

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,
METALÚRGICA E MATERIAIS**

**GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL E
EM PORTUGAL: ANÁLISE DOS PLANOS DE RESÍDUOS
SÓLIDOS E DA DISPOSIÇÃO AMBIENTALMENTE
ADEQUADA**

Eng. Química Aline Batista Marra

Porto Alegre

2016

ALINE BATISTA MARRA

**GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL E
EM PORTUGAL: ANÁLISE DOS PLANOS DE RESÍDUOS
SÓLIDOS E DA DISPOSIÇÃO AMBIENTALMENTE
ADEQUADA**

*Dissertação submetida ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Minas,
Metalúrgica e de Materiais da
Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como requisito
parcial à obtenção do título de
mestre em Engenharia,
modalidade acadêmica*

Orientadora: Prof^a. Dra. Andréa Moura Bernardes

Porto Alegre

2016

Dedico este trabalho a
minha filha Maria

Agradecimentos

Ao meu marido, pelo carinho, companheirismo, apoio, motivação e compreensão.

Aos meus pais, por estarem constantemente motivando meus estudos.

Aos colegas da Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM, em especial aos colegas da Divisão de Saneamento Ambiental – DISA, pelo apoio e incentivo.

À Prof^a. Dra. Andréa Moura Bernardes, pelo conhecimento e orientação na realização deste trabalho.

Resumo

Um dos principais problemas enfrentados atualmente pelo Poder Público e pela sociedade é a destinação adequada de resíduos sólidos. O objetivo principal deste trabalho é avaliar a gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) implantada no Rio Grande do Sul e verificar a existência de melhorias após a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Este trabalho ainda apresenta o gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil e na Europa, as formas de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos, os tipos de tratamento de lixiviados existentes, identifica alternativa de reuso do lixiviado após tratamento, analisa os tratamentos de lixiviado utilizados em Aterros Sanitários localizados no estado do Rio Grande do Sul (RS) e em Portugal, o cumprimento das metas estipuladas para RSU nos Planos de Resíduos Sólidos e identifica e compara a legislação existente em Portugal e no Brasil que regulamenta a instalação e operação dos Aterros Sanitários. Para a elaboração foram analisados dados de destinação de RSU no Brasil, com especial ênfase ao estado do Rio Grande do Sul, e em Portugal. Através dos dados obtidos verifica-se que houve melhorias na destinação final dos RSU no Brasil após a homologação da PNRS, por exemplo houve um aumento de 138% de municípios que implantaram a coleta seletiva após a PNRS. Verificou-se que a forma mais utilizada de destinação final dos RSU no país é por meio de aterro sanitário, porém havendo ainda disposição inadequada por meio de aterros controlados e lixões. No RS em 2015, observou-se que houve uma redução na disposição final adequada em comparação ao ano de 2014, devido à má operação dos aterros sanitários, porém foi atingida a Meta 1 do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), uma vez que em 2015 não havia lixões em operação no RS. Foi possível observar que no RS a maioria das áreas classificadas como inadequadas são administradas pelos próprios municípios, isto se dá devido à falta de recurso financeiro para gerenciar e operar um aterro sanitário. Com relação ao tratamento de lixiviado gerado nos aterros sanitários do RS, verificou-se que estes não possuem implantado um sistema eficaz e acredita-se que somente um tratamento combinado, apresentando tratamento avançado, seja a forma mais adequada para tratar este efluente, devido à grande variabilidade de características e complexidade do lixiviado. Fazendo uma comparação da legislação referente à gestão de resíduos no Brasil e em Portugal, observa-se que em 1996 foi aprovado o Plano Estratégico Setorial dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) em Portugal, que promoveu uma grande alteração na gestão de RSU, havendo grandes investimentos em infraestrutura visando atender as metas do PERSU. Já no Brasil somente em 2010 foi proposta esta alteração por meio da PNRS, e é possível observar que não houve o atendimento das metas estipuladas nos Planos Nacionais e Estadual, no caso do RS, devido à falta de conscientização do Poder Público e

investimentos nesta área, de forma a promover uma destinação final adequada para os RSU gerados no país.

Palavras-chaves: Resíduos Sólidos Urbanos. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Plano Estadual de Resíduos Sólidos. Destinação final. Aterros Sanitários. Tratamento de lixiviado.

