resíduo para ser encaminhado para compostagem.

O processo de compostagem é explicado de maneira simplificado como a degradação da matéria orgânica por microrganismos na presença de oxigênio resultando em uma matéria orgânica estável, gás carbônico, água, calor e nutrientes. O esquema é apresentado na figura 4.1.



Figura 4.1 - Esquema simplificado do processo de compostagem. Adaptado Fernandes e Silva (1999)

Os principais fatores que afetam o processo de compostagem e que são associados ao processo microbiológico são: temperatura, aeração, umidade, relação C/N, granulometria e pH.

4.2. TIPOS DE COMPOSTAGEM

O interessante da compostagem é que um bom composto pode ser obtido tanto por tecnologias simples como por tecnologias complexas, desde que os resíduos sejam adequados e o processo biológico ocorra em boas condições. A questão realmente importante a ser colocada é que a alternativa escolhida deve ser adequada à situação, do ponto de vista técnico e socioeconômico (FERNANDES; SILVA, 1999).

Os processos de compostagem podem ser divididos em: sistema de leiras revolvidas (windrow), sistemas de leiras estáticas aeradas (static pile) e sistemas fechados ou reatores biológicos (In-vessel).

4.2.1. Sistema de leiras revolvidas (windrow)

A mistura dos resíduos é disposta em leiras, sendo a aeração fornecida pelo revolvimento manual ou mecânico dos resíduos e pela convecção e difusão do ar na massa do composto. Dos três sistemas indicados, é o mais simples. A pilha de resíduos (leira) é montada sobre o solo compactado ou impermeabilizado (FERNANDES; SILVA, 1999; MASSUKADO, 2008).

Cada unidade deve dispor de um pátio dimensionado para um tempo de maturação do composto de 120 dias; o tamanho das leiras pode variar em função das condições de processamento – se

o reviramento das leiras é manual ou mecânico e neste caso se é feito por reviradeiras de leira o que limita a altura e a largura da leira, ou por retroescavadeira. (MMA, 2010). Caso seja compostada 1 tonelada diariamente e que cada leira comporte apenas 1 tonelada de resíduos, o pátio de compostagem necessitará de 120 leiras simultâneas.

De acordo com o manual de compostagem (FERNANDES; SILVA, 1999), a altura e seção das leiras dependem do resíduo estruturante e do método de construção da leira, sendo que as de seção triangular, com 1,50 m a 1,80 m de altura e 4,0 m a 4,5 m de base, são as mais comuns e que apresentam resultados comprovados. Porém é possível variar as dimensões, como mostra a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Comparação entre as dimensões das leiras e áreas necessárias para a compostagem, pelo sistema de leiras revolvidas

Parâmetro	Variação	Valor médio
Altura (m)	0,9-2,1	1,4
Base (m)	3,7-7,0	4,3
Volume/Comprimento (m ³ /m)	2,3-8,8	3,1
Relação Superfície/Volume (m ² /m ³)	2,6-0,8	1,6

Fonte: Fernandes e Silva (1999)

Os equipamentos utilizados para o revolvimento podem ser de dois tipos: máquinas tracionadas por trator ou por equipamento auto-propelidos, que se deslocam sobre a leira de composto e realizam o revolvimento. Há também a possibilidade de realizar o revolvimento por pás carregadeiras convencionais, porém com eficiência menor.

Para a circulação entre as leiras e a segurança é estipulado por Ministério do Meio Ambiente (2010) um acréscimo de 10% do total da área de operação. Além disso, a área para o revolvimento é igual a área da leira.

Fernandes e Silva (1995) apud Kuter (1995) determina uma frequência mínima de 3 vezes na semana para o revolvimento com objetivos de:

- aerar a massa de resíduos em compostagem;
- aumentar a porosidade do meio, que sofre compactação natural devido ao peso próprio, homogeneizar a mistura;

- expor as camadas externas às temperaturas mais elevadas do interior da leira, reduzir a granulometria dos resíduos
- diminuir o teor de umidade do composto.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2010), para esse tipo de compostagem a unidade de processamento deve ter um limite de 100 toneladas por dia.

4.2.2. Sistemas de leiras estáticas aeradas

A compostagem por leiras estáticas aeradas representa um avanço em relação ao sistema de leiras revolvidas, eliminando a necessidade das operações de revolvimento da massa de resíduos. Por ser um processo com taxa de aeração e temperatura controlados, gera um produto final de elevada qualidade, com menor período para o término da compostagem, em média 60 dias (PARANÁ, 2013).

O processo consiste em colocar no piso do pátio uma tubulação plástica ou metálica, perfurada, de 10 cm de diâmetro em forma de retângulo e ligada a um exaustor. Sobre esta tubulação, dispõe-se uma camada de madeira triturada com 15 a 20 cm de espessura, servindo de leito filtrante para o lixiviado e também facilitar a passagem de ar na leira, que será insuflado ou aspirado através de orifícios da tubulação (REIS, 2005).

De acordo com Fernandes e Silva (1999), a aeração deve ser dimensionada de acordo com os objetivos visados:

- Satisfazer às demandas de oxigênio do processo de biodegradação aeróbia
- Remover o excesso de umidade
- Remover o excesso de calor para manter a temperatura em torno de 60°C.

O sistema de leira estática não é recomendável para todo tipos de resíduo sólido, pois para isto o material a ser compostado deve ser homogêneo e possuir granulometria suficiente para garantir boa permeabilidade do ar insuflado, sob baixa pressão (REIS, 2005).

4.2.3. Sistemas fechados ou reatores biológicos (In-vessel)

Os resíduos são colocados dentro de sistemas fechados, que permitem o controle de todos os parâmetros do processo de compostagem, portanto, o ciclo da fase termofílica é reduzido, o que em certos casos conferiu, à compostagem em reator, a denominação de “compostagem acelerada” (FERNANDES; SILVA, 1999).

Devido as condições operacionais deste sistema supõe-se que tenha mais eficiência na mistura, equilibrando a temperatura em toda a massa de resíduos, garantindo a eliminação eficiente de patógenos. Outra característica importante deste tipo de tratamento é o maior controle dos odores, pois o sistema é fechado e a aeração controlada (REIS, 2005).

Fernandes e Silva (1999) afirma que de acordo com as características dos resíduos e do tipo de equipamento, o tempo de detenção no reator biológico pode variar de 7 a 20 dias, o que faz com que o sistema demande menor espaço para sua implantação.

Mesmo tendo uma fase termofílica mais rápida e intensa, após seu final, o composto ainda deve passar por um período de maturação de mais ou menos 60 dias, tal como descrito para os sistemas anteriores, antes de ser utilizado. (FERNANDES; SILVA, 1999).

De modo geral, os reatores se enquadram em três categorias: reatores de fluxo vertical, reatores de fluxo horizontal e reatores de batelada. Nos dois primeiros casos, os resíduos passam pelos reatores em fluxo contínuo, sendo que o período de detenção é definido pela velocidade com que os resíduos percorrem o trajeto da entrada até a saída do reator. No terceiro caso, o reator, recebe uma determinada quantidade de resíduos, processa-os, e quando a fase termófila chega ao seu final, o reator é aberto, descarregado em batelada, recomeçando-se o processo com novos resíduos frescos. (FERNANDES; SILVA, 1999)

Ressalta-se que uma compostagem eficiente não depende necessariamente de utilização de tecnologia sofisticada. É necessário um controle de qualidade dos resíduos que serão processados e monitoramento do processo, como forma de garantir a produção ambientalmente correta de um composto orgânico. Para a determinação da tecnologia a ser utilizada, é necessário avaliar os critérios técnicos e econômicos (REIS, 2005). A Figura 4.2 apresenta como é a variação das variáveis complexidade e custo dos três métodos de compostagem.

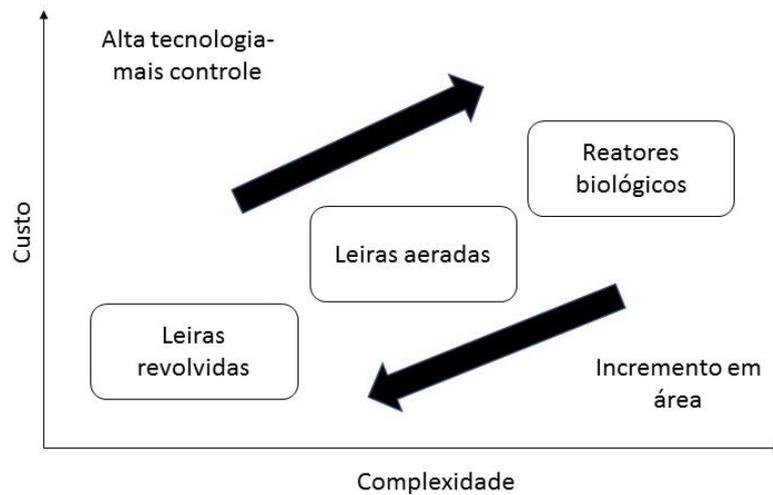


Figura 4.2 Comparação entre os métodos de compostagem

Fonte: Reis (2005)

4.3. COMPOSTAGEM DESCENTRALIZADA

A compostagem descentralizada é uma alternativa para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos, com o processo realizado próximo a fonte de geração dos resíduos, desviando-os de aterros sanitários e produzindo composto para utilizar em jardins, hortas comunitárias, além da utilização como condicionadores na correção do solo.

O trabalho realizado por Siqueira (2014), sobre a compostagem no estado de São Paulo, indicou que no levantamento ao longo da pesquisa, atividades descentralizadas mostraram-se mais eficientes no desvio de resíduos da disposição final, uma vez que as taxas de extinção dessas atividades foram menores. Além disso, se projetadas juntamente com programas e atividades agrícolas do município, tais iniciativas podem estimular a produção local de alimentos e contribuir para a melhoria da qualidade de solos agrícolas.

Segundo Massukado (2008), do ponto de vista econômico, ao deixar de dispor a fração orgânica em aterro sanitário, pode-se diminuir os gastos com transporte, disposição final e tratamento do chorume. A compostagem descentralizada preza por percorrer menores distâncias para realizar o tratamento, poupando custos de transporte. Além disso, a compostagem reduz a quantidade de chorume gerado, e não há necessidade de encontrar novas áreas para aterramento, após o término do tratamento, novo espaço é adicionado para o tratamento de mais RSO.

De acordo com Siqueira (2014), sistemas centralizados são mais falíveis que descentralizados por serem onerosos e produzirem um composto que frequentemente mais se aparenta com um

rejeito que com um produto. Isso ocorre, pois nas usinas centralizadas e de grande porte presentes no Brasil, o resíduo utilizado como insumo no processo de compostagem é oriundo da coleta regular não segregada. Assim, o composto final é de baixa qualidade do ponto de vista agrônômico, com presença de materiais indesejáveis e metais pesados.

As unidades descentralizadas de compostagem (UDC), consistem em criar espaços para tratamento dos resíduos orgânicos próximo ao local de origem. De acordo com Zanette (2015), para o surgimento de uma UDC, inicialmente é necessário trabalhar a fonte de geração, garantindo a segregação dos resíduos sólidos compostáveis. Como este ainda não é um hábito generalizado, é preciso estabelecer uma estratégia de comunicação com objetivo de sensibilizar os(as) geradores(as), sejam estes equipe da escola, equipe de restaurante ou uma vizinhança.

Copetti (2012) informa que dentre os elementos constituintes necessários de um pátio de compostagem, ou seja, local onde é executado o processo de compostagem, estão os elementos de controle de acesso, as leiras, a administração, as áreas de pré-processamento, as áreas de processamento e de pós processamento e a zona de amortecimento.

Para melhor entendimento essas áreas foram reclassificadas como:

- i. Área administrativa, ou seja, área da portaria, dos banheiros e estrutura que acolha os funcionários nos momentos de descanso e para realização dos trabalhos administrativos, controle de acessos, administração, zona de amortecimento.
- ii. Área para a estocagem do material compostado, até que este seja retirado da unidade. A estocagem do composto deverá ser feita em local coberto e sobre piso pavimentado, visando resguardar a sua qualidade. Na impossibilidade de um local coberto para tal fim, dispor o composto sobre uma parte da área do pátio de compostagem e cobri-lo até a utilização (FEAM, 2006). Compreende a área de pós-processamento.
- iii. Área dos equipamentos, para guardá-los e durante o processo de compostagem, como o caso do triturador, que irá servir para uniformizar o tamanho das partículas a serem compostadas. Compreende a área de pré-processamento.
- iv. Área para o processo de compostagem propriamente dito. Essa área depende da tecnologia utilizada. Deve se levar em consideração para a quantificação dessa área a taxa em que os resíduos sólidos chegam nas unidades e a taxa com que eles saem após o procedimento.

4.3.1. Experiências de compostagem descentralizada

Mesmo incipientes, existem algumas experiências de compostagem descentralizada brasileiras com grande visibilidade e reconhecimento nacional, como o caso do Projeto Revolução dos

Baldinhos (PRB) em Florianópolis (SC), Programa Feiras e Jardins Sustentáveis localizado em São Paulo e o caso de Belo Horizonte (MG).

O Projeto Revolução dos Baldinhos foi iniciado em 2008 como forma de solucionar uma epidemia aguda de ratos, que levou a morte de dois moradores da comunidade Chico Mendes em Florianópolis - SC. A compostagem foi utilizada como forma de reduzir os resíduos orgânicos, dispostos de maneira inadequada nas vias públicas, que estimulavam a proliferação dos roedores (SIQUEIRA, 2014).

O método de compostagem utilizado por eles é denominado UFSC, visto que, é empregado no campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) desde 1994. Caracterizado por leiras estáticas com aeração passiva. A razão pela escolha deste método centram-se na proximidade com a UFSC e uma escola de profissionais ligados à tecnologia da compostagem, além do fato das leiras estarem, enquanto ativas, na fase termofílica, isto é, sempre aquecidas em temperatura que variam entre 42°C a 70°C, dificultando a proliferação de vetores e emissão de odores indesejados (ABREU, 2013).

Siqueira (2014), informa que o projeto é fruto da articulação de instituições e grupos sociais locais com atuação de agentes comunitários provenientes da comunidade. O adubo produzido é revertido às famílias participantes, instruídas a construir suas hortas caseiras, com respaldo técnico fornecido pelo Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo (CEPAGRO).

Com relação a área dos pátios de compostagem, inicialmente, era utilizada uma área de 100 m² da Escola Estadual América Dutra. Posteriormente, uma área de 600 m², pertencente a Companhia de Habitação de Santa Catarina, foi utilizada, conforme descrito no trabalho de Abreu (2013), que ainda complementa que os pátios ficavam localizados aproximadamente a 500 metros da coleta das bombonas, recipiente de armazenar o resíduo orgânico, demandando baixo custo com transporte dos resíduos.

O segundo caso que pode ser listado é o de São Paulo, que em 2014 publicou seu Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), no qual, ficou prevista a implantação da compostagem para os resíduos orgânicos das 883 feiras livres do município. Essa meta estabelecida começou a ser cumprida em 2015 com a inauguração do primeiro pátio de compostagem dos resíduos as feiras, localizado na Lapa. O projeto ganhou tanta força que se tornou um programa do município, chamado de Programa Feiras e Jardins Sustentáveis.

Além dos resíduos provenientes das feiras, os pátios também recebem os resíduos da manutenção das áreas verdes da cidade, as podas. O resultado do processamento dos resíduos é o composto estabilizado. Este composto, atualmente, está sendo utilizado como adubo nos jardins públicos, reduzindo os gastos da prefeitura com esse tipo de insumo.

O método de compostagem nesses pátios de compostagem é o “UFSC”. De acordo com o trabalho desenvolvido por Galvão *et al* (2018) sobre a qualidade do composto produzido no pátio piloto do programa e as análises obtidas demonstram que o material, caracterizado como de resíduo sólido urbano, mas com alto grau de segregação, utilizando apenas resíduos vegetais, pode ser utilizado pela prefeitura como adubo nos serviços demandantes da cidade como paisagismo, plantio de árvores e agricultura urbana.

Atualmente, o projeto já conta com 5 pátios de compostagem distribuídos pela cidade. O programa, desviou, desde 2015 mais de 3.900 toneladas de RSO (RISSO, 2019). O nome e a área dos atuais pátios de compostagem estão na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Nome e área dos pátios de compostagem do Programa Feiras e Jardins Sustentáveis – São Paulo

Pátio	Área
Lapa	3.000 m ²
Sé	2.800 m ²
Mooca	4.539 m ²
Matarazzo	3.264 m ²
São Matheus	3.100 m ²

Fonte: Risso (2019)

Por fim, a experiência realizada em Belo Horizonte (BH) é fruto do Plano de Saneamento Básico (2008-2011) de BH permite ampliar a visão estrutural do sistema de compostagem uma vez que no sítio da Superintendência de Limpeza Urbana da cidade não apresenta mais detalhes sobre a unidade presente nas instalações da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS), localizada na BR-040, antigo aterro sanitário da cidade. No Plano, afirma-se que o método utilizado na Unidade de Compostagem CTRS/BR040 é do tipo “Windrow” cujas pilhas são reviradas por tratores. A área pavimentada destinada ao sistema é de 10.000 m² sendo 1.000 m² cobertos. O composto final, além ser usado em algumas áreas verdes da cidade, também é distribuído gratuitamente para escolas e creches da rede municipal de ensino e unidades da administração pública de BH (FREITAS JUNIOR; BARROS, 2016). Os RSO tratados no pátio

de compostagem são coletados de maneira segregada nas grandes fontes geradoras, como supermercados, feiras, sacolões e supermercados, e são misturados com as podas da cidade.

A Tabela 4.3 sintetiza as informações das três experiências descritas anteriormente.

Tabela 4.3 Informações de experiências de compostagem descentralizada no Brasil

Cidade	Tipo de compostagem	Período do processo	Ator Social
Florianópolis	UFSC	120 dias	Instituições e grupos sociais locais
São Paulo	UFSC	120 dias	Autoridade Municipal de Limpeza Urbana
Belo Horizonte	Leiras revolvidas	120 dias	Superintendência de Limpeza Urbana

O método UFSC de compostagem, apesar de não ter sido discriminado no item 4.2 deste trabalho, foi melhor explanado neste tópico. Trata-se de leiras estáticas com aeração passiva. Como o nome diz, as leiras são estáticas, não havendo a necessidade de revolvimento mecânico. A aeração se dá por convecção natural, onde o ar quente escapa pelo topo da leira, e o ar frio é sugado pela base permeável da leira (MMA, 2017), não necessitando de aeração forçada. Assim, é um processo bastante simplificado, considerando a Figura 4.2, esse tipo de compostagem está no mesmo nível ou até mais simplificado que as leiras revolvidas, visto que, não é necessária área para o revolvimento e nem gasto de energia elétrica com aeração forçada.

4.4. CRITÉRIOS PARA UNIDADES DE DESTINAÇÃO DE RSU

No âmbito de aplicação de SIG, usado na metodologia deste trabalho, o processo de análise de decisão envolve vários critérios. Uma decisão, por exemplo, é uma escolha entre alternativas locais. Um critério é alguma base mensurável e analisável para uma decisão, e pode ser um fator ou uma restrição.

Um fator realça ou ameniza a aptidão de uma alternativa específica para um propósito destinado a uma restrição. Uma restrição constitui um limite rígido para alternativas em consideração. Uma regra de decisão é o procedimento pelo qual critérios são combinados para uma

determinada avaliação que visa um objetivo específico. Esta avaliação pode ser feita por critérios múltiplos ou com múltiplos objetivos e estes podem ser complementares ou conflitantes (VIEIRA, 1999).

Aplicações de problemas de localização de instalações ocorrem nos setores privado e público, com o objetivo de estar o mais próximo possível da demanda, com o intuito de reduzir custos em transportes, maximizar a área de cobertura, aumentar o nível de acessibilidade da demanda ou reduzir ao máximo os custos com instalações, seja pela escolha de uma localização devido ao custo financeiro, ou pela quantidade de instalações a serem estabelecidas (MAPA; LIMA, 2012).

Prampolim *et al* (2015, *apud* Forgie *et al* 2001), define algumas condicionantes, ou seja, critérios para a definição da localização de usinas de compostagem, são elas:

- Métodos de compostagem e equipamentos;
- Topografia;
- Vizinhança – entre 400 e 1.000 m;
- Área envoltória de segurança para odores, ruídos e controle da poluição – distância mínima de fonte de água potável de 150m; distância de outras fontes de águas superficiais entre 150 e 300m;
- Vetores;
- Incêndio;
- Padrões de circulação de veículos;
- Distâncias a partir do e para o local onde os insumos são gerados;
- Espaços necessários para a armazenagem de matéria-prima, maturação, armazenagem do composto final, medidas de controle de odores e lixiviados.

Vieira (1999), considera ainda, para a escolha de áreas para estações de tratamento dos resíduos sólidos:

- Mais próxima possível da área a ser coletada;
- Posição estratégica em relação as vias de transporte;
- Construção em local que possibilite o mínimo de objeção da comunidade;
- Viabilidade econômica de operacionalização;
- Proximidades dos mercados consumidores de energia, dos materiais reciclados e do composto orgânico gerado.

Vale ressaltar que as principais causas de ineficiência e subsequente interrupção das operações dos pátios de compostagem são os odores e os fatores econômicos. Assim, estes fatores devem ser constantemente revisitados ao longo da construção e operação para o sucesso da empreitada (PRAMPOLIM, 2015).

Para a localização de unidades de compostagem ainda não há uma norma, diferentemente das instalações de aterros sanitário, que possui a NBR 13.896 (1997), na qual estabelece os critérios mínimos de adequabilidade para a localização dos aterros, são eles: topografia, geologia e tipos de solos existentes, recursos hídricos, vegetação, tamanho disponível e vida útil, custos e a distância mínima a núcleos populacionais.

No trabalho de Prampolim (2015) e na NBR 13.896 (1997), nota-se critérios em comum, como é o caso da topografia, o acesso que é o correspondente de padrões de circulação, vizinhança correspondente a distância mínima a núcleos populacionais, espaço necessário na localização das usinas similar ao tamanho disponível para os aterros, diferenciados pela questão da vida útil. O aterro possui um fim determinado pelo preenchimento total da área de aterramento, diferente dos pátios de compostagem, em que periodicamente os resíduos tratados são destinados a outro local, liberando espaço para novos resíduos sólidos.

Para este trabalho, os critérios avaliados serão aqueles comuns nessas duas referências: topografia, recursos hídricos, acessos de veículos, área disponível e distância da população.

Área disponível é crucial para qualquer obra. No caso de instalações de destinação de resíduos sólidos, está intimamente associada com a sua capacidade de processamento.

A distância da população até os pátios de compostagem é um critério para a viabilidade da instalação. Para o caso de instalação dos aterros sanitários, Born (2013) diz que a distância de manchas urbanas é um critério significativo a ser considerado, visto que, o mau cheiro, a proliferação de insetos e roedores, a poluição sonora provocados pelo tráfego intenso dos caminhões de resíduos, podem trazer danos à saúde humana e, portanto, deve existir uma distância mínima entre espaços urbanos e a instalação de disposição final.

Além dos critérios usados como base de entrada no geoprocessamento, também são usados critérios iniciais para a escolha da região em que o *software* fará o processamento dos dados.

4.5. APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO

Este item descreve duas ferramentas presentes no software ArcGis, que auxiliam na decisão para a melhor localização de facilidades. Os problemas de localização podem ser classificados

como problemas de cobertura e problemas de localização de medianas. Em ambas, decisões são tomadas sobre onde localizar facilidades (*facility*) (centros que podem ser substituídos por fábricas, depósitos, escolas, antenas, etc.) (ARAKAKI; LORENA, 2006). Para o presente estudo, a facilidade indicada são os pátios de compostagem.

Para a utilização do SIG é importante salientar que se trata do processamento de dados espaciais ou geográficos. Ferreira (2003) define o dado espacial ou geográfico como termo utilizado para representar fenômenos do mundo real através de duas componentes: (a) sua localização geográfica, ou seja, sua posição em um sistema de coordenadas conhecido; e (b) seus atributos descritivos, como por exemplo, cor, custo, pH, etc. O dado espacial pode ser representado por dados vetoriais ou matriciais.

Dados matriciais podem ser entendidos como qualquer dado representado em uma estrutura de matriz retangular com M linhas x N colunas. Exemplos desse tipo de dado são grades irregulares com valores de uma determinada grandeza (como uma grade de altimetria) ou imagens de sensoriamento remoto (VINHAS; SOUZA, 2005).

O modelo de dados vetorial é utilizado para representar o espaço como um conjunto de entidades discretas (geo-objetos ou objetos geográficos) definidas por uma unidade (ponto, linha ou polígono) geograficamente referenciada e por seus atributos descritivos (FERREIRA, 2003).

4.5.1. Raster Calculator

Uma das ferramentas da extensão “*Spatial Analyst*” do Arcgis é a *The Raster Calculator*. A ferramenta constrói e executa uma única expressão de Álgebra de Mapa usando a sintaxe Python em uma interface semelhante a uma calculadora (ARCGIS PARA DESKTOP, 2019).

Quando o objetivo é o cruzamento de mapas através de expressões matemáticas, a opção da *Raster calculator* é o método mais indicado, este possibilita a sobreposição espacial de várias camadas e o uso de cálculos algébricos complexos (CRONEMBERGER, 2009).

A Figura 4.3 ilustra a interface da entrada de dados na ferramenta.

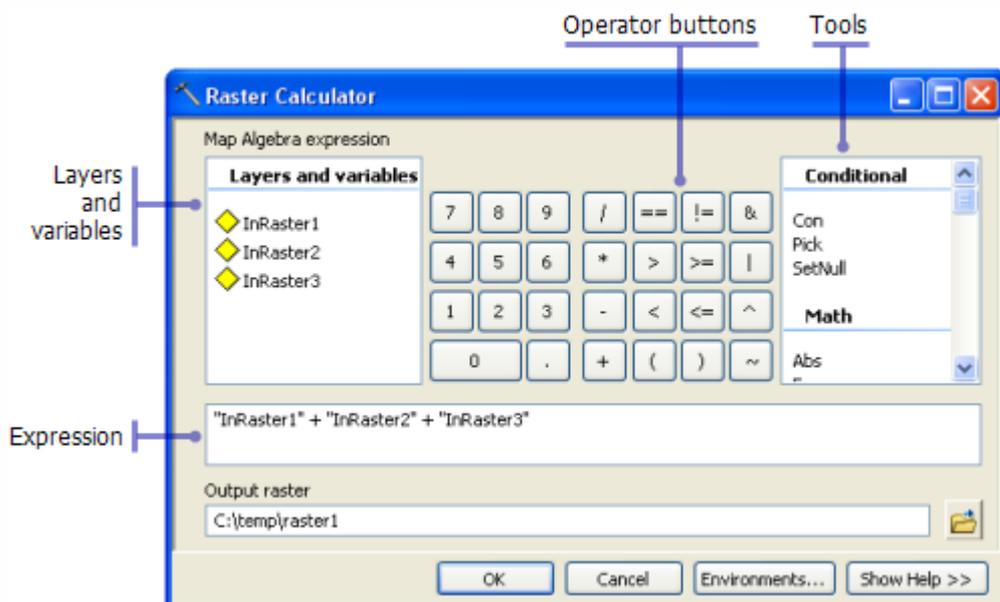


Figura 4.3 Exemplo de caixa de diálogo da ferramenta Raster Calculator.

Fonte: ArcGis para Desktop

A Raster Calculator fornece uma ferramenta poderosa para executar várias tarefas. Você pode executar cálculos matemáticos usando operadores e funções, configurar consultas de seleção ou digitar na sintaxe da álgebra de mapa. As entradas podem ser conjuntos de dados ou camadas de dados matriciais (*raster*), coberturas, arquivos de forma, tabelas, constantes e números (ESRI, 2008).

Ao inserir as devidas entradas de dados matriciais no *software* e determinando a equação dentro da ferramenta, o resultado do processamento serão áreas mais aptas para a seleção do local de construção das instalações de compostagem descentralizada, as facilidades.

4.5.2. Network Analyst

A extensão analisa através de uma rede, conectada através de nós, caminhos mais curtos e/ou mais baratos de acordo com a necessidade do operador. Fundamentado nisso, a extensão é capaz de otimizar diversas situações de interesse, de pesquisar melhores caminhos entre dois pontos determinados, de acordo com o tempo e/ou distância, determinar as áreas de influência de um empreendimento ou instrumento, determinar os caminhos de rede de menor custo entre várias origens e destinos, entres outras funções, tudo baseado no conjunto de dados de rede viária (O'CONNOR, 2013).

Araújo (2012) afirma que com essa ferramenta é possível fazer análises de tempo de deslocamento, gerar rotas ponto a ponto e ponto-multiponto, encontrar o melhor caminho, identificar caminhos ótimos, identificar o ponto mais próximo e gerar matriz de origem-destino.

De acordo com O'Connor (2013), O Network Analyst usa principalmente o algoritmo de Dijkstra, que é um algoritmo mais simples que encontra o caminho mais curto ou mais baixo entre dois pontos.

O algoritmo pode ser basicamente explicado da seguinte forma: num dado vértice (nó) no grafo, o algoritmo localiza o caminho com a menor custo (isto é, o caminho mais curto) entre esse vértice e todos os outros vértices, recorrendo ao peso/custo da aresta. Este sistema, pode também ser usado para encontrar custos de caminhos mais curtos a partir de um único vértice para um vértice de destino parando o algoritmo uma vez que o caminho mais curto para o vértice destino tiver sido determinado (PERES, 2016).

Karadimas *et al* (2007) afirmam que usuários da extensão são capazes de:

- Encontrar rotas de viagem eficientes;
- Determinar qual instalação ou veículo está mais próximo;
- Gerar instruções de viagem e;
- Encontre uma área de serviço em torno de uma localização.

O solucionador de alocação de local começa gerando uma matriz de origem-destino com custos de caminho mais curto entre todas as instalações e locais de pontos de demanda ao longo da rede. Em seguida, constrói uma versão editada da matriz de custos por um processo conhecido como edição Hillsman. Esse processo de edição permite que a mesma heurística geral do solucionador resolva uma variedade de tipos de problemas diferentes. O solucionador de alocação de local gera um conjunto de soluções semi-aleatórias e aplica uma heurística de substituição de vértices (Teitz e Bart) para refinar essas soluções, criando um grupo de boas soluções. Uma metaheurística combina então esse grupo de boas soluções para criar melhores soluções. Quando nenhuma melhoria adicional é possível, a metaheurística retorna a melhor solução encontrada (ESRI, 2019).

A análise de redes viárias (*Network Analyst*) pode considerar pedestres e veículos. Para o primeiro caso, leva em conta a velocidade média da caminhada das pessoas, e diferentes velocidades conforme a declividade das vias, o sentido da caminhada (se subida ou descida) e a idade do pedestre. Para o segundo, caso leva em consideração as informações sobre a

hierarquia das vias, o volume e o sentido do tráfego, o sentido das conversões e as velocidades máximas permitidas. A resistência oferecida aos pedestres e carros em seu trajeto é denominada “Impedância” (SOUZA *et al*, 2015). A ferramenta possibilita determinar a máxima impedância desejada, em distância ou em tempo.

A computação dos caminhos mais curtos é uma área famosa de pesquisa em Ciência da Computação, Pesquisa Operacional e SIG. Há um grande número de maneiras de calcular caminhos mais curtos, dependendo do tipo de rede e especificação do problema. O Network Analyst não é apenas capaz de reproduzir um número satisfatório de cenários, mas também tem a capacidade de ser facilmente adaptado a novas condições (KARADIMAS *et al*, 2007).

5. METODOLOGIA

A metodologia proposta neste trabalho visou obter dados sobre a quantidade de resíduos sólidos orgânicos gerados pelas escolas públicas da Região Administrativa de Taguatinga, sua localização, área necessária para pátios de compostagem e por fim determinar alocação de pátios para a realização de compostagem descentralizada para tratamento desses resíduos sólidos. A Figura 5.1 ilustra as etapas metodológicas propostas no presente estudo para a seleção de locais para compostagem descentralizada.

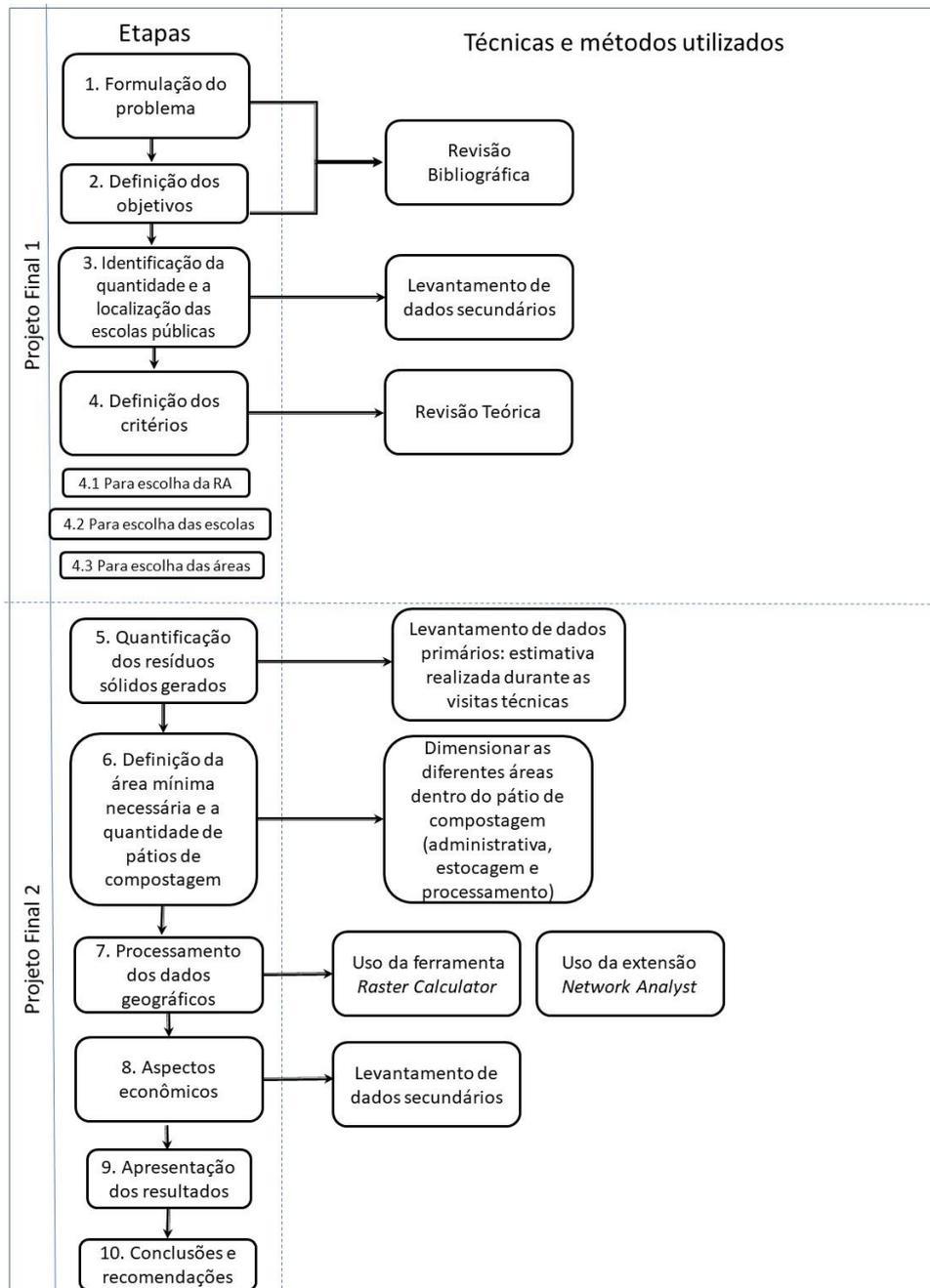


Figura 5.1 Etapas metodológicas

Em todas as etapas metodológicas a revisão bibliográfica e a teórica servirão de base para a realização do esquema proposto na Figura 5.1.

5.1. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS

Uma das etapas metodológicas propostas na Figura 5.1 é a definição dos critérios para selecionar área de estudo (Região Administrativa), escolas e áreas disponíveis, devendo ocorrer na ordem que foi apresentado. A necessidade da definição de critérios existe para limitar as opções disponíveis e conseguir elencar as melhores opção.

- **Para escolha da área de estudo**

A escolha da região administrativa é feita com os seguintes critérios:

- i. Quantidade de estudantes atendidos na RA: é utilizada como um critério, visto que, quanto maior a quantidade de alunos, maior necessidade de consumo de alimentos e maior geração de resíduos sólidos.
- ii. Quantidade total de escolas localizadas na RA: sinaliza a quantidade de pontos de geração dos resíduos sólidos orgânicos, assim, maior a quantidade de escolas, espera-se maior volume de resíduos sólidos provenientes dessas unidades.
- iii. Densidade de escolas na RA: Considerando a área total da RA e a quantidade de escolas, deve ser aquela que possui o maior número de escolas por área, assim, será necessário percorrer uma menor distância para conseguir coletar maior volume de resíduos sólidos orgânicos.

- **Para a escolha das escolas**

Após seleção da RA, foram definidas as escolas que serão feitas as visitas para a quantificação dos resíduos sólidos orgânicos gerados. Deve ser considerado:

- i. Tipo de escola
- ii. Proximidade de outras escolas
- iii. Cardápio/quantidade de refeições servidas diariamente

- **Para a escolha das áreas candidatas**

A área do pátio de compostagem deverá necessariamente está em um raio de distância inferior à distância média atual da geração dos resíduos sólidos e local de destinação. Além disso, deve-se levar em consideração as seguintes características:

- i. Acesso dos veículos: crucial para a escolha da área de alocação, pois durante a operação da unidade os veículos devem adentrar e sair da instalação para transporte das matérias primas do processo e o composto final respectivamente.
- ii. Disponibilidade de área pública para implantação dos pátios: a disponibilidade de propriedades públicas dentro da distância máxima determinada, a partir das escolas públicas, deve ser considerada, visto que, seriam áreas mais aptas a instalação dos pátios, pois, é de interesse público a construção dessas unidades de tratamento de resíduos orgânicos.
- iii. Área disponível dentro da distância máxima entre as escolas e a unidade de tratamento que possua o tamanho mínimo para que ocorra o processo de compostagem: deve ser priorizada na escolha da área de instalação, dimensões mínimas para a viabilidade do processamento do total de RSO gerados nas escolas dentro do mesmo raio.
- iv. Zoneamento urbano: deve-se respeitar o zoneamento, estabelecido pelo Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT), ou seja, em áreas de preservação ambiental ou áreas de tombamento, não poderão ser instaladas as unidades.
- v. Declividade: é importante para os métodos construtivos do pátio e devido a geração de líquidos provenientes do processo de compostagem.
- vi. Distância a núcleos residenciais: devem ser ponderados, visto que, é parâmetro importante na aceitação pública da localidade, onde pode-se destacar a expressão Nimby.

A distância entre as escolas e o pátio de compostagem compõe critério importante, visto que, a compostagem descentralizada preza pela realização do processo de tratamento próximo ao local de geração dos resíduos, minimizando gastos com o transporte, por isso que obrigatoriamente o pátio deverá está dentro do raio definido.

5.2. ESTIMATIVA DOS RSO GERADOS

Após a seleção das RA e das escolas, foi feita a estimativa de geração de resíduos sólidos. Esta estimativa foi baseada em observações no campo. Para isso, foram feitas as visitas nas escolas selecionadas, durante 5 dias, preferencialmente, consecutivos, em cada escola, ou seja, de segunda a sexta-feira, em semanas consideradas “comuns”, logo, com nenhuma festividade ou atividade que gere alteração na rotina dos alunos e conseqüente geração de resíduos sólidos orgânicos.

Os dias foram preferencialmente consecutivos, ou seja, no período de uma semana, visto que, o cardápio disponibilizado para as escolas é semanalmente equilibrado, ou seja, a geração de resíduos semanal é semelhante.