Abstract

One of the main problems currently faced by the Government and the society is the appropriate destination of solid waste. The main objective of this study is to evaluate the management of municipal solid waste (MSW) introduced in Rio Grande do Sul and to verify possible improvements achieved after the promulgation of the National Solid Waste Policy (NSWP). This paper also describes the management of solid waste in Brazil and Europe, the way of treatment and final disposal of municipal solid waste, the existing leachate treatment process, identifies leachate reuse alternatives, analyzes the leachate treatment operations used in landfills located in the State of Rio Grande do Sul (RS) and in Portugal, the achievement of goal set for MSW in Solid Waste Plans and identifies and compares the legislation existing in Portugal and Brazil which regulates the installation and operation of Landfills. For the work accomplishment, data of the MSW disposal in Brazil, with special emphasis on the State of Rio Grande do Sul, and Portugal were analyzed. Through the data obtained it appears that there were improvements in the final disposal of MSW in Brazil after the approval of NSWP, for example an increase of 138% of municipalities that have implemented selective collection after NSWP. It was found that the most used form of final disposal of MSW in the country is through landfill, but there is still inadequate disposal in controlled landfills and dumps. In RS in 2015, it was observed that there was a reduction in the number of adequate final disposal sites, compared to 2014, due to wrong operation of landfills. Nevertheless, Goal 1 of the National Plan of the Solid Waste (NPSW) was achieved, since in 2015 there was no dumps operating in RS. It was observed that in RS most of the areas classified as inadequate are administered by the municipalities themselves. This, is due to lack of financial resources to manage and operate a landfill. Regarding the treatment of leachate generated in landfills of RS, it was found that these have not implemented an effective system and it is believed that only a combined treatment, with advanced treatment, will be the best way to treat this effluent due to the large variability of characteristics and complexity of the leachate. Making a comparison of the legislation on waste management in Brazil and in Portugal, it is observed that in 1996 the Sector Strategic Plan for Municipal Solid Waste (SSPMSW) was approved in Portugal, promoting a major change in the MSW management, with large investments in infrastructure to deal the goals of the SSPMSW. On the other hand, in Brazil only in 2010 this change was proposed by NSWP. It is possible to observe that goals set in the National and State Plans were not met, in the case of RS, due to lack of awareness of the government and investments in this area in order to promote an appropriate final destination for the MSW generated in the country.

Keywords: Municipal Solid Waste. Management of Municipal Solid Waste. National Solid Waste Policy. National Plan of the Solid Waste. State Plan of the Solid Waste. Final destination. Landfills. Leachate treatment.

Sumário

Lista de Figuras	11
Lista de Tabelas	14
Lista de Siglas.....	15
1. Introdução.....	16
2. Revisão Bibliográfica	19
2.1 Resíduos Sólidos Urbanos	19
2.2 Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos	22
2.3 Aterros Sanitários	24
2.4 Lixiviado de Aterro Sanitário	28
2.4.1 Caracterização do Lixiviado	31
2.4.2 Tratamento convencional de lixiviado	35
2.4.3 Tratamento avançado de lixiviado.....	40
2.4.4 Processos combinados para tratamento de lixiviado	43
2.4.5 Reuso do lixiviado após tratamento	45
2.5 Gestão e legislação de resíduos sólidos urbanos na Europa.....	47
2.5.1 Destinação de resíduos sólidos urbanos na União Europeia	48
2.5.2 Legislação Europeia para aterros.....	49
2.5.3 Destinação de resíduos sólidos urbanos em Portugal.....	53
2.5.4 Legislação para aterros em Portugal.....	61
3. Metodologia.....	63
3.1 Coleta de dados sobre a situação de RSU no Brasil	63
3.2 Coleta de dados no estado do Rio Grande do Sul	63
3.3 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Portugal e Visita técnica ao Aterro Sanitário localizado em Portugal	66
4. Resultados.....	68
4.1 Coleta seletiva no Brasil	68
4.2 Planos de Resíduos Sólidos no Brasil.....	72
4.2.1 Plano Nacional de Resíduos Sólidos	72
4.2.2 Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul	77
4.3 Licenciamento ambiental da disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio Grande do Sul	80
4.4 Disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio Grande do Sul	84
4.5 Sistema de tratamento de lixiviado nos aterros sanitários do Estado do Rio Grande do Sul	92

4.6 Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio Grande do Sul anterior e posterior à Política Nacional de Resíduos Sólidos	97
4.7 Comparação da destinação dos resíduos sólidos urbanos em Portugal anterior e posterior ao Plano Estratégico Setorial dos Resíduos Sólidos Urbanos	98
4.8 Gestão de resíduos sólidos urbanos na região de Lisboa.....	101
4.9 Operação do Aterro Sanitário Mato da Cruz - Portugal	102
4.10 Comparação da legislação no Brasil e em Portugal	112
5. Considerações Finais	117
6. Conclusões.....	120
7. Sugestões para trabalhos futuros	121
8. Referências bibliográficas	122