As visitas foram documentadas com fotos e a quantidade de RSO foi mensurada com uma balança digital. Além da pesagem, foi determinado o respectivo volume dos resíduos sólidos orgânicos mensurados. Vale ressaltar que nas escolas públicas existe grande geração de resíduos sólidos, não apenas de orgânicos. Entretanto, para o presente trabalho apenas foram quantificados os resíduos orgânicos originados na cantina e no refeitório da escola, pois são os materiais que serão passíveis de serem destinados aos pátios de compostagem.

A geração de resíduos *per capita* foi feita dividindo-se o total de resíduo gerado pelo número de alunos matriculados nos dois turnos das respectivas escolas.

O levantamento da geração de RSO nas escolas foi extrapolado para as outras escolas localizadas na mesma RA fim de colocar no mapa a geração de resíduos, ou seja, os pontos onde serão demandadas as coletas de orgânicos para ser enviados aos pátios de compostagem.

5.3. DEFINIÇÃO DA ÁREA MÍNIMA PARA O PÁTIO DE COMPOSTAGEM

A área mínima do pátio de compostagem foi definida através da Equação 5.1.

$$A_{mínima} = A_{adm} + A_{est} + A_{leiras} \quad \text{Equação 5.1}$$

Em que:

$A_{mínima}$: área mínima do pátio de compostagem descentralizada em m²;

A_{adm} : área do escritório, banheiros, espaço de convivência dos funcionários e portaria em m²;

A_{est} : área de estocagem em m²;

A_{leiras} : área das leiras, ou seja, área do tratamento em si em m².

A área de processamento dos resíduos sólidos foi feita considerando o tipo de compostagem de leiras revolvidas. Justifica-se o uso desse tipo de compostagem por ser o mais simples (Figura 4.2) corroborando com o afirmado por Manu *et al* (2019), em que os sistemas descentralizados devem ser baratos, requerem pouca manutenção e facilidade de manuseio.

O dimensionamento dos pátios de compostagem descentralizada foi realizado seguindo as equações 5.2 a 5.4.

Admitindo-se leira com a seção aproximadamente triangular, tem-se:

$$A_{seção} = \frac{l * h}{2} \quad \text{Equação 5.2}$$

Em que,

A_{seção}: a área da seção é triangular dada em m²

l = largura, m

h = altura, m

Considerando uma altura de 1,2m e 1,2 de largura, $A_{seção} = 0,72 \text{ m}^2$. Para calcular o volume da leira foi admitido a densidade média determinada com a coleta de dados.

$$V_{leira}(\text{m}^3) = \frac{m}{\rho} \quad \text{Equação 5.3}$$

Em que,

m é a massa compostada

ρ é a densidade dos resíduos.

Em seguida, calcula-se comprimento da leira pela seguinte equação:

$$C (m) = \frac{V_{leira}}{A_{seção}} \quad \text{Equação 5.4}$$

Após a aplicação dessas equações, é obtido a área de uma leira. Para o dimensionamento, é considerada ainda, a área necessária para o revolvimento da leira e a área de circulação. A área de revolvimento é igual a área da leira e a área de circulação corresponde a 10% da área de uma leira.

Cada leira será preenchida com o RSO produzidos em uma semana. Foram consideradas 17 leiras, pois é aproximadamente o número de semanas em 120 dias, que é o período necessário para o processo completo de compostagem.

A área de estocagem deve ser determinada como uma porcentagem da área de processamento, visto que, a área de estocagem abriga o resultado do processamento dos resíduos, até que sejam distribuídos.

Para a área administrativa, deve-se fazer um levantamento das outras unidades de destinação de resíduos sólidos local.

5.4. PROCESSAMENTO DOS DADOS ESPACIAIS

O processamento dos dados espaciais com os obtidos em campo foi feito com o *software ArcGIS*. Inicialmente, com o auxílio da ferramenta *Raster Calculator*. Os dados vetoriais, em formato de *shapefile*, necessário para o processamento das informações são os disponibilizados pela Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação (SEGETH), foram: PDOT, Lotes ocupados na RA, as unidades de proteção ambiental (Parques, Floresta Nacional, RPPN, Reservas, Área de Proteção ao Manancial) e as curvas de nível, que foram utilizadas para fazer o cálculo da declividade.

A equação utilizada dentro da operação da *Raster Calculator*, foi a de multiplicação. Para o processamento, todas as camadas utilizadas devem estar no formato de *raster* (dado matricial). Para isso, os dados vetoriais, obtidos no *site* da SEGETH, foram transformados em dados matriciais (*raster*) com a ferramenta *Polygon To Raster* do *software ArcGIS*.

Após transformadas em dados matriciais, as camadas foram reclassificadas, de forma que, foram atribuídos valor 1 para características permitidas e 0 para as indesejadas, seguindo a lógica booleana.

A camada de lotes ocupados, foi atribuído 0 para todos os lotes ocupados, pois não é possível instalar o pátio e atribuído 1 para o restante da camada, ou seja, de lotes desocupados. Já para as áreas de preservação (Parques, Floresta Nacional, RPPN) foi atribuído 0 e para o restante da camada. A declividade, similar aos processos anteriores, foi atribuído 0 para declividades maiores de 10% e 1 para declividade inferior a 10%.

O fluxograma do procedimento realizado está disposto na Figura 5.2.

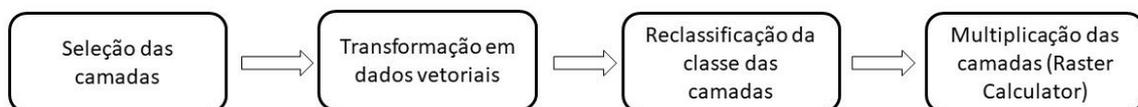


Figura 5.2 – Fluxograma do uso da Raster Calculator

Posteriormente, foi realizada a multiplicação, de modo que, o dado matricial de saída do processamento terá apenas 2 valores, 0 para locais proibidos e 1 para locais viáveis. Para melhor visualização das áreas apontadas após o processamento, serão selecionadas as mais aptas a partir da observação com o *Google Earth*. Essa observação elimina as vias, as praças públicas, que apesar de livres possuem outras finalidades, e áreas com dimensão inferior a necessária para instalação de pátios de compostagem.

Retornando ao *ArcGIS*, foi feita a aplicação da extensão *Network Analyst* para alocar a melhor localização. Dentro da extensão, tem-se a ferramenta *Location-allocation*, em que será indicado como *Facilities* as áreas disponíveis e *Demand Points* para as escolas públicas geradoras de RSO.

5.5. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS CUSTOS ENVOLVIDOS

Foi feita a descrição do atual sistema de gerenciamento acerca dos gastos com a coleta, tratamento, transbordo e destinação final dos resíduos sólidos coletados na localidade em análise. Além da descrição dos elementos necessários para a operação do possível sistema a ser implantado.

Trata-se apenas de uma avaliação preliminar, visto que, não foi contabilizado o investimento inicial e nem foi montado o fluxo de caixa relativo ao empreendimento. Assim, não foi possível adotar critérios de tomada de decisão como o da Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VPL) ou o *Payback*.

6. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo é demonstrada a aplicação da metodologia proposta no capítulo 5 para o Distrito Federal.

6.1. CARACTERIZAÇÃO

O Distrito Federal, localizado na região centro-oeste do Brasil, possui uma população de 2.906.574, uma densidade demográfica 5,05 hab/ha e com uma densidade urbana de 47,29 hab/ha. O DF é dividido em 33 regiões administrativas (CODEPLAN, 2017).

De acordo com os dados do SLU (2017), o Distrito Federal possui uma geração diária de 2.700 toneladas de resíduos sólidos urbanos. Até janeiro de 2017 todo o resíduo coletado era aterrado no antigo Lixão da Estrutural, atual Unidade de Recebimento de Entulho (URE). Um ano depois da inauguração do Aterro Sanitário de Brasília (ASB) foi encerrado o aterramento de resíduos sólidos urbanos no lixão, assim, todos os resíduos passaram a ser aterrados no ASB.

O Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Distrito Federal (PDGIRS), aprovado por meio do Decreto 38.903, de 6 de março de 2018. Nesse documento, os RSU, que têm seu manejo sob responsabilidade do Poder Público, são separados em: Resíduos Sólidos Domiciliares e Resíduos de Limpeza Urbana. No mesmo documento também há a classificação dos outros tipos de resíduos sólidos gerados, são eles: resíduos especiais, que englobam os resíduos de grandes geradores, resíduos da construção civil, resíduos de serviços de saúde, resíduos de serviço de transporte, resíduos industriais, resíduos de saneamento, resíduos agrossilvopastoris e resíduos de mineração. O outro grupo de resíduos classificados são os resíduos sujeitos a logística reversa.

De acordo com o PDGIRS, 48,34% dos resíduos sólidos domiciliares gerados no Distrito Federal, são de matéria orgânica. Esse dado foi obtido a partir da caracterização gravimétrica realizada pela empresa SERENCO. Os estudos foram feitos utilizando os resíduos da coleta convencional e coleta seletiva realizadas entre setembro a dezembro de 2016.

Existem duas Usinas de Tratamento Biológico e Mecânico (UTMB) no Distrito Federal. A maior delas está localizada no setor P SUL, Ceilândia. Segundo o relatório de 2018 (SLU, 2018), a usina processou aproximadamente 177 mil toneladas de resíduos, dessa quantidade, foi obtido 42.713 toneladas de composto, passível de doação.

Os resíduos que chegam nas usinas para o processo de compostagem, precedida pela triagem dos materiais recicláveis, são oriundos da coleta convencional, ou seja, não há uma segregação

na origem entre rejeitos, orgânicos e recicláveis. Para as regiões que possuem coleta seletiva dos recicláveis, os resíduos orgânicos são misturados aos rejeitos durante a coleta convencional. Dessa forma, nas regiões que não possuem coleta seletiva, mesmo que os usuários realizem a separação dos resíduos, são todos coletados pelo mesmo caminhão, contaminando os resíduos recicláveis com orgânicos e rejeitos. Assim, nem a triagem dos recicláveis é eficiente e nem a qualidade do composto gerado na UTMB com os RSO é satisfatória.

As operações de processamento biológico da usina da Asa Sul estão desativadas, assim, após a separação mecânica da matéria orgânica na unidade, o material é transportado para a (UTMB) da Ceilândia, para o tratamento biológico nas leiras.

De acordo com os dados do SLU (2018) do relatório anual de atividades de 2018, as usinas compostaram 65,4 mil toneladas de resíduos que iriam diretamente para o aterro sanitário. Esse valor representa 27,38% dos resíduos que adentraram nas usinas, e representa apenas 8,17% dos resíduos recolhidos pela coleta convencional no DF no mesmo ano. Isso mostra o quanto o sistema centralizado de compostagem não tem uma abrangência suficiente para deixar de enviar grande parte dos orgânicos para o aterro sanitário.

Segundo o PDGIRS (2018), a inexistência de indicadores para a compostagem, inclusive no SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), dificulta uma avaliação comparativa entre cidades brasileiras, porém, face à escala evidenciada no Distrito Federal, se pode afirmar que o processamento de aproximadamente 700 t/dia de resíduos está certamente entre os maiores índices do país.

Um dos programas do PDGIRS (2018) é o Programa de Educação Ambiental, Controle Social, Participação e Comunicação, vinculado a meta de redução dos resíduos orgânicos, em que, uma das estratégias sugeridas para este programa é: Capacitar membros de cooperativas e associações de catadores, lideranças comunitárias, representantes de movimentos sociais, professores, agentes comunitários de saúde, bem como demais interessados a tornarem-se multiplicadores de educação ambiental voltada a resíduos sólidos em escolas, parques e espaços públicos.

O Conselho de Saneamento Básico do Distrito Federal (CONSAB) instituído pelo Decreto nº38.458, de 30 de agosto de 2017, é competente, de acordo com inciso VI do artigo 2º do Decreto, por acompanhar a implementação do Plano Distrital de Saneamento Básico, o qual o PDGIRS é integrante, avaliando os relatórios sobre a prestação de serviços e sua integração

com os planos territorial, ambiental e de recursos hídricos e propor providências para o cumprimento de suas metas.

Outra normativa de fundamental importância nas questões de resíduos sólidos no DF é a Resolução Adasa 21, de 25 de novembro de 2016 (ADASA, 2016), que trata das condições gerais da prestação e utilização dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos no Distrito Federal.

O art.8º, inciso VII da resolução supracitada estabelece como diretriz o tratamento adequado dos resíduos orgânicos para evitar sua disposição final em aterro sanitário e o aproveitamento energético dos gases, para redução de emissões prejudiciais à atmosfera.

Ainda no art. 8º inciso X da norma de regulação, é destacado o princípio da proximidade, de forma que as unidades de transbordo e destinação sejam localizadas próximas ao local de geração, para minimizar os custos econômicos, sociais e ambientais do manejo dos resíduos sólidos (ADASA, 2016).

No artigo 9º é explicitado as responsabilidades dos prestadores de serviços públicos, onde, no inciso IX informa como uma responsabilidade a minimização da quantidade de rejeitos a serem dispostos em aterros sanitários.

A Resolução da Adasa, em seu artigo 51, estabelece que o prestador de serviços públicos deve atender às metas progressivas para redução da disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários, definidas no Plano Distrital de Saneamento Básico (PDSB), no PDGIRS e em resoluções da entidade reguladora.

Atualmente, a coleta dos resíduos sólidos das escolas públicas é feita pelo SLU, apesar desses estabelecimentos se enquadrarem como grandes geradores. Grandes geradores, de acordo com a Lei Distrital nº 5.610 de 16 de fevereiro de 2016 (DISTRITO FEDERAL, 2016), são pessoas físicas ou jurídicas que produzam resíduos em estabelecimentos de uso não residencial, incluídos os estabelecimentos comerciais, os públicos e os de prestação de serviço e os terminais rodoviários e aeroportuários, cuja natureza ou composição sejam similares àquelas dos resíduos domiciliares e cujo volume diário de resíduos sólidos indiferenciados, por unidade autônoma, seja superior a 120 litros.

Sabe-se que o gerenciamento dos resíduos sólidos de grandes geradores, classificados como resíduos sólidos especiais (RSE) pela Resolução nº 21/2016 da Adasa, é de responsabilidade de seus geradores. Entretanto, a coleta dos resíduos das escolas públicas ainda é realizada pelo

serviço público, pois a implantação da lei estipula prazos para cada tipo de estabelecimentos. De acordo com o Decreto nº 37.568, de 24 de agosto de 2016, que regulamentou a Lei Distrital 5.610/2016, os grandes geradores públicos, órgãos e entidades do Distrito Federal e dos demais entes federativos estabelecidos no Distrito Federal devem efetuar o cadastro junto ao SLU de até o dia 31 de dezembro de 2020. Salienta-se que o prazo inicialmente estabelecido para o cadastramento desse tipo de estabelecimento era de 31/12/2017, porém tal determinação vem sendo modificada pelo governo do DF por meio da edição de outros decretos sinalizando o entendimento do titular dos serviços de que os órgãos e instituições públicas deverão continuar sendo atendidos pelo SLU.

Tal entendimento foi expresso no Projeto de Lei nº799/2019, de autoria do poder executivo, enviado à Câmara Legislativa que propõe alterar o art. 4º da Lei nº 5.610/2016, atribuindo ao SLU a competência de realizar as atividades do gerenciamento dos resíduos sólidos relativas aos órgãos e entidades dependentes do Tesouro do Distrito Federal, devendo as despesas decorrentes desse gerenciamento, serem pagas mediante consignação de recursos na Lei Orçamentária Anual.

Diante do exposto sobre o atual gerenciamento dos resíduos orgânicos do DF e as normativas vigentes, o DF será utilizado como estudo de caso para a alocação de pátios de compostagem para os resíduos sólidos orgânicos gerados nas escolas públicas do Distrito Federal.

6.2. ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO

Como critério para decisão de qual área de estudo (RA), tem-se como primeiro critério a quantidade de alunos atendidos na área de estudo. De acordo com a Secretaria de Estado de Educação (SEEDF) (2018), a região administrativa com o maior número de alunos é Ceilândia com 80.570 estudantes, depois Taguatinga seguida pelo Plano Piloto e Planaltina.

O segundo critério é a quantidade de escolas inseridas na área de estudo. De acordo com a SEEDF (2018), atualmente, a rede pública de ensino do Distrito Federal conta com 680 escolas. Entre essas, 601 são urbanas e 79 são rurais. Dentre essas, a RA que possui o maior número de escolas públicas é o Plano Piloto, que são 107, seguida por Ceilândia, com 96, depois Planaltina com 65 e Taguatinga, com 63.

O terceiro critério utilizado para a seleção da RA é a densidade de escolas. Considerando os dados disponibilizados pela CODEPLAN (2017), onde possui a área de todas as regiões do DF

e os dados relacionados as quantidades de escolas de cada RA. A Tabela 6.1 mostra as 10 maiores densidades escolar do DF.

Tabela 6.1 Densidade escolar do DF

	RA	Densidade escolar (escola/ha)
1	Cruzeiro	0,02786
2	Núcleo Bandeirante	0,01927
3	Varjão	0,01323
4	Guará	0,00819
5	SCIA	0,00809
6	Candangolândia	0,00754
7	Taguatinga	0,00708
8	Samambaia	0,00425
9	Riacho Fundo	0,00420
10	Ceilândia	0,00410

Considerando os três critérios apontados anteriormente, observa-se que Taguatinga é a única RA que aparece nas primeiras colocações dos *rankings* citados, sendo, portanto, a RA selecionada para seleção de escolas e respectivas quantificação em campo dos resíduos sólidos orgânicos. Nota-se que foi dado um peso maior a densidade escolar em detrimento aos outros dois critérios, isso porque, com uma densidade maior dentro da RA, o caminhão provavelmente coletará mais resíduos percorrendo a mesma distância. A quantidade de escolas de acordo com o seu nível de ensino pertencentes a essa RA está presente na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 Tipo e quantidade das escolas públicas de Taguatinga

Tipo	Quantidade
Centro Educacional (CED)	5
Centro de Ensino Especial (CEE)	1
Centro de Ensino Fundamental (CEF)	14
Centro de Ensino Infantil (CEI)	7
Centro de Ensino Médio (CEM)	4
Centro Interescolar de Línguas (CIL)	1
Escola Classe (EC)	23
Escola Língua Bilíngue Libras e Português Escrito (ESC)	1

Fonte: SEEDF (2018)

A Figura 6.1 mostra a localização de todas as escolas públicas de Taguatinga. Estão diferenciadas entre si pelo nível de ensino de cada escola.

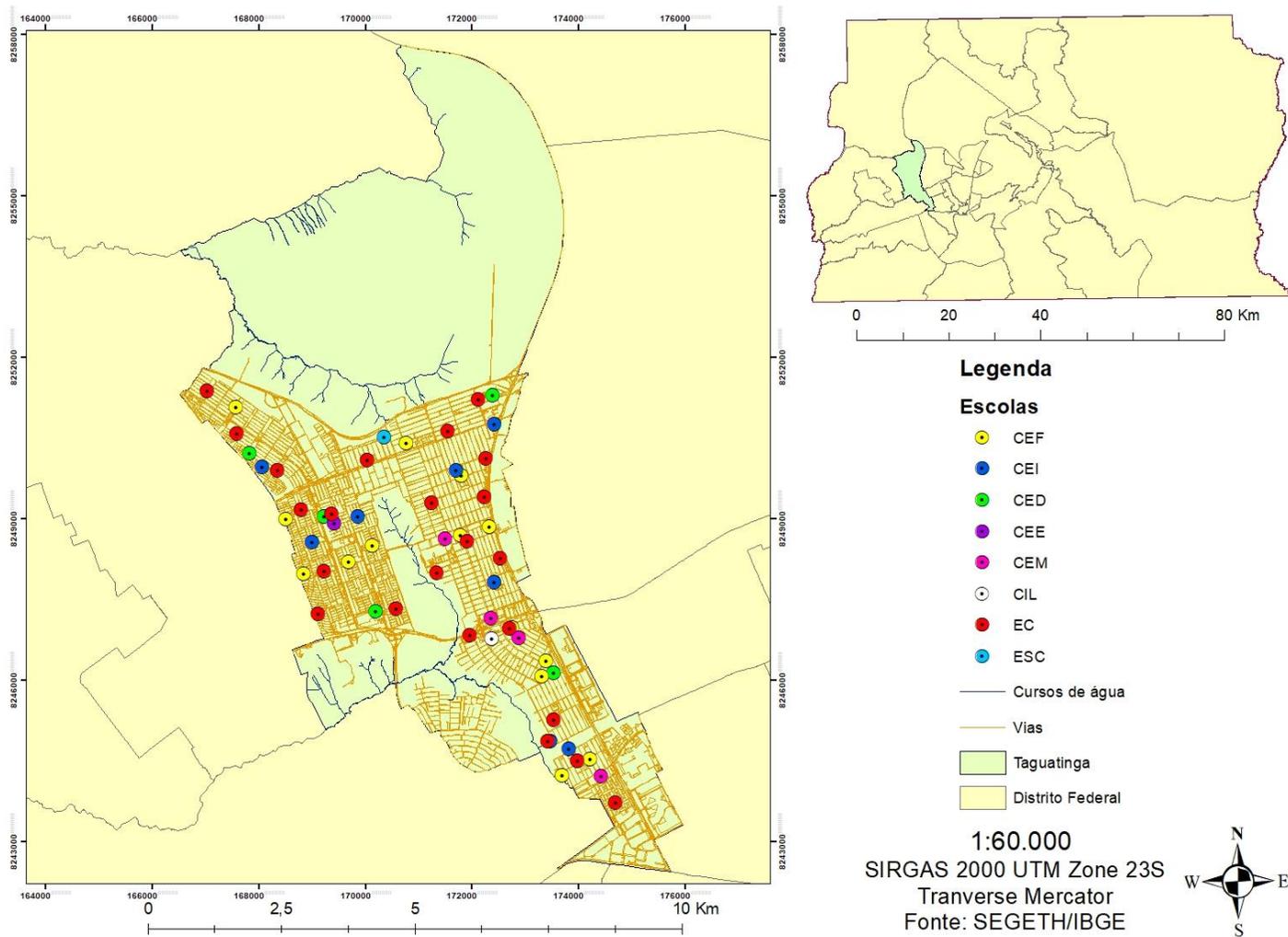


Figura 6.1. Escolas públicas de Taguatinga

6.3.ESCOLHA DAS ESCOLAS

Para a seleção das escolas públicas de Taguatinga, o primeiro critério adotado foi pelo tipo de escola, ou seja, qual o nível de ensino da instituição. Conforme disposto na Tabela 6.2, em Taguatinga, existem 8 tipos diferentes de escolas. Como forma de abranger a maior quantidade de escolas e quantidade de alunos, foram selecionados os 4 tipos que possuem mais unidades e quantidade de alunos, assim, foram selecionadas CEF, CEI, CEM e EC. Dentre esses quatro níveis de ensino, a que possui a menor quantidade de unidades é o CEM.

Taguatinga possui quatro escolas de ensino médio (CEM), assim, para a definição das escolas foram avaliadas inicialmente estas. Para isso, foi verificada a quantidade de escolas nas proximidades dessas quatro instituições, de maneira manual com auxílio do *Google Earth*, ou seja, foi verificada a distância dos CEM em relação a outras escolas localizadas nas suas proximidades. A escola de ensino médio que possui a maior quantidade de escolas próximas é o CEMTN. Dessa forma, essa foi a escola de ensino médio escolhida. As outras escolas selecionadas foram aquelas que estavam nas proximidades e correspondia algum dos outros 3 tipos de escolas.

Os outros tipos de escola, que não foram selecionados, possuem cardápio similar a estes tipos escolas. Tal fato pode ser verificado com os cardápios disponibilizados pelo site da SEEDF. Assim, foi considerado o CED como similar ao CEM, CEE e ESC similar ao CEF. O CIL não disponibiliza lanche aos alunos, sendo também um fator para ser descartado para a seleção das escolas.

O contato inicial foi feito com a diretoria das escolas, que autorizam a coleta de dados no interior das escolas, formalizados com uma autorização escrita (APÊNDICE A1).

As outras escolas selecionadas para as visitas foram CEF 19, EC 27 e CEI 08.

6.3.1. Caracterização das escolas

O CEF 19, de acordo com o Proposta Pedagógica (PP) de 2019 (CEF 19, 2019), possui 654 alunos matriculados. A instituição atende alunos de 6º a 9º ano, distribuídos entre o turno matutino e vespertino. A escola situa-se na EQNL 10/12, área especial nº01 e possui cerca de 70 alunos em horário integral.

A EC 27, localizada na QNF 19/ECNF 01 área especial, possui 738 alunos matriculados distribuídos em 34 turmas, que incluem os 100 alunos atendidos em período integral. Atende alunos de educação infantil e ensino fundamental do 1º ao 5º ano de 9 anos (EC 27, 2019)

O CEMTN possui, de acordo com o Projeto Político Pedagógico (CEMTN, 2019), 1693 alunos, cursando o ensino médio, em dois turnos, matutino e vespertino. A escola está situada na QNC AE 1/2/3, Av. Samdu.

CEI 08 possui 342 crianças de 4 e 5 anos matriculadas, cursando o 1º e o 2º período da educação infantil, respectivamente, conforme informações passadas pela secretaria da escola. Atendidos em 2 turnos, 167 no turno matutino e 175 vespertino. Diferente das outras escolas, esta não possui ensino integral. A escola está localizada na QNA 52, lote 26.

A EC 27 e o CEI 08 possuem hortas desativadas, porém o espaço ainda está disponível para essa finalidade. Assim, o composto produzido a partir dos RSO gerados nas instituições podem ser utilizados nas dependências das próprias escolas e possibilitando a plantação e consequente uso de ingredientes para enriquecer o cardápio pré-determinado pela SEEDF.

6.3.2. Coleta de dados nas escolas

A coleta de dados foi realizada durante os meses de setembro e outubro de 2019. Para cada escola, foram feitas pesagens por 5 dias, preferencialmente, consecutivos (segunda à sexta-feira), após o horário da última refeição disponibilizada pela escola, no CEMTN e no CEF 19 era após às 16:30, na EC 27 após as 16h e CEI 08 após as 15h. Vale salientar, que as escolas só disponibilizam as refeições feitas na cantina da instituição, não há lanchonetes terceirizadas nas dependências das instituições, sendo assim, as cantinas são as geradoras de resíduos orgânicos nas escolas.

O CEMTN, CEF 19 e o CEI 08, não fizeram nenhuma separação prévia dos resíduos. Assim, antes das pesagens foi necessário a separação dos resíduos, conforme Figura 6.2. Após a separação, os resíduos foram inseridos em um recipiente com volume conhecido, de forma a saber o volume que os resíduos sólidos ocupam e foi o recipiente utilizado para colocar na balança e pesar os resíduos (Figura 6.3).

As pesagens foram realizadas com balança digital em acrílico com limite de peso de 180 kg, com precisão de duas casas decimais.

O quantitativo de geração per capita levantado nessas escolas foi extrapolado para as outras escolas localizadas em Taguatinga a fim de colocar no mapa a geração de resíduos, ou seja, os pontos onde serão demandadas as coletas de orgânicos para serem enviados aos pátios de compostagem.

Devido à falta de informação disponibilizada pela SEEDF sobre o número de alunos matriculados em algumas escolas, informação necessária para estimar a geração de RSO em cada escola, a atribuição de geração das escolas sem informações foi estimada fazendo uma média aritmética da quantidade de alunos de cada tipo de escola que possuem dados. Esses dados foram retirados do PP.

Para o Centro de Ensino Especial, foi utilizado o número de alunos matriculados, conforme o PP de 2017, 416. Já para a Escola Língua Bilíngue Libras e Português Escrito, foi usado o quantitativo de 350 alunos, conforme o disposto no trabalho de Teixeira (2017).

Para o dimensionamento da área será considerado uma média dos valores de densidade apresentados.



Figura 6.2 Separação dos resíduos sólidos antes da pesagem



Figura 6.3 Recipiente utilizado para colocar os resíduos sólidos orgânicos

Após a pesagem, os RSO foram recolocados nos sacos plásticos para serem encaminhados ao ponto de coleta. No caso da EC 27, os RSO, após pesados, eram colocados dentro de bobonas pertencentes a escola, conforme solicitado pelo diretor.

6.4. SELEÇÃO DA ÁREA PARA OS PÁTIOS DE COMPOSTAGEM

Para a alocação da área, um fator determinante é que os pátios de compostagem estejam localizados em um raio de 8 km das escolas públicas. Esse valor representa a metade da distância média de deslocamento entre o centro de massa das RA e as localidades de destinação de resíduos sólidos do DF. Esse dado, foi baseado no trabalho realizado por Silva (2018), onde foram estimadas as localizações dos centros de massa das RA e as distâncias percorridas até a unidade de destinação final correspondente. Os valores estão dispostos na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 Distâncias de transporte e transferência dos resíduos sólidos provenientes da coleta convencional e rejeitos no DF. Adaptado de Silva (2018)

Deslocamento	Distância (km)	Deslocamento	Distância (km)
Plano Piloto - UTMB Asa Sul	9,41	Candangolândia - UTMB Asa Sul	6,54
Gama - Transbordo Gama	2,35	Águas Claras - UTMB P Sul	15,44
Taguatinga - UTMB P Sul	10,94	Riacho Fundo II - Transbordo Gama	12,96
Brazlândia - Transbordo Brazlândia	2,80	Sudoeste/Octogonal - UTMB Asa Sul	8,56
Sobradinho - Transbordo Sobradinho	2,50	Varjão - UTMB Asa Sul	19,69
Planaltina - Transbordo Sobradinho	19,21	Park Way - UTMB Asa Sul	11,75
Paranoá - Transbordo Sobradinho	32,25	SCIA/Estrutural - UTMB P Sul	19,02
Núcleo Bandeirante - UTMB Asa Sul	9,21	Sobradinho II - Transbordo Sobradinho	9,27
Ceilândia - UTMB P Sul	4,32	Jardim Botânico - UTMB Asa Sul	19,12
Guará - UTMB Asa Sul	8,25	Itapoã - Transbordo Sobradinho	15,42
Cruzeiro - UTMB Asa Sul	8,66	SIA - UTMB Asa Sul	12,09
Samambaia - ASB	10,66	Vicente Pires - UTMB P Sul	15,43
Santa Maria - Transbordo Gama	7,55	Fercal - Transbordo Sobradinho	17,69
São Sebastião - Transbordo Sobradinho	39,00	Transbordo Brazlândia - ASB	37,85
Recanto das Emas - Transbordo Gama	16,05	Transbordo Gama - ASB	25,86
Lago Sul - UTMB Asa Sul	9,73	Transbordo Sobradinho - ASB	57,14
Riacho Fundo - Transbordo Gama	18,60	UTMB Asa Sul - ASB	34,99
Lago Norte - UTMB Asa Sul	20,58	UTMB P Sul - ASB	14,10
Distância média (km)		16,25	

Em relação à área mínima necessária para a unidade foi o somatório da área administrativa, área de estocagem e área de processamento. Para a área administrativa será tomado como base o projeto do PEV do Recanto das Emas feito pelo SLU (APÊNDICE A3) seguindo o estipulado pelo artigo 53 da Resolução Adasa 21/2016 (ADASA, 2016), em que diz ser obrigação do prestador de serviços públicos manter estruturas com instalações sanitárias adequadas e locais apropriados para alimentação e guarda de pertences pessoais destinadas aos servidores e empregados.

A área para a estocagem é dimensionada para conseguir armazenar o composto produzido em 1 mês, correspondendo a quatro leiras, para considerar que a sua distribuição não ocorrerá imediatamente após o término do processo de compostagem. O estoque de composto deverá ser disposto em leiras com as mesmas dimensões das leiras em processo de compostagem.

Por fim, deve ser adicionada a área referente a área de processamento em si. O dimensionamento foi feito conforme item 5.3 do presente trabalho, considerando que a quantidade a ser processada foi estipulada pela autora nas visitas técnicas.

As etapas metodológicas seguintes, foram feitas conforme a descrição contida no capítulo 5, resultando na alocação de pátio de compostagem descentralizada com os resíduos das escolas públicas de Taguatinga.

6.5. ASPECTOS ECONÔMICOS

Este item trata dos aspectos econômicos referentes ao manejo de resíduos sólidos do atual sistema de gerenciamento de resíduos orgânicos de Taguatinga e realiza e propôs uma avaliação preliminar dos custos da implantação operação de pátios de compostagem para os RSO.

6.5.1. Remuneração dos serviços de manejo de resíduos sólidos

A viabilidade técnica e econômica de um projeto é condição inicial para sua viabilização. A Resolução 21 da Adasa (ADASA, 2016) em seu artigo 44 afirma que os resíduos sólidos deverão ser destinados para tratamento sempre que houver viabilidade técnica e econômico-financeira, conforme suas características, visando, entre outros processos, à triagem, à compostagem ou à biodigestão, para as seguintes unidades:

- I. unidade de triagem;
- II. unidade de compostagem ou de biodigestão;
- III. unidade de tratamento mecânico-biológico; ou
- IV. outra unidade de processamento previsto nas normas legais.

Os serviços de manejo de resíduos sólidos domiciliares prestados pelo SLU são remunerados a pela Taxa de Limpeza Pública (TLP) paga anualmente pelos contribuintes.

A Lei nº6.945, de 14 de setembro de 1981 (BRASIL, 1981), que institui a TLP no Distrito Federal, define como fato gerador da TLP a utilização, efetiva ou potencial, dos serviços de limpeza pública, prestados aos contribuintes ou postos à sua disposição. Trata-se de uma taxa integrada ao Sistema Tributário do DF.

São considerados para efeito de cobrança da TLP, nos termos da Lei Federal nº 6.945/1981, as seguintes atividades realizadas pelo órgão competente do Governo do Distrito Federal, no âmbito do seu respectivo território:

- a) a retirada periódica de lixo nos prazos e nas formas estabelecidas pelo órgão de limpeza pública, de imóveis de qualquer natureza ou destinação;
- b) a destinação sanitária dada ao lixo coletado, na forma das alíneas anteriores.

Observa-se que apesar do nome da taxa se referir à limpeza pública, ela se destina, conforme mandamento constitucional e entendimentos do Supremo Tribunal Federal já citados no item 3.7, ao custeio das atividades que integram o manejo dos resíduos sólidos urbanos.

O contribuinte da taxa é o proprietário, o titular do domínio útil ou o possuidor, a qualquer título, do imóvel situado em logradouro ou via em que os serviços sejam prestados ou colocados à sua disposição. A taxa é paga anualmente, junto com o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU).

Conforme já explicitado no item 6.1, as escolas públicas são grandes geradores, apesar disso, o SLU realiza o gerenciamento de seus resíduos sólidos e com a aprovação do PL 799/2019 essa situação se concretizará como definitiva. O único valor repassado para a execução dos serviços é a TLP.

Em 2018 foram arrecadados com a TLP R\$ 183.816.866,26. Entretanto, essa quantia não conseguiu suprir as despesas com a prestação desses serviços, que foi de R\$ 208.690.142,83 (ADASA, 2019). Ou seja, em 2018, 88,08% da despesa total com manejo de RSU foi custeada com a TLP. O valor faltante foi suplementado com outras fontes, provenientes do orçamento geral do governo e pela cobrança de preços públicos pelo SLU.

6.5.2. Levantamento preliminar dos custos

De acordo com dados do relatório de atividade do SLU (SLU, 2018) no Distrito Federal são coletados em média por mês pela coleta convencional cerca de 66.931 toneladas de resíduos (SLU, 2018a). Somente na Região Administrativa de Taguatinga a quantidade de resíduos sólidos domiciliares ou equiparados coletados por meio dessa coleta corresponde a 6.468 toneladas, ou seja, 9,66% do total mensal coletado (SLU, 2018b).

O Contrato nº19/2019, celebrado entre a empresa Sustentare Saneamento SA e o SLU, que trata da coleta dos resíduos sólidos domiciliares em Taguatinga estabelece que o preço pago para a empresa contratada por realizar o serviço é de R\$ 87,36 (oitenta e sete reais e trinta e seis centavos) para cada tonelada de resíduos coletada pela coleta convencional.

Os resíduos coletados são transportados até a Usina de Tratamento Mecânico Biológico do P Sul - UTMB P Sul, localizada na Ceilândia. Após adentrarem a unidade, os RSU são separados em três frações: recicláveis secos, orgânicos e rejeitos.

Atualmente, a empresa responsável pela UTMB P Sul é a Valor Ambiental. De acordo com o Contrato 09/2016 celebrado entre esta e o SLU, para cada tonelada que chega nessa unidade de tratamento e submetida ao processo de triagem é cobrado um valor de R\$ 69,43 (sessenta e nove reais e quarenta e três centavos).

A fração reciclável seca é retirada na operação de triagem feita por cooperativas ou associações de catadores que trabalham na instalação. A parte orgânica é encaminhada para as leiras de compostagem, e o que resta dessas separações é considerado rejeito, que é destinado ao Aterro Sanitário de Brasília (ASB).

Ressalta-se que além do valor pago pela triagem do material, há um ônus para o SLU de R\$42,03 (quarenta e dois reais e três centavos) por tonelada de material orgânico destinado a leiras de compostagem.

Os rejeitos resultantes das triagens realizadas na unidade são enviados então para o ASB. O transporte é pago de acordo com a tonelada e a quilometragem percorrida, com um valor unitário de R\$ 1,08 (um real e oito centavos) (CONTRATO, 2019). A distância entre a UTMB P Sul e o ASB é de aproximadamente 10,5 km. O serviço de disposição final no ASB, de acordo com o Contrato 15/2014 entre a empresa GAE Construção e Comércio LTDA e o SLU, custa R\$ 26,49 (vinte e seis reais e quarenta e nove centavos) por tonelada aterrada.

De acordo com o relatório de atividades do SLU (SLU, 2018), o composto produzido é doado para pequenos agricultores, até 90 toneladas por ano, acima dessa quantidade, o agricultor pode comprar o material compostado.

A Figura 6.4 traz o fluxograma que representa a rota tecnológica descrita anteriormente com seus respectivos custos (em vermelho) e receitas (verde). Todos os valores representam o custo para uma tonelada.



Figura 6.4 Fluxograma da rota dos resíduos de Taguatinga e seus respectivos valores

O valor dos resíduos recicláveis não foi incluso como receita, no caso da venda do material para empresas, e nem como custo, considerando que o SLU possui contrato com as cooperativas de catadores para que façam a segregação dos RSU que chegam na UTMB e que o foco são os custos relacionados ao manuseio contendo a parcela orgânica. Nesses contratos, o valor obtido com a comercialização dos recicláveis secos constitui receita das cooperativas.

O valor de R\$ 11,34 (onze reais e trinta e quatro centavos) é referente ao transbordo da UTMB P Sul para o ASB de uma tonelada de rejeito, considerando o custo unitário do transbordo e a distância de 10,5 km, que é a distância aproximado entre as unidades.

A equação 6.1, representa o cálculo do custo de uma tonelada de resíduos coletada em Taguatinga, com foco nos RSO, conforme o representado pela Figura 6.4.

$$C_{atual} = C_{coleta} + C_{Triagem} + a. C_{compostagem} + b. C_{transbordo - ASB} + b. C_{aterramento - ASB} \quad \text{Equação 6.1}$$

Em que:

C_{atual} : custo atual dos serviços de manejo em Taguatinga (R\$/t)

C_{coleta} : custo da coleta (R\$/t)

$C_{Triagem}$: custo para triagem na UTMB (R\$/t)

$C_{transbordo - ASB}$: custo do transbordo da UTMB P Sul ao ASB (R\$/t.km)

$C_{compostagem}$: custo do processo de compostagem (R\$/t)

$C_{aterramento - ASB}$: custo do aterramento (R\$/t)

a : fração dos resíduos que são enviados para a compostagem (0,817)

b : fração dos resíduos que não são enviados para a compostagem (0,9163)

O valor total representa a soma de cada uma das etapas considerando uma tonelada coletada. Assim, a coleta+transporte e a entrada na UTMB representa o valor total. Já o valor contabilizado da compostagem é apenas uma fração (8,17%), visto que, não é a totalidade da tonelada que entra na usina que é encaminhada para a compostagem. No caso do rejeito que é transbordado e o aterramento no ASB é contabilizada a fração que complementa a totalidade da tonelada que inicialmente foi coletada (91,83%)

Assim, considerando 1 tonelada de resíduo sólido disponibilizado para a coleta em Taguatinga, o SLU arca com R\$ 194,96 (cento e noventa e quatro reais e noventa e seis reais) pelo seu gerenciamento.

Vale salientar que os custos aqui contabilizados são referentes ao pagamento pelo SLU a empresas terceirizadas responsáveis pela execução dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Não foi levado em consideração os custos com os servidores do SLU e os pagamentos de conta dos serviços relacionados à energia elétrica e abastecimento de água, por exemplo.

Além dos gastos referentes a todo o gerenciamento dos resíduos sólidos (da coleta ao aterramento), o SLU tem uma receita do composto vendido, mesmo o valor sendo irrisório em razão da pequena quantidade comercializada. De acordo com o relatório de atividades do SLU (SLU, 2018), em 2018, das 65.395 toneladas de composto produzido, 13.916,06 toneladas foram doadas e apenas 5,06 foram vendidas, arrecadando um valor de R\$ 377,22 (trezentos e setenta e sete reais e vinte e dois centavos). O composto que não é doado e nem vendido fica estocado por um tempo e se não houver saída, é enviado ao ASB.

Logo, qualquer método de tratamento que resulte em custo inferior ao que é pago atualmente pelo SLU, mostra-se uma alternativa mais viável economicamente a autarquia.

Desta forma, para verificar os recursos necessários para implantação de pátios de compostagem descentralizada para os RSO de escolas públicas, e conferir que é uma medida mais econômica do que o sistema atual, foi proposto a estrutura mínima de equipamentos e seus respectivos custos, a partir de pesquisas em edital para pátios de compostagem.

Deve-se também considerar os custos com a operação dos pátios, para isso, foi feito o levantamento dos requisitos mínimos. E em seguida, deve ser calculado o valor total gasto com cada tonelada de RSO, conforme Equação 6.2.

$$C_{pátio} = \frac{C_{funcionários} + C_{manutenção} + d \cdot RSO \cdot C_{coleta}}{d \cdot RSO \cdot C_{coleta}}$$

Equação 6.2

Em que:

$C_{pátio}$: custo de operação de um pátio de compostagem (R\$/t)

$C_{funcionários}$: custo total com funcionários por mês (R\$)

$C_{manutenção}$: custo total de manutenção por mês (R\$)

d : total de dias que o pátio recebe resíduos (dia)

RSO : quantidade de resíduos sólidos orgânicos recebido por dia de operação (t)

C_{coleta} : custo da coleta (R\$/t)

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta para as escolas públicas de Taguatinga, Distrito Federal.

7.1. ESTIMATIVA DOS RSO GERADOS

A coleta de dados que serviu de insumo para estimar a geração de RSO nas escolas públicas de Taguatinga, ocorreu nos meses de setembro e outubro de 2019, totalizando 20 dias, 5 dias em cada instituição selecionada. Os resultados das pesagens estão dispostos nas Tabelas 7.1 a 7.4.

Tabela 7.1 - Quantitativo dos resíduos orgânicos do CEF 19

Local	Centro de Ensino Fundamental 19				
Data	16 a 20 de setembro				
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Total (kg)	31,30	23,75	31,25	23,75	34,95
Média (kg/dia)	29,00				

Tabela 7.2 - Quantitativo dos resíduos orgânicos da EC 27

Local	Escola Classe 27				
Data	30 setembro a 04 de outubro				
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Total (kg)	0,00	14,00	13,80	18,60	13,70
Média (kg/dia)	12,02				
Total (m ³)	0,00	0,03	0,05	0,04	0,03
Média (m ³ /dia)	0,03				
Densidade (kg/m ³)	430,82				

Tabela 7.3 - Quantitativo dos resíduos orgânicos do CEMTN

Local	Centro de Ensino Médio Taguatinga Norte				
Data	07 a 11 de outubro				
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Total (kg)	36,70	22,70	108,35	56,45	96,00
Média (kg/dia)	64,04				
Total (m ³)	0,13	0,07	0,26	0,14	0,19
Média (m ³ /dia)	0,16				
Densidade (kg/m ³)	407,77				

Tabela 7.4 - Quantitativo dos resíduos orgânicos do CEI 08

	Centro de Ensino Infantil 08				
	Local				
	Data	21 a 23 de outubro e 29 e 30 de outubro			
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Total (kg)	13,65	21,95	14,85	15,30	6,20
Média (kg/dia)	14,39				
Total (m ³)	0,03	0,05	0,05	0,05	0,02
Média (m ³ /dia)	0,04				
Densidade (kg/m ³)	347,33				

Na Tabela 7.2 não consta dados referentes ao dia 1, pois de acordo com os funcionários da escola, não houve geração de resíduos orgânicos, porque no referido dia não houve desperdício de alimentos em função do tipo de lanche servido. Além disso, necessita-se de um período mais longo de acompanhamento para realmente afirmar que a geração é inferior as outras escolas da região.

Apesar de preferencialmente a coleta de dados ser feita de segunda a sexta-feira (dia 1 a 5) de maneira consecutiva, no CEI 08 não foi possível, devido a imprevistos da autora e mudança no cronograma da escola. Foram feitas 3 leituras em dias consecutivos (segunda a quarta-feira, dias 1 a 3) e as outras duas (dias 4 e 5), na terça e quarta-feira da semana seguinte, conforme disposto na Tabela 7.4 no campo referente a data. Os dias da semana seguinte foram escolhidos a fim de seguir o padrão do cardápio da semana anterior de análise, para que a média semanal de geração de resíduos fosse mantida.

O resultado da geração per capita para cada escola e que será extrapolado para o restante da RA está disposto na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 Geração *per capita* de resíduos orgânicos

Escola	Geração per capita (kg/dia)
CEF 19	0,0443
EC 27	0,0204
CEMTN	0,0378
CEI 08	0,0421

É observado pela Tabela 7.5, que a geração da EC 27 ficou menor que a metade da média das outras escolas. Uma possível explicação para a geração inferior, seria a preparação de alimentos

de forma mais proporcional a quantidade efetivamente consumida pelos alunos, devido a maior conhecimento dos funcionários e alunos da escola em consequência de projetos ambientais desenvolvidos na escola.

A geração per capita (Tabela 7.5) foi extrapolado para as outras escolas. Para o total de RSO, é multiplicado o per capita pelo número de alunos existentes por tipo de escola. As escolas que não possuíam dados, foi utilizada o valor obtido com a média de escolas que possuem dados. A média de alunos por tipo de escola estão dispostos na Tabela 7.6.

Tabela 7.6 Média de alunos por tipo de escola

Tipo de escola	Média de alunos
EC	478
CED	1247
CEI	330
CEF	724
CEM	1750

Após a atribuição de geração de RSO para todas as escolas localizadas na RA de Taguatinga, contabilizou-se uma geração total de RSO em 1.318 kg por dia. O APÊNDICE A2 mostra o número de alunos e a geração total por escolas.

Entretanto, ressalta-se, que o ideal é que o levantamento do quantitativo deve ser feito individualmente em cada escola, para se obter o valor real de geração. Pela restrição de tempo, neste trabalho, optou-se por essa extrapolação.

7.2. DIMENSIONAMENTO DA ÁREA MÍNIMA

Conforme a metodologia demonstrada no item 5.3 a área mínima de processamento, ou seja, aquela necessária para as leiras e suas dimensões estão dispostas na Tabela 7.7.

Tabela 7.7 Características das leiras

Altura (m)	1,2
Largura (m)	1,2
Densidade (m ³ /kg)	395,3
Comprimento (m)	23,15
Volume (m ³)	16,67
Base (m ²)	27,78

Assim, para uma leira, é necessária uma área de 58,35 m². O pátio é dimensionado para 17 leiras, assim, uma área de 992 m² para a área de processamento. Para a estocagem, é necessária uma área de 122,25 m².

A área administrativa (Edificação de apoio, banheiros, escritório e sala para coletores) conforme o APÊNDICE 3A, é de 35m². Assim, a área mínima do pátio de compostagem, considerando que este tratará de todos os resíduos é de 1.149,5 m², deve ser adicionado mais 50 m² para a circulação dentro do pátio, totalizando 1.199,5 m².

O dimensionamento foi feito considerando o tipo de tratamento de leiras revolvidas, mas poderia ser feito considerando o tipo de tratamento de compostagem do método UFSC, conforme utilizado em outras experiências descentralizadas (Tabela 4.3), sem prejuízo em relação ao quesito de simplicidade e baixo custo estabelecido como prioridade neste trabalho.

7.3. ÁREAS DISPONÍVEIS PARA A INSTALAÇÃO DE PÁTIOS DE COMPOSTAGEM

Foram identificadas 10 locais para a implantação dos pátios de compostagem baseado nos critérios dispostos no item 5.1 do presente trabalho (Figura 7.1). A Tabela 7.8 traz a dimensão da área disponível, assim como a quadra de Taguatinga que ela se encontra. O único local que não possui a área mínima é o 2, logo, caso seja selecionado, deve-se obrigatoriamente a escolha de um segundo pátio.

Tabela 7.8 Quadras e áreas dos locais disponíveis

Locais disponíveis	Endereço	Área (m²)
1	QNM 34	1208
2	QNM 42	1003
3	QNM 40	6745
4	QNM 38	5295
5	QNM 36	2875
6	QNG 39	1340
7	QNC AE 2	4995
8	EQNL 2/4	2265
9	EQNL 2/4	2995
10 (NUTAG)	QNG 47	1534

De acordo com o disposto no item 6, o local do pátio de compostagem não deve ter distância superior a 8 km da escola que será feita a coleta dos RSO.

O presente trabalho propôs que os pátios se localizem nas mesmas RA que as escolas, mas seguindo a recomendação de percorrer a distância máxima pré-determinada, há possibilidade de parcerias entre as RA, ou seja, escolas localizadas em uma RA podem levar seus RSO para pátios de compostagem instalados em RA vizinhas, desde que otimize o gerenciamento.

Os locais disponíveis foram encontrados pela utilização da ferramenta Raster Calculator e posterior análise visual no *Google Earth*. Na utilização da ferramenta, optou-se pela transformação de dados vetoriais em matriciais, para fazer a análise espacial. O ideal era utilizar imagens de satélite para se obter um resultado mais próximo do real, evitando possíveis erros.

Diante das possíveis áreas para a construção dos pátios de compostagem foi rodada a extensão *Network Analyst*, de locação alocação, buscando maximizar o atendimento das escolas com os locais selecionados. Para aplicar essa solução é necessário dispor de uma rede viária, informar os pontos de demanda (escolas públicas), as facilidades (possíveis áreas) e determinar a impedância (máximo que o caminhão percorrerá da escola até o pátio de compostagem).

7.4.ÁREAS SELECIONADAS

Neste tópico é apresentado três diferentes cenários para escolha dos locais para a instalação de pátios de compostagem, considerando os 10 locais indicados e os pontos de demanda (escolas), rodando a ferramenta de *Location – allocation* da extensão *Network Analyst*.

Foi realizado a descrição de três cenários distintos para demonstrar as possibilidades perante a tomada de decisão acerca da implantação de uma unidade de tratamento de RSO.

Cenário 1 – Instalação de 1 pátio de compostagem

No caso da escolha de um único pátio de compostagem, o *Network Analyst*, mostrou como melhor área a número 7 (Tabela 7.8). A Figura 7.2 mostra o mapa resultado da análise. Apesar de ser um único pátio para toda a RA, o requisito de percorrer no máximo 8 km do local gerador ao local de tratamento é cumprido para todos os locais disponíveis, entretanto, possui uma percepção de estar centralizando o tratamento na RA.

Cenário 2 – Instalação de 2 pátios de compostagem

Apesar do cenário 1 cumprir com o requisito de percorrer distância inferior a 8 km, o cenário 2 propõe a instalação de 2 pátios, a fim de reduzir a distância percorrida, a fim de descentralizar ainda mais o tratamento. O resultado aponta como os dois locais mais apropriados como o 6 e 9. A Figura 7.3 traz o resultado da análise feita.

O local 6 atende a 30 escolas e o local 9 atende a 26 escolas. Para o CIL foi atribuída geração zero, por isso, que apesar de 57 escolas públicas, somente foram considerados 56 pontos de demanda.

A instalação de 2 pátios implica na divisão da área total para o processamento de RSO processados em um dia. Apesar da maioria dos locais indicados ter capacidade para receber todos os resíduos, a concessão de uma área pode ser mais viável.

Cenário 3 – Instalação de 2 pátios de compostagem, com um pré-determinado

Neste cenário, um dos pátios foi pré-determinado e o segundo pátio foi indicado pelo processamento no *Network Analyst*. O pátio pré-determinado é localizado no Núcleo de Taguatinga (opção 10), onde também é localizado o Papa Entulho. O benefício de alocar um pátio nessa localização é que a parte administrativa já está construída, além da área já ser pertencente ao SLU, facilitando a implantação da atividade de compostagem.

Após o processamento da ferramenta, o local para alocar o segundo pátio de compostagem é o 9 (Figura 7.4).

Para essa conformação, o local 10 atende a 24 escolas e o local 09 atende as outras 32 escolas.

Embora as linhas dispostas nas Figuras 7.2, 7.3 e 7.4 estejam retas, a ferramenta considera o deslocamento ao longo da rede viária.

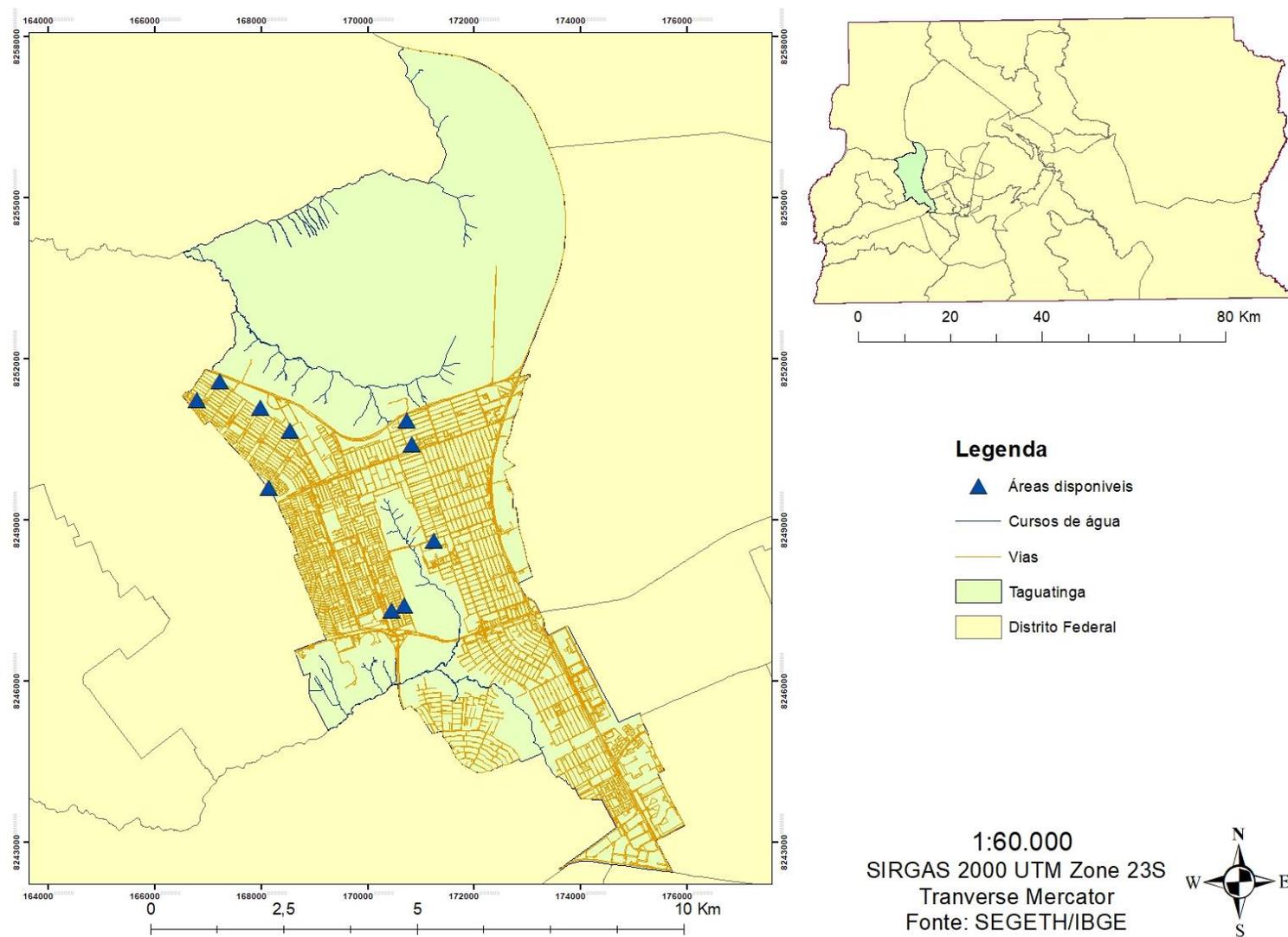


Figura 7.1 Localização das áreas disponíveis para instalação de pátio de compostagem

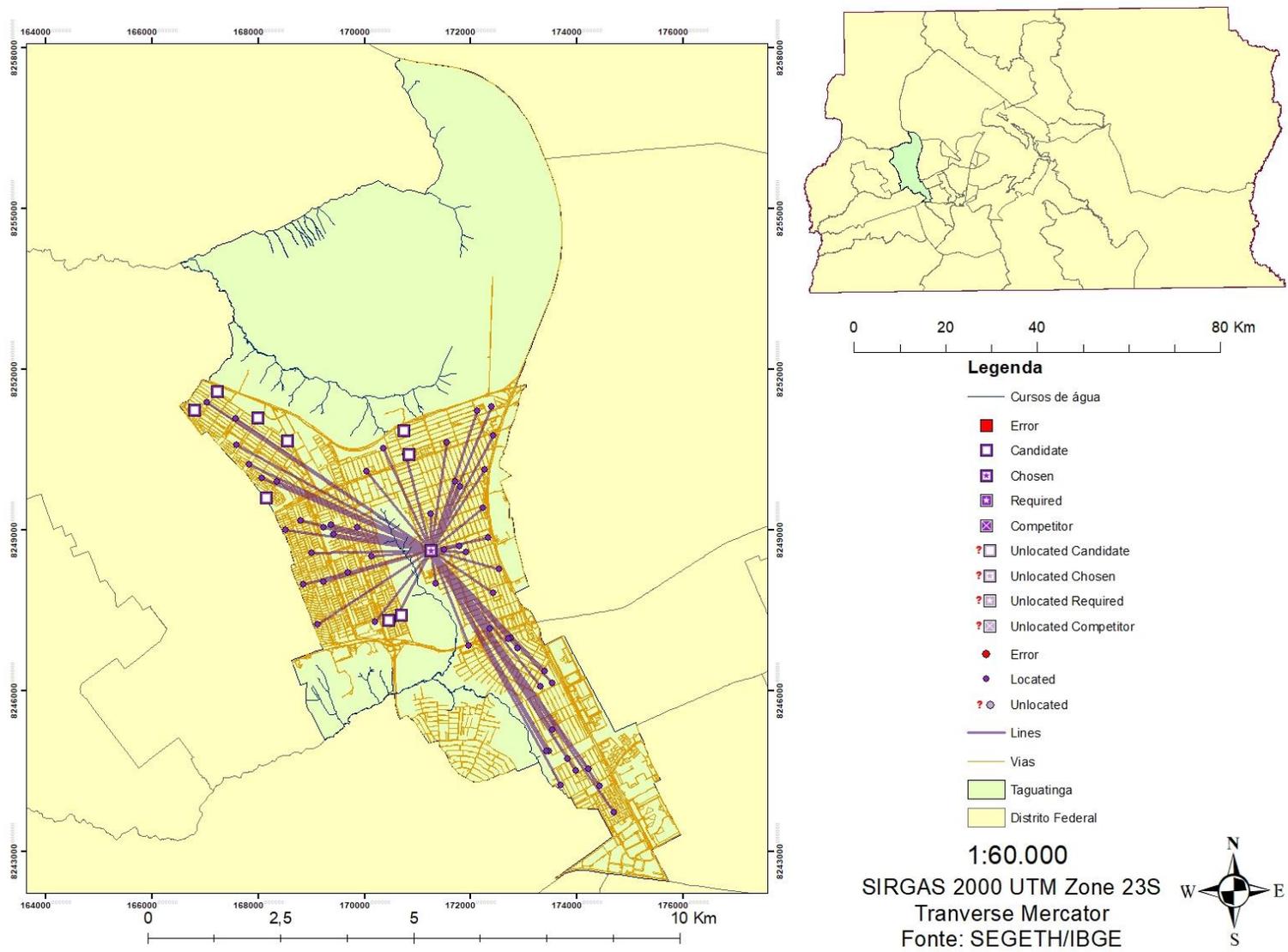


Figura 7.2 Mapa da representação do cenário 1

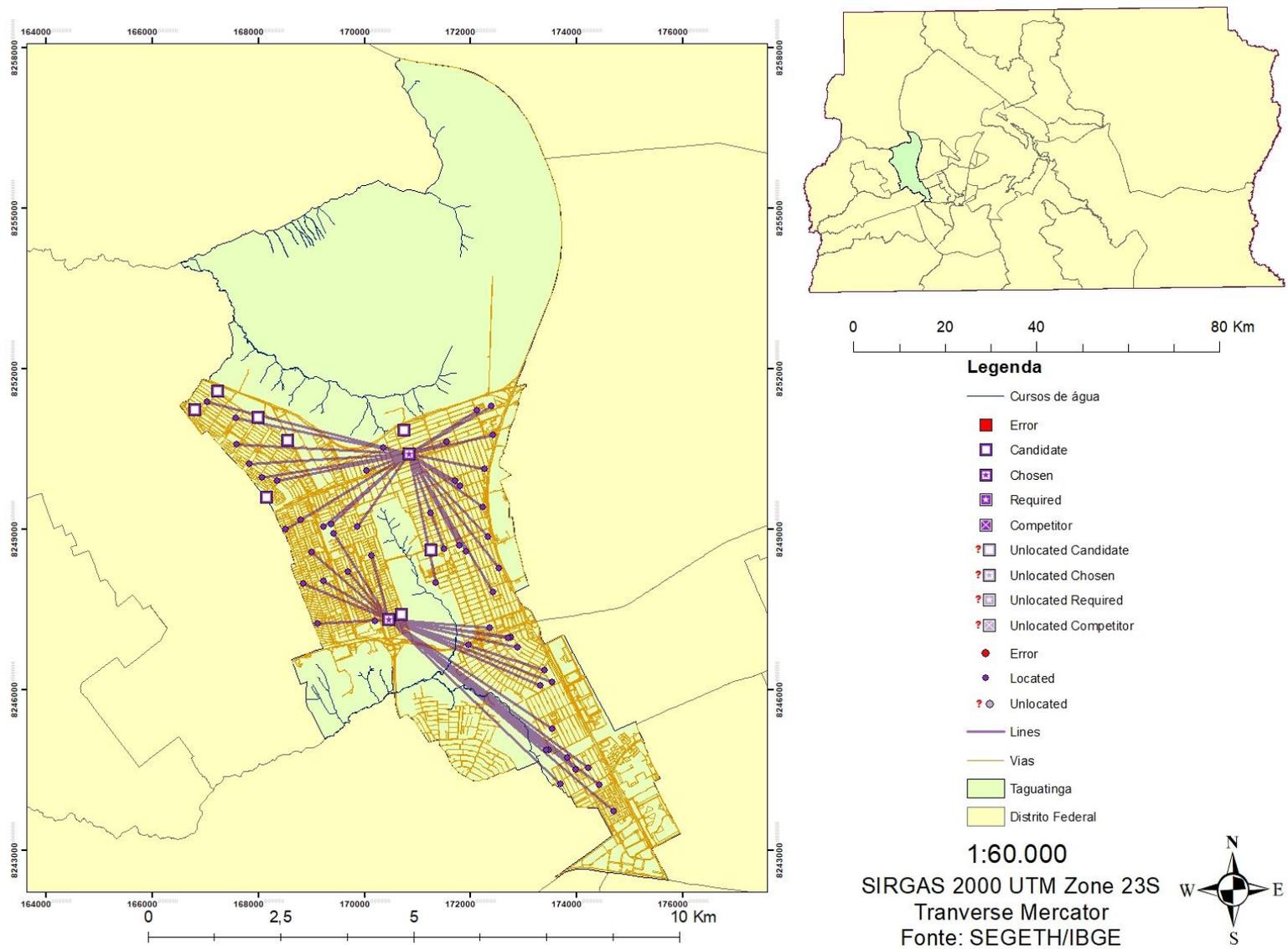


Figura 7.3 Mapa da representação do cenário 2

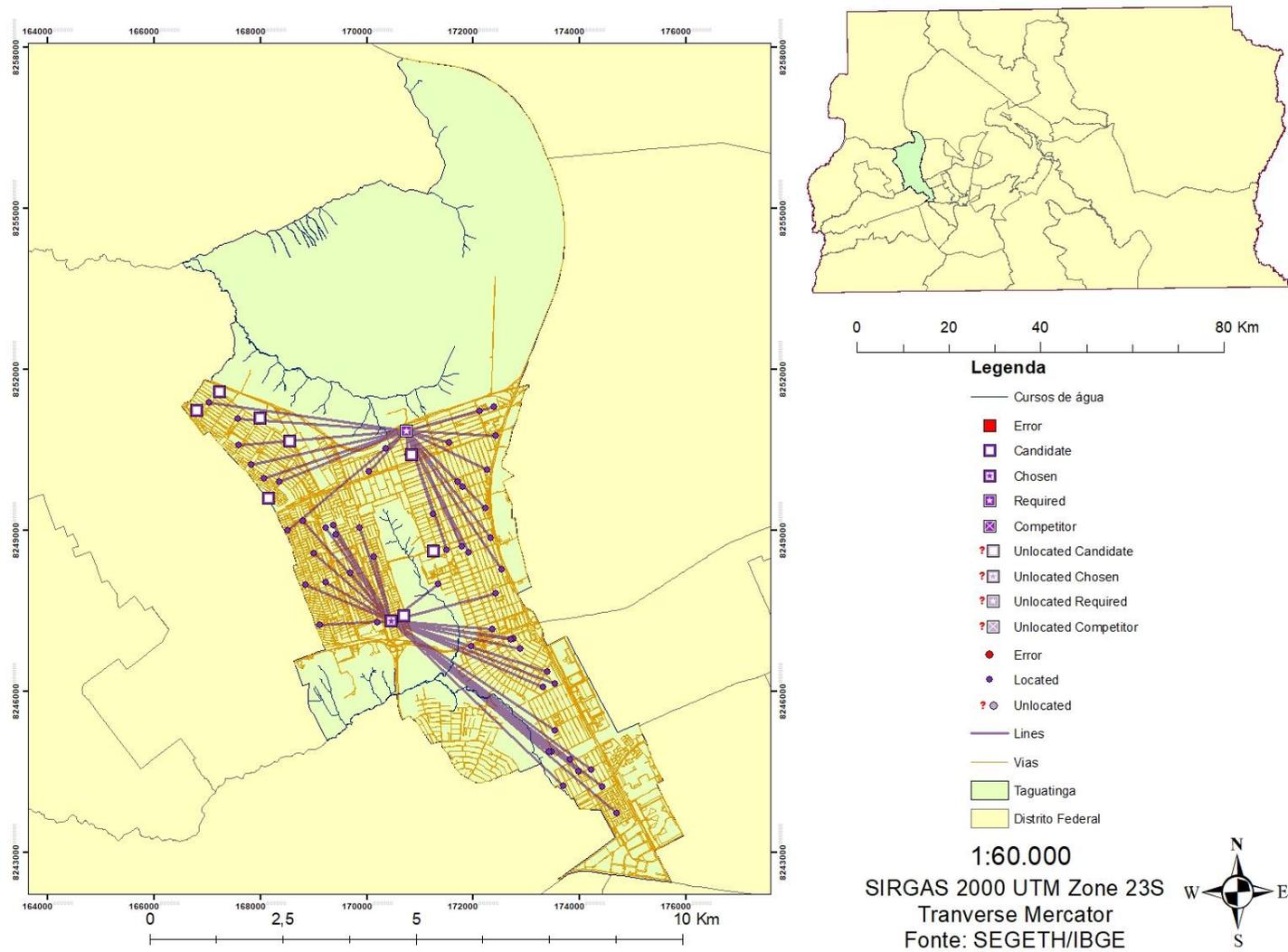


Figura 7.4 Mapa da representação do cenário 3

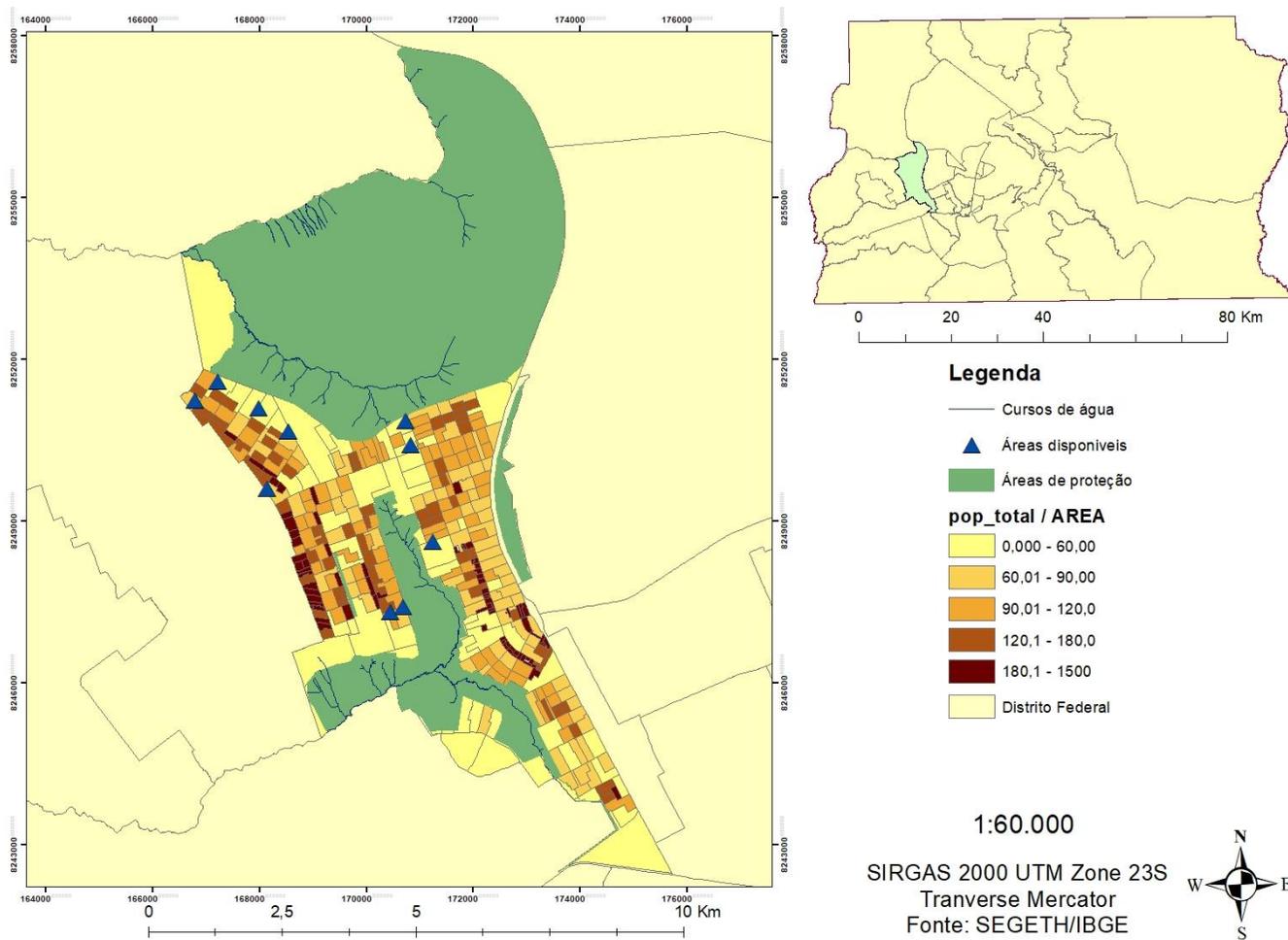


Figura 7.5 Mapa da densidade urbana de Taguatinga e a localização de áreas disponíveis

A escolha do cenário afeta a avaliação preliminar de custos, visto que, o número de funcionários será alterado, além dos custos relacionados ao uso da energia elétrica devido a utilização de bombas e peneiras elétricas.

Considerando o critério apresentado no item 5.1 do presente trabalho, deve-se considerar a distância de núcleos populacionais, devido a aceitação pública, além de entrar na análise de ser unidade com grande impacto ambiental pelo órgão ambiental competente, conforme o estabelecido na Resolução Conama nº 481/2017 (BRASIL, 2017).

Para demonstrar a densidade populacional e a localização dos pontos indicados com possibilidade de instalação dos pátios de compostagem foi elaborado um mapa constante na Figura 7.5. Nota-se que apesar de áreas menos ocupadas densamente estarem presentes na imagem, não há possibilidade de instalação de pátios de compostagem, devido à restrição de proximidade a cursos d'água e por constituir unidades de conservação (Floresta Nacional, Parques). Ressalta-se, porém, que mesmo não sendo as áreas com menor densidade populacional, os locais selecionados nos 3 cenários descritos anteriormente não estão localizados nas áreas com as maiores densidades.

Diante do apresentado neste estudo, pode-se observar a importância da adoção de critérios para selecionar as melhores áreas para instalar pátios de compostagem, visto que, é empreendimento de cunho ambiental, que deve ser favorecido, conforme o disposto na PNRS em relação aos aterros sanitários

7.5 AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS CUSTOS DO PÁTIO DE COMPOSTAGEM

A avaliação preliminar dos custos realizou um levantamento inicial dos custos para a implantação e operação de um pátio de compostagem descentralizada.

Em relação a implantação, propõe-se que esses pátios devam possuir a estrutura mínima de equipamentos e seus respectivos custos conforme disposto na Tabela 6.4.

Tabela 7.9 Itens da estrutura mínima de equipamentos para implantação de pátio de compostagem e respectivos custos

Itens	Custo unitário
Peneira elétrica	R\$ 6.700,00
Bomba para recirculação do chorume	R\$ 2.487,00
Balança digital	R\$ 1.436,43
Enxadas	R\$ 33,06
Carrinhos de mão	R\$ 109,63
Rastelos	R\$ 25,33
Placas de Identificação das áreas de trabalho do pátio de compostagem	R\$ 132,50
Termômetro digital com haste prolongadora	R\$ 867,10

Fonte: Bomba Shopping; Proposta Florianópolis ao Edital FNMA/FSA nº01/2017

Com vistas a minimizar os custos de implantação das unidades, propõe-se ainda que área a ser utilizada seja viabilizada pelo titular dos serviços por meio de uma cessão não onerosa de área pública, por se tratar de um equipamento de interesse público, como o que é feito com os Papa Entulho.

De acordo com o Decreto nº 38.953, de 26 de março de 2018, no parágrafo único do Artigo 6º, considera o Papa Entulho como instalação técnica ou infraestrutura, sendo assim possível aplicar a Lei Complementar nº755, de 28 de janeiro de 2008, a qual define critérios para ocupação de área pública no Distrito Federal mediante concessão de uso, para as utilizações que especifica. Assim, as áreas selecionadas para pátios de compostagem, podem ser consideradas, assim como os Papa Entulhos, instalação técnica ou infraestrutura e ser passível de terem áreas cedidas para sua implantação.

Os custos referentes a operação do pátio e que foram de maneira simplificada comparada com o custo atual do gerenciamento dos RSO de Taguatinga, são:

- 3 funcionários (R\$ 4.071,25 por funcionário/mês)
- 1 funcionário para cuidar da parte administrativa (R\$ 4.638,99 por funcionário/mês)
- Custos de coleta e transporte para o pátio de compostagem (R\$ 87,36/t)
- Manutenção da peneira (R\$ 1.500/mês)

Como a energia elétrica não foi contabilizada nos custos de operação do SLU, para a comparação também não será contabilizado a energia elétrica dos pátios de compostagem.

O custo com os funcionários é pago mensalmente. Os valores dispostos anteriormente são oriundos do Anexo A do Pregão Eletrônico nº02/2018 do SLU.

O valor da manutenção da peneira é baseado no Anexo I da Apresentação do Município de Florianópolis ao Edital FNMA/FSA nº01/2017.

Foi considerado para os custos da coleta e transporte o mesmo valor da coleta convencional, feita por empresa contratada, destacada no item 6.5.2.

Considerando 20 dias por mês recebendo 1,318t RSO por dia (segunda a sexta-feira) e a soma dos custos mensais, o valor para a operação, por tonelada, dos pátios de compostagem R\$ 57,04 (cinquenta e sete reais e quatro centavos).

Vale salientar, que diferentemente do que é feito atualmente na UTMB, os RSO já viriam segregados para os pátios de compostagem, não havendo a necessidade da triagem e transporte de rejeitos.

No Distrito Federal, de acordo com o explicitado pela Figura 6.4, o custo da triagem é de R\$ 69,43. Em outros estados do país, este valor pode divergir. Goetzinger *et al.* (2017), realizaram um levantamento dos custos com triagem em alguns municípios do estado de Santa Catarina, em que os custos são R\$ 162,51, R\$ 479,72 e R\$ 185,13, referentes aos municípios de Blumenau, Pomerode e Timbó, respectivamente. Expondo a variação dos custos desse serviço no mesmo estado, e a diferença em relação ao DF. Com a realização da compostagem descentralizada, o custo com esse serviço deve ser reduzido, visto que, é pago pela quantidade de toneladas que adentram as unidades de triagem.

8. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Foi desenvolvida a metodologia para a alocação de pátios de compostagem utilizando resíduos de escolas públicas do Distrito Federal.

Para isso, foram adotados critérios para a escolha da área (RA), das escolas em que seriam feitas as coletas de dados e para os locais que poderiam ter pátios de compostagem instalados. A RA escolhida foi Taguatinga, que possui 57 escolas públicas. Dentre essas foram feitas coletas de dados em quatro escolas distintas e foi possível determinar a geração de RSO. O resultado é aproximado ao do trabalho de Santos (2017), com 30g/dia.pessoa.

Nas visitas feitas nas escolas para a quantificação dos RSO foi observada a falta de instrução dos funcionários sobre a separação dos resíduos nas cantinas das escolas, apesar de ser uma obrigação da escola, conforme Lei Distrital 4.756, de 14 de fevereiro de 2012, que dispõe sobre a obrigatoriedade da prática da coleta seletiva de lixo nas unidades da rede pública e privada de ensino do Distrito Federal.

A coleta de dados nas escolas foi importante para conhecer a dinâmica das escolas e observar as carências das instituições a respeito do gerenciamento dos resíduos sólidos.

A ideia de compostagem descentralizada seguida neste trabalho foi a de percorrer menores distâncias da fonte geradora até o local de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos, por isso foi determinado um deslocamento máximo de 8 km das escolas até o pátio de compostagem.

O processo da compostagem, libera gás carbônico, gás componente do efeito estufa, porém de 26 a 38 vezes menos prejudicial que o gás metano, liberado quando os RSO são dispostos de maneira inadequada, como em lixões.

O tipo de compostagem utilizada para o dimensionamento dos pátios de compostagem foi do tipo leiras revolvidas, mesmo utilizado na experiência descentralizada da cidade de Belo Horizonte.

A região central de Taguatinga não possui áreas disponíveis para a instalação de pátios de compostagem, visto que, já é uma área urbana densamente ocupada. Os locais encontrados com disponibilidade de área são mais na parte norte da RA.

Dentre as possíveis áreas de instalação, foram feitos a análise de 3 cenários distintos, instalação de um pátio, instalação de dois pátios e a instalação de dois pátios sendo um dos dois pré-determinado. Dentre o arranjo de opções cabe ao gestor fazer a melhor escolha para dada

circunstância, pensando sempre na viabilidade econômica, a fim de garantir a sustentabilidade econômica estabelecida pela Lei 11.445 (BRASIL, 2007) e em termos de logística. Assim, sugere-se, para estudos futuros, análise sobre a viabilidade econômica, para que se torne um dos critérios de seleção de locais para a instalação de pátios de compostagem.

A avaliação preliminar dos custos visou a priori mostrar como é pago os serviços públicos de manejo de resíduos sólidos, sobretudo a rota tecnológica que envolve o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos. Em um segundo momento foi contabilizado os atuais custos gastos com o gerenciamento de 1 tonelada de resíduo coletado em Taguatinga e, por fim, mostrar os custos referentes a implantação e operação de pátios de compostagem descentralizada.

Conclui-se que um pátio de compostagem, considerando a avaliação preliminar de custos, possui um custo de operação e manutenção inferior ao atual custo de gerenciamento dos RSO coletados em Taguatinga. Diante da possibilidade de instalação de mais de um pátio, cabe uma análise mais aprofundada sobre os aspectos econômicos.

Além disso, o composto produzido nos pátios de compostagem descentralizada, com boa segregação na origem, pode ter qualidade superior ao que vem sendo produzido atualmente pelo SLU, assim, mais facilmente comercializado, gerando receita ao SLU. Corroborando com o conceito de economia circular, ou seja, retornando o resíduo para a cadeia produtiva, deixando de enviar para a disposição final.

Com este trabalho, entende-se que o responsável pelo gerenciamento dos pátios de compostagem é o SLU, ou seja, a iniciativa pública, similar ao que ocorre nas experiências de compostagem descentralizada de sucesso do Brasil, localizadas em São Paulo e em Belo Horizonte.

Diante de todas as conclusões expostas anteriormente, recomenda-se:

- A elaboração de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) das escolas públicas do Distrito Federal, assim como, a capacitação dos funcionários responsáveis pela preparação das refeições sobre a separação correta dos resíduos sólidos gerados na cantina, a fim de enviá-los para a compostagem.
- Implantar a coleta diferenciada de resíduos sólidos orgânicos em escolas públicas do Distrito Federa.
- Utilizar os resíduos sólidos orgânicos provenientes da poda dos jardins das escolas no processo de compostagem.

- Um estudo mais profundo sobre a viabilidade econômica da implantação dos pátios de compostagem.
- O prestador de serviço público ofertar o tratamento de RSO a partir do pagamento de preço público estabelecido por Resolução da Agência Reguladora para escolas particulares, o que pode contribuir ainda mais com a viabilização econômica da implantação dos pátios de compostagem descentralizada devido ao ganho de escala.
- Realização da quantificação do RSO gerados em cada escola, a fim de absorver as características individuais.
- Utilização de imagens de satélite para realização do processamento dos dados geográficos.
- Desenvolver uma análise holística que integre indicadores de pátios de compostagem com a metodologia apresentada no presente trabalho, assim, deve ser feito um estudo mais aprofundando, unindo ambos os assuntos, conforme levantado no trabalho de Solino (2018), possibilitando a incorporação de novos critérios para alocação de pátios de compostagem.

Neste trabalho não foram consideradas as creches, chamadas de Centro de Educação da Primeira Infância. Estas instituições podem também enviar seus RSO para os pátios de compostagem, visto que, são servidas refeições diárias disponibilizadas pela SEEDF assim como para as escolas públicas.

Além dessas instituições, o serviço de tratamento de RSO pode ser estendido para atendimento de outras unidades onde o gerenciamento é de responsabilidade do prestador de serviços públicos, como as feiras livres e condomínios.

Após a instalação dos pátios de compostagem descentralizada para os resíduos sólidos orgânicos das escolas públicas, sugere-se estudos futuros que demonstrem os benefícios ao gerenciamento dos RSO e dos ganhos ambientais, como o aumento da vida útil do aterro sanitário e redução do uso de fertilizantes químicos no solo, devido ao aumento do uso de compostos orgânicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, M. J. (2013) *Gestão comunitária de resíduos orgânicos: o caso do Projeto Revolução dos Baldinhos (PRB), Capital Social e Agricultura Urbana*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- Abrelpe - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2018). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017*. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/>>. Acesso em: 07 mai. 2019.
- Adasa - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. (2016) Resolução nº 21, de 25 de novembro de 2016. Estabelece as condições gerais da prestação e utilização dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos no Distrito Federal. *Diário Oficial do Distrito Federal*, Brasília, 28 nov. 2016. Seção 1, p. 87.
- Adasa - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. (2019). Avaliação das metas e indicadores do Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.
- Andersen, J. K. *et al* (2012). Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: An environmental assessment using life cycle assessment-modelling. *Waste Management*, 32, 31-40.
- Andreoli, C. V. (2001). *Resíduos Sólidos do Saneamento Processamento, Reciclagem e Disposição Final*. PROSAB, Curitiba.
- Arakaki, R. G. I.; Lorena, L. A. N. (2006). *Uma heurística de localização-alocação (HLA) para problemas de localização de facilidades*. *Produção*, v. 16, n.2, p. 319-328.
- Araújo, R. F. (2012). *análise de rotas para a coleta de resíduos sólidos recicláveis nas escolas públicas do Plano Piloto de Brasília/DF*. Curso de Especialização em Geoprocessamento, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.
- Arrigoni, J. P. *et al* (2018). Inside the small-scale composting of kitchen and garden wastes: Thermal performance and stratification effect in vertical compost bins. *Waste Management* 76, 284-293 p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1996). *NBR 13591: Compostagem*. Rio de Janeiro.

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). *NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro.
- Barreira, L. P. (2005). *Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção*. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Born, V. (2013). *Avaliação da aptidão de áreas para a instalação de aterro sanitário com o uso de ferramentas de apoio à decisão por múltiplos critérios*. Monografia de Conclusão de curso em Engenharia Ambiental, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado.
- BRASIL. Lei 6.945, de 14 de setembro de 1981. Institui a Taxa de Limpeza Pública no Distrito Federal e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasil, 16 set. 1981. Seção 1, p. 4.
- BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis n 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei n 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasil, 08 jan. 2007. Seção 1, p. 3.
- BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasil, 29 dez. 2009. Seção 1, p. 109.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Instrução Normativa nº25*, de 23 de julho de 2009. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186>>. Acesso em 14 maio 2019.
- BRASIL. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasil, 22 jun. 2010. Seção extra, p. 1.
- BRASIL. Lei nº 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. *Diário Oficial da União*, Brasil, 03 ago. 2010. Seção 1, p. 3.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. *Resolução CONAMA nº 481*, de 03 de outubro de 2017. Disponível em:<

- <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=728>>. Acesso em: 13 jun. 2019.
- Bruno, F. M. R.; Frozza, M. S.; Fraga, J. M. L. (2017). *O acordo de Paris sobre o combate ao aquecimento global após a ordem executiva de independência energética de Washington*. 4º Congresso Internacional de Direito e Contemporaneidade. Santa Maria, Rio Grande do Sul.
- CEF 19 – Centro de Ensino Fundamental 19 de Taguatinga (2018). *Projeto Pedagógico CEF 19 de Taguatinga 2019*. Disponível em: < http://www.se.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/07/pp_cef_19_taguatinga-1.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2019.
- CEMPRE (2018). *Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado*. 4 ed. p. 316. São Paulo. Disponível em: <http://cempre.org.br/upload/Lixo_Municipal_2018.pdf>. Acesso em: 28 maio 2019.
- CEMTN – Centro de Ensino Médio de Taguatinga Norte (2019). Projeto Político-Pedagógico. Saber como bem comum. Disponível em: < http://www.se.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/07/pp_cem_cemtn_taguatinga.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2019.
- Christofolletti, A. (1999). Modelagem de sistemas ambientais. Editora Edgard Blücher.
- Colón, J. *et al* (2010). Environmental assessment of home composting. *Resources, Conservation and Recycling* 54, 893-904p.
- CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal (2017). Densidades urbanas nas regiões administrativas do Distrito Federal, Brasília.
- Copetti, G. (2012). *Projeto de pátio de compostagem com vista á valorização de resíduos sólidos orgânicos*. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Costa, S. S. DA; Ribeiro, W. A (2012). *Dos porões à luz do dia: Um itinerário dos aspectos jurídico-institucionais do saneamento básico no Brasil*. Política Pública e Gestão de Serviços de Saneamento. UFMG, p. 467–482.
- Cronemberger, F. M. (2009). Curso de Análises Espaciais Avançadas em plataforma ArcGIS 9x. Instituto Estadual do Ambiente (Inea), Rio de Janeiro.

Dias, S. G. (2012) *O desafio da gestão de resíduos sólidos urbanos*. GV Executivo, v.11, n.1. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/gvexecutivo/article/download/22776/21542>>. Acesso em: 20 maio 2019.

DISTRITO FEDERAL. Lei Complementar 755, de 28 de janeiro de 2008. Define critérios para ocupação de área pública no Distrito Federal mediante concessão de direito real de uso e concessão de uso, para as utilizações específicas. *Diário Oficial do Distrito Federal*, Brasília, 29 jan. 2008. Seção 1, p. 2.

DISTRITO FEDERAL. Lei 5.610, de 16 de fevereiro de 2016. Dispõe sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos e dá outras providências. *Diário Oficial do Distrito Federal*, Brasília, 22 fev. 2016. Seção 1, p. 1.

DISTRITO FEDERAL. Decreto nº 37.568, de 24 de agosto de 2016. Regulamenta a Lei nº 5.610, de 16 de fevereiro de 2016, que dispõe sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos, altera o Decreto nº 35.816, de 16 de setembro de 2014, e dá outras providências. *Diário Oficial do Distrito Federal*, Brasília, 25 ago. 2016. Seção 1, p. 3.

DISTRITO FEDERAL. Decreto nº 38.458, de 30 de agosto de 2017. Institui o Conselho de Saneamento Básico do Distrito Federal – CONSAB. *Diário Oficial do Distrito Federal*, Brasília, 31 ago. 2017. Suplemento, p. 3.

DISTRITO FEDERAL. Decreto nº 38.953, de 26 de março de 2018. Regulamenta o art. 8º, III, §1º da Lei nº 4.704, de 20 de dezembro de 2011, que dispõe sobre a gestão integrada de resíduos da construção civil e de resíduos volumosos, e dá outras providências. *Diário Oficial do Distrito Federal*, Brasília, 27 mar. 2018. Seção 1, p. 3.

DISTRITO FEDERAL. *Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos*. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.so.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/PDGIRS.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2019.

EC 27 – Escola Classe 27 de Taguatinga (2019). Projeto Pedagógico. Disponível em: <http://www.se.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/07/pp_ec_27_taguatinga.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2019.

EPA - United States Environmental Protection Agency (2017). *Greenhouse Gas Emissions. Understanding Global Warming Potentials*. Disponível em:

- <<https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>>. Acesso em: 28 nov. 2019.
- ESRI (2008). ArcGIS 9.2 Desktop Help. *The Raster Calculator* Disponível em: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=The_Raster_Calculator>. Acesso em: 15 nov. 2019.
- ESRI (2019). ArcMap. Algoritmos usados pela extensão ArcGIS Network Analyst. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/algorithms-used-by-network-analyst.htm#ESRI_SECTION1_6FFC9C48F24746E182082F5DEBDBAA92>. Acesso em: 29 nov. 2019.
- Favariar, J.; Sierra, J. (2014). Home composting of household biodegradable wastes under the tropical conditions of Guadeloupe (French Antilles). *Journal of Cleaner Production* 83, 238-244p.
- FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente – MG (2006). *Orientações Básicas para operação de usina de triagem e compostagem de lixo*. Belo Horizonte.
- Fehr, M. (2009). Measuring the environmental impact of waste flow management in Brazilian apartment buildings. *Environment, Development and Sustainability*, 11, p. 319-328.
- Fernandes, F., Silva, S. M. C. P da. (1999) *Manual Prático para Compostagem de Biossólidos*. 1a Edição. Rio de Janeiro: ABES.
- Ferreira, K. R. (2003). *Interface para operações espaciais em banco de dados geográficos*. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos.
- Freitas Júnior, L. F.; Barros, R. T. V. (2016). A compostagem em Belo Horizonte (Minas Gerais): um contraponto com quatro cidades do mundo. *VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, Campina Grande, Paraíba.
- Galvão, R. G.; Ruiz, M. S.; Costa, E. G. (2019). Qualidade do composto de resíduos orgânicos de feiras livres e poda de árvores da cidade de São Paulo. *Brazilian Journal Development*, v.5, n.1, 585-605., Curitiba.

- GOETZINGER, A. D.; SCHMITT, V. F.; HAFEMANN, A. C.; SOARES, M. (2017). Análise de custos e resultados dos serviços de coleta, transbordo, transporte e destinação final de resíduos sólidos domiciliares e recicláveis. In: X Congresso Brasileiro de Regulação - 4ª Expo/ABAR, 2017, Florianópolis / SC. ANAIS X Congresso Brasileiro de Regulação. Brasília / DF: ABAR, v. 1. p. 1106-1119.
- Guidoni, L. L. C. *et al* (2013). Compostagem domiciliar: implantação e avaliação do processo. *TECNO-LÓGICA*, v. 17, n.1, 44-51, Santa Cruz do Sul.
- Guidoni, L. L. C. *et al* (2018). Home composting using different ratios of bulking agent to food waste. *Journal of Environmental Management*, 207, 141-150.
- Heller, L.; CASTRO, J. E. (2007) Política pública de saneamento: Apontamentos teórico-conceituais. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 12, n. 3, p. 284–295.
- Heller, L.; Bastos, R. K. X.; Heller, P. G. B.; Teixeira, J. C. (2012). *A experiência brasileira na organização dos serviços de saneamento*. Política Pública e Gestão de Serviços de Saneamento. UFMG, 483-501.
- Herbets, R. A.; Coelho, C. R. de A.; Miletti, L. C.; Mendonça, M. M. de. (2005). Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. *Revista Saúde e Ambiente/ Health and Environmental Journal*, v.6, n.1.
- HOUSE OF COMMONS. (2014) *Growing a circular economy: Ending the throwaway society*. HC-214. Londres: House of Commons/ Environmental Audit Committee.
- IBAM (2001). *Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*, Rio de Janeiro.
- INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (2019). *Resumo Técnico: Censo da Educação Básica 2018*. Disponível em: <http://download.inep.gov.br/educacao_basica/censo_escolar/resumos_tecnicos/resumo_tecnico_censo_educacao_basica_2018.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2012). *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos*. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em: 15 maio 2019.

- Karadimas, N. V.; Kolokathi, M.; Defteraiou, G.; Loumos, V. (2007) Municipal waste collection of large items optimized with ArcGIS Network Analyst. *Proceedings 21st European Conference on Modelling and Simulation*.
- Karnchanawong, S.; Suriyanon, N. (2011). Household organic waste composting using bins with different types of passive aeration. *Resources, Conservation and Recycling* 55, 548-553.
- Klippel, A. S. (2015). *Gerenciamento de resíduos sólidos em escolas públicas*. Monografia de especialização, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Diretoria de pesquisa e pós-graduação, Especialização em Gestão Ambiental em Municípios.
- Lim, L. Y. *et al* (2019). Environmental and economic feasibility of an integrated community composting plant and organic farm in Malaysia. *Journal of Environmental Management* 244, 431-439.
- Lima, R. S. (2003). *Bases para uma metodologia de apoio a decisão para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes*. Tese de Doutorado apresentada á Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Lima Junior, R. G. S. *et al* (2017). Avaliação de novas práticas de compostagem em pequena escala com aproveitamento energético. *Eng. Sanit. Ambiental* v.22 n.2, 361-370p.
- Lindemeyer, R. M. (2008). *Análise da viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica*. Trabalho de Conclusão de Estágio (Graduação em Administração), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Maia, S. G.; Molina, A. S. Caracterização dos resíduos sólidos escolares: estudo de caso em uma escola pública estadual, no município de Ponta Porã (MS). 2015. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais Aquidabã*, v.5, n.1. Dez 2013, Jan, fev., Mar Abri, Mai 2014. ISSN 2179-6858.
- Magalhães, T. (2009). *Manejo de resíduos sólidos: sustentabilidade e verdade orçamentária com participação popular*. In: Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e a gestão de serviços públicos. Livro III: Prestação dos serviços públicos de saneamento básico. Brasília, 711p.

- Manu, M. K.; Kumar, R.; Garg, A. (2019). Decentralized composting of household wet biodegradable waste in plastic drums: Effect of waste turning, microbial inoculum and bulking. *Journal of Cleaner Production* 226, 233-241p.
- Mapa, S. M. S.; Lima, R. S. (2012). Uso combinado de sistemas de informações geográficas para transportes e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 119-136.
- Martins, T. I. S.; Rodrigues, S. C. (2012). Análise e mapeamento dos graus de fragilidade ambiental da bacia do médio – baixo curso do rio Araguari, Minas Gerais. *Caderno de Geografia*, v. 22, n.38, 14-34.
- Massukado, L. M. (2008). *Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares*. Tese apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente (2010). *Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos*. Projeto internacional de cooperação técnica para a melhoria da gestão ambiental urbana no Brasil – BRA/OEA/08/001. Brasília.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente (2012). *Estudo sobre o potencial de geração de energia a partir de resíduos de saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2019.
- Melo, S. L.; Zanta, V. M. (2016) *Análise do uso de compostagem doméstica em conjuntos habitacionais de interesse social na cidade de São Domingo – Bahia*. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), p. 169-180. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/viewFile/14395/12941>>. Acesso em: 14 maio 2019.
- Mesquita Júnior, J. M. (2007). Mecanismos do desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos. *Gestão Integrada de Resíduos Sólidos*

- Neugebauer, M.; Solowiej, P. (2017). The use of green waste to overcome the difficulty in small-scale composting of organic household waste. *Journal of Cleaner Production* 156, 865-875.
- Oliveira, I. S.; Ramos, P. A.; Silva, M. M. P. (2005) Caracterização Dos Resíduos Sólidos Produzidos Na Escola Municipal Advogado Otávio Amorim Em Campina Grande/Pb; Uma Contribuição Para Implantação Da Coleta Seletiva No Bairro. 2005. Anais da 57ª *Reunião Anual da SBPC – Fortaleza*.
- Oliveira, L. S. B. L. et al (2017). Environmental analysis of organic waste treatment focusing on composting scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 155, 229-237.
- Ornelas, A. R. (2011). *Aplicação de métodos de análise espacial da gestão dos resíduos sólidos urbanos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Paraná. Ministério Público do Estado do Paraná (2013). *Unidades de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos*. Apostila para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos, 2ª edição, Curitiba.
- Peres, R. (2016). *Algoritmo de Dijkstra*. Revista PROGRAMAR. Disponível em: <<https://www.revista-programar.info/artigos/algoritmo-de-dijkstra/>>. Acesso em 28 jun. 2019.
- Phillippi Jr., A.; Aguiar, A. O.; Castilhos Jr., A. B.; Luzzi, D. A. (2012). Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. In: *Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos*. Editora MONOLE, 229-244.
- Piedade, M.; Aguiar, P. (2010). *Opções de gestão de resíduos urbanos*. Série GUIAS TÉCNICOS, Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Lisboa.
- Prampolim, G.; Macedo, R. S.; Gonzalez, V. L. (2015) *Concepção de um pátio de compostagem na região do Guarapiranga*. Projeto de Formatura da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Reis, M. F. P. (2005). *Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos*. Tese de doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Reis, A. S. (2012). *Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio*. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco.

- Rezende, S.; Heller, L.; Queiroz, A. C. L. (2009). Água, saneamento e saúde no Brasil: interseções e desacordos. *Anuario de Estudios Americanos*, 57-80 p., Espanha.
- Risso, V. (2019). Programa Feiras e Jardins Sustentáveis. Aliança Resíduo Zero Brasil. Disponível em: < <http://residuozero.org.br/boas-praticas/programa-feiras-e-jardins-sustentaveis/>> Acesso em: 28 jun. 2019.
- Sabbag, B. K.; Pereira, H. A.; Fujihara, M. A. (2012). Integração da Política Nacional de Resíduos Sólidos e a Política Nacional de Mudanças Climáticas. In: *Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos*. Editora MONOLE, 573-589.
- Santos, É. D. S. (2013). *Análise da Implantação da Logística Reversa de Embalagens no Brasil*. Dissertação apresentada com vistas à obtenção do título de Mestre Modalidade Profissional em Saúde Pública. Brasília.
- Santos, C. L. (2017). *Análise de Possíveis Locais para Instalações de Contêineres Semienterrados – Estudo de Caso em Áreas Carentes do Distrito Federal*. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Santos, R. C. (2017). *Gestão e Educação ambiental: caracterização dos resíduos sólidos escolares e práticas de educação ambiental em uma escola pública de ensino fundamental de Lorena (SP)*. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo.
- SÃO PAULO (2014). Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da cidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: < <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/servicos/arquivos/PGIRS-2014.pdf> >. Acesso em: 28 jun. 2019.
- SEEDF – Secretaria de Estado de Educação (2019). *Dados da Rede*. Disponível em: < <http://www.se.df.gov.br/dados-da-rede/>>. Acesso em 29 nov. 2019
- Schalch, V.; Massukado, L. M.; Bianco, C. I. (2015) *Compostagem*. In: Recurso Solo. Propriedades e usos. p. 633-656. Editora Cubo. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/291830917_Compostagem>. Acesso em:
- Silva, W. R. (2009). *Estudo cinético do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos vegetais*. Tese de Doutorado do programa de pós-graduação em Química da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa.
- Silva, A.; Haetinger, C. (2016). Gestão de Resíduos Sólidos em feiras livres do município de Santa Maria/RS – Narrativas dos feirantes e impressões in loco. *Revista Educação Ambiental em Ação*, n. 56, ano XV.

- Silva, V. A. O. (2018). *Análise de alternativas para minimização de impactos no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos – estudo de caso no Distrito Federal*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Siqueira, T. M. O. (2014). *Compostagem de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos.
- Siqueira, T. M. O.; Abreu, M. J. (2016). *Fechando o ciclo dos resíduos orgânicos: compostagem inserida na vida urbana*. *Ciência e Cultura*. v.68. n.4. p. 38-43. São Paulo.
- Sisinno, C. L. S.; Moreira, J. C. (1996). Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência ao aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. *Cad. Saúde Pública*, 515-523p., Rio de Janeiro.
- SLU - Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal (2017). *Um ano de operação do Aterro Sanitário e tudo pronto para Fechar o Lixão: Relatório de atividades do SLU - 2017*. Brasília.
- SLU - Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal (2018). *Processo 094.000.905/2016 – Pregão eletrônico nº02/2018 PE/SLU, Anexo A – Planilha de Custos*. Disponível em: <http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/anexo_a_planilha_de_custos.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2019.
- SLU - Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal (2018). *Fechando o ciclo – Relatório de Encerramento da Gestão 2015-2018*. Brasília.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2019). *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2017*. Brasília.
- SOLINO, A.C. (2018). *Análise de modelos e técnicas de compostagem para o gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares orgânicos*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Sousa, G. M. et al. (2017) *O estudo da geração de resíduos sólidos orgânicos: na feira da Prata da cidade de Campina Grande*. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental* (Pombal - PB - Brasil), v.11, n.1, p.162 - 167.
- Souza, R. C. F., et al. (2015) Método para composição de dataset para Network Analyst – Arcmap.
- SPRING (2006). Manuais. Tutorial de Geoprocessamento. Introdução ao Geoprocessamento. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html>. Acesso em: 28 jun. 2019.

- STF – Superior Tribunal Federal (2008). *Súmula Vinculante 19*. Tese definida no RE 576.321 QO-RG, rel. min. Ricardo Lewandowski, P, j. 4-12-2008, DJE 30 de 13-2-2009, Tema 146.
- Teixeira, J. M. (2017). *A especificidade das oficinas transiarte com estudantes surdos da escola bilingue de Taguatinga*. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Educação, Universidade de Brasília, Brasília.
- Vázquez, M. A.; Soto, M. (2017). The efficiency of home composting programmes and compost quality. *Waste Management* (64), 39-50p.
- Vieira, S. J. (1999). *Seleção de áreas para o sistema de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos de Florianópolis/SC*. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Vinhas, L.; Souza, R. C. M. (2005). *Capítulo 13 – Tratamento de dados matriciais na Terralib*. Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- Wagas, M. et al (2018). Optimizing the process of food waste compost and valorizing its applications: A case study of Saudi Arabia. *Journal of Cleaner Production* 176, 426-438p.
- Zanette, P. H. O. (2015). *Compostagem dos resíduos orgânicos do Restaurante Universitário do Campus 2 de São Carlos – Balanço de funcionamento inicial e propostas de melhorias*. Monografia de Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo.

APÊNDICE A1

Brasília, XX de XXXXXX de 2019.

De: Prof. PhD. Francisco Contreras
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília.

Para: Sr. XXXXXXXX
Diretor
XXXXXXXXXXXX

Assunto: Autorização da Coleta de dados da estudante Raquel Martins da Silva
(mat. 14/0160370)

Prezado(a) Senhor(a),

A aluna Raquel Martins da Silva do curso de graduação de Engenharia Ambiental da Universidade de Brasília, matrícula 14/0160370, está realizando a disciplina de Projeto Final em Engenharia Ambiental 2, orientada pelo professor PhD. Francisco Javier Contreras Pineda. A realização de seu trabalho é baseada coleta de dados sobre a quantidade de resíduos sólidos orgânicos em escolas públicas do Distrito Federal a fim de propor metodologia para escolher áreas destinadas a implantação de pátios de compostagem descentralizada. O desenvolvimento do projeto visa reduzir o quantitativo enviado ao Aterro Sanitário de Brasília e avaliar a produção de composto com qualidade para ser utilizado na agricultura e/ou jardins.

A coleta de dados ocorrerá entre os dias XX a XX de outubro de 2019 no (a) XXXXXXXXXXXX, localizada na XXXXXXXXXXXX, após as XX:XX.

Na oportunidade, nos colocamos à disposição para os esclarecimentos que se fizerem necessários.

Atenciosamente,

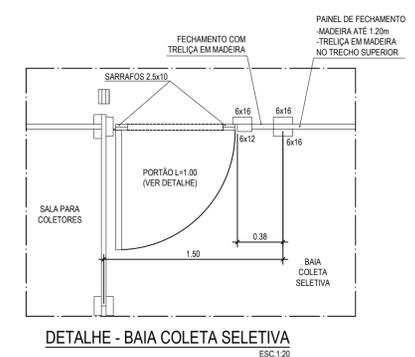
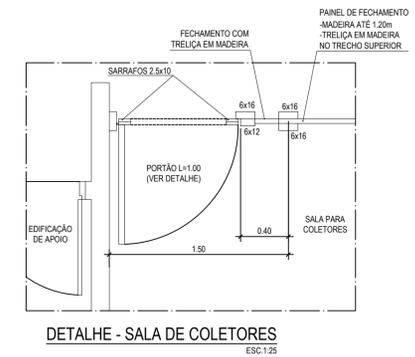
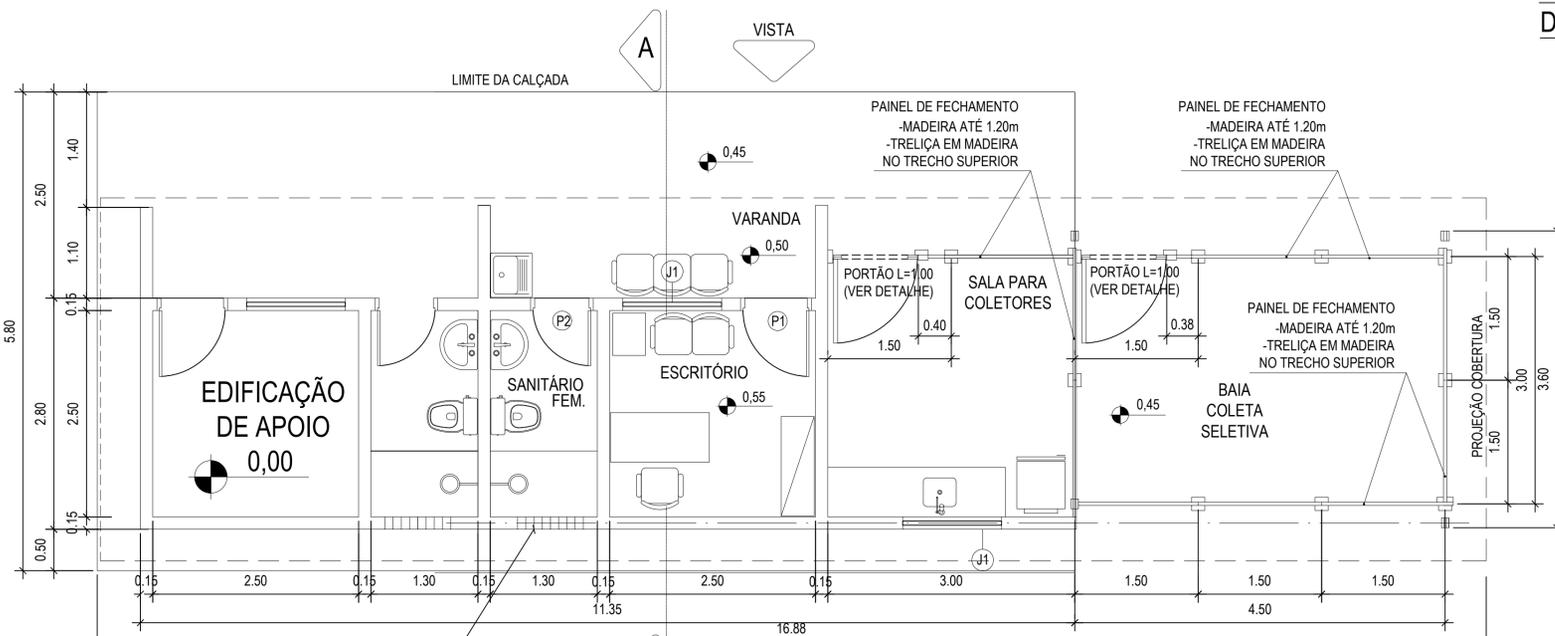
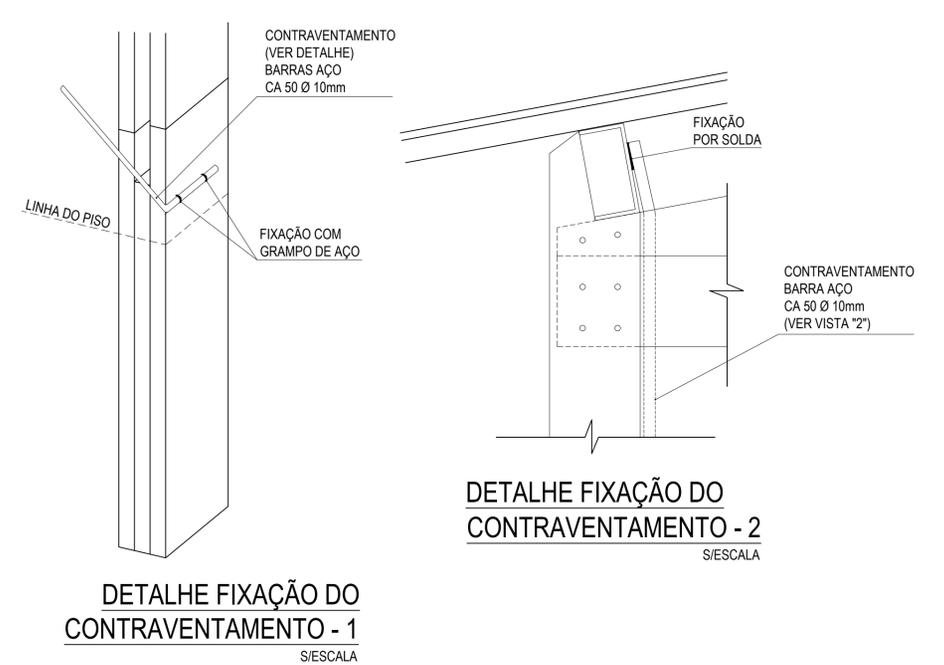
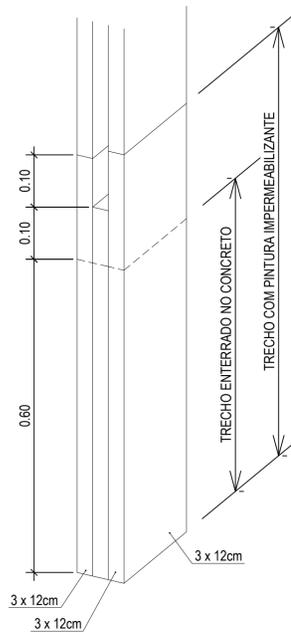
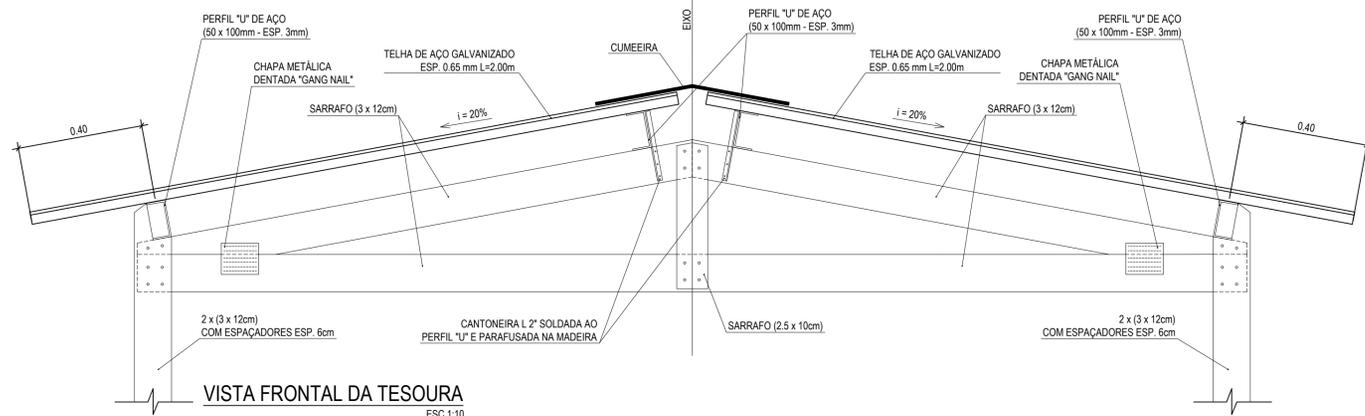
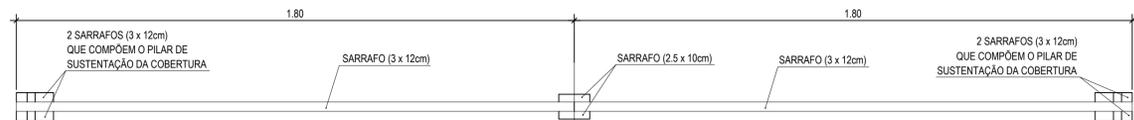
Prof. PhD. Francisco Contreras

Orientador

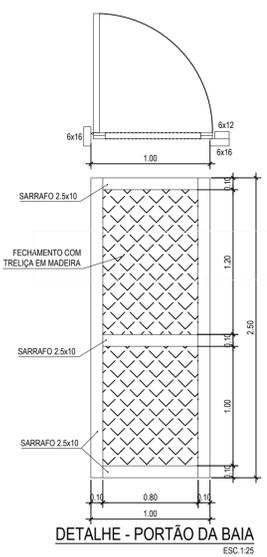
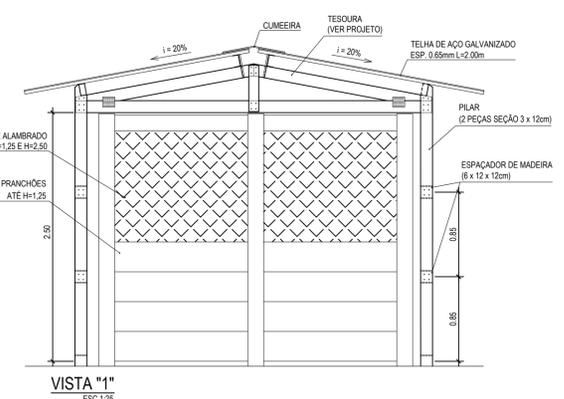
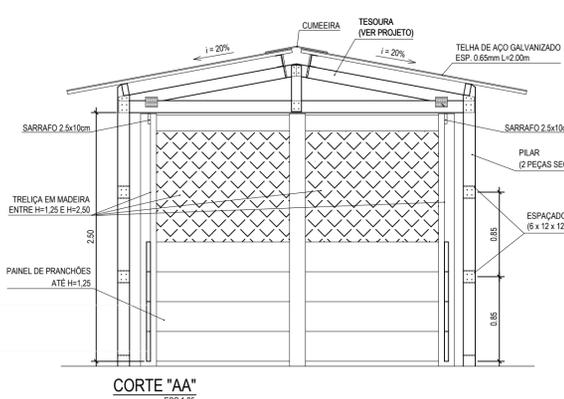
APÊNDICE A2

Escola	n° alunos	Total RSO (kg)	Escola	n° alunos	Total RSO (kg)
CEI 01	330	13,89	CEF 03	724	32,07
CEI 02	468	19,70	CEF 04	608	26,93
CEI 03	330	13,89	CEF 05	724	32,07
CEI 04	362	15,24	CEF 08	824	36,50
CEI 05	224	9,43	CEF 09	278	12,32
CEI 06	250	10,53	CEF 10	724	32,07
CEI 07	330	13,89	CEF 11	900	39,87
CEI 08	342	14,40	CEF 12	991	43,90
EC 01	350	7,14	CEF 14	1003	44,43
EC 06	411	8,38	CEF 15	871	38,59
EC 08	613	12,51	CEF 16	660	29,24
EC 10	562	11,46	CEF 17	900	39,87
EC 11	535	10,91	CEF 19	654	28,97
EC 12	478	9,75	CEF 21	272	12,05
EC 13	287	5,85	CED 02	1926	72,80
EC 15	475	9,69	CED 04	1032	39,01
EC 16	478	9,75	CED 05	981	37,08
EC 17	335	6,83	CED 06	1745	65,96
EC 18	600	12,24	CED 07	548	20,71
EC 19	224	4,57	CEM 03	1203	45,47
EC 27	738	15,06	CEMAB	2352	88,91
EC 29	385	7,85	CEMEIT	1750	66,15
EC 39	488	9,96	CEMTN	1693	64,00
EC 41	612	12,48	CEE 01	416	18,43
EC 42	566	11,55	ESC	350	15,51
EC 45	538	10,98			
EC 46	478	9,75			
EC 50	561	11,44			
EC 52	370	7,55			
EC 53	427	8,71			
EC 54	478	9,75			

APÊNDICE A3



TRECHO EM ELEMENTOS VAZADOS DE CONCRETO 0,80x0,40cm (PEITORIL=1,80)



GDF GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL
SECRETARIA DE ESTADO E INFRAESTRUTURA DE SERVIÇOS PÚBLICOS
SERVIÇO DE LIMPEZA URBANA DO DF - SLU

PROJETO EXECUTIVO DO PONTO DE ENTREGA VOLUNTÁRIA - PEV
PAPA ENTULHO RECANTO DAS EMAS - COBERTURA

VISTO: SR DESENHO: SR ESCALA: INDICADA DATA: ABRIL/2019

04 | 06