Lista de Figuras

Figura 1: Geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.....	21
Figura 2: Participação dos Principais Materiais no Total de RSU Coletado no Brasil em 2012.	22
Figura 3: Esquema de construção de aterro sanitário: (a) vista inicial com o terreno escavado e compactado, drenos de lixiviado e manta de proteção; (b) vista após a primeira camada de lixo, com inserção de drenos de gases; (c) vista com várias camadas fechadas e os tanques de coletas de lixiviado e (d) aterro encerrado.	26
Figura 4: Destinação Final de RSU (ton/dia) no Brasil.....	28
Figura 5: Hierarquia da gestão de resíduos.	48
Figura 6: Tratamento dos resíduos urbanos em 2014 nos 28 Estados-membros da União Europeia mais Suíça, Noruega e Islândia.....	49
Figura 7: Comparação das metas definidas no PERSU I e os resultados obtidos em 2005.	55
Figura 8: Sistemas de gestão de RSU em Portugal.	56
Figura 9: Metas previstas para ENRRUBDA e disposição de RUB em aterros (2006 – 2016).	57
Figura 10: Mapa dos sistemas de gestão de resíduos urbanos e das infraestruturas de tratamento em Portugal Continental em dezembro de 2013	58
Figura 11: Geração e taxa de geração por habitantes de resíduos urbanos no período de 2002 a 2012 em Portugal.	59
Figura 12: Quantidade de resíduos urbanos encaminhados para diferentes tipos de destinação em Portugal, durante o período de 2002 a 2012.....	60
Figura 13: Evolução da Disposição de resíduo urbano biodegrável em aterro sanitário no período de 2002 a 2012.	60
Figura 14: Número de municípios com programas de coleta seletiva no Brasil.	68
Figura 15: Percentual de municípios brasileiros que realizam a coleta seletiva por regiões....	69
Figura 16: População brasileira com acesso a programas municipais de coleta seletiva.	69
Figura 17: Composição Gravimétrica da coleta seletiva.	70
Figura 18: Disposição final de RSU no estado do RS, considerando percentual populacional e percentual de municípios, no ano de 2015.	84
Figura 19: Disposição final dos RSU, considerando o porte dos municípios do Estado, para o ano de 2015	86

Figura 20: Percentual dos tipos de aterros sanitários no Estado do RS no ano de 2015.	87
Figura 21: Classificação da disposição final nos locais de recebimento de RSU no RS no ano de 2015.	88
Figura 22: Célula de aterro sanitário em operação e encerrado	89
Figura 23: Célula de aterro sanitário encerrada.....	89
Figura 24: Planta de geração de gás a partir do biogás do aterro	90
Figura 25: Detalhe de drenagem de lixiviado em formato espinha de peixe antes da operação da célula em aterro sanitário.....	90
Figura 25: Detalhe da drenagem pluvial no entorno da célula de disposição de RSU.....	91
Figura 26: Célula de aterro controlado sem cobertura, sem drenagem de gases e com problemas na drenagem de lixiviado.	92
Figura 27: Tratamento de efluentes contendo tanque de equalização, filtros biológicos e lagoas	94
Figura 28: Sistema de acúmulo de lixiviado por lagoas	95
Figura 29: Medidor de vazão, tipo calha parshall, na entrada do sistema.....	95
Figura 30: Sistema de tratamento de lixiviado por macrófitas (<i>wetlands</i>).....	96
Figura 31: Sistema de tratamento de lixiviado com osmose reversa.....	96
Figura 32: Disposição final de RSU por percentual de municípios no Estado do RS no ano de 2009.....	97
Figura 33: Comparação da disposição final dos RSU no Estado do RS entre os anos de 2009 e 2015.....	98
Figura 34: Percentual de RSU recolhidos pela coleta regular e coleta seletiva em Portugal (1993 – 2014).....	99
Figura 35: Percentual de RSU destinados para diferentes tipos de destinação em Portugal (2002 – 2014).....	100
Figura 36: Percentual de RSU coletados por meio de coleta seletiva e de RSU reciclados em Portugal (2000 – 2014).....	101
Figura 37: Célula 1 e 2 de RSU em exploração	107
Figura 38: Célula 1 e 2 de RSU em exploração com detalhe da drenagem pluvial	107
Figura 39: Célula 1 e 2 de RSU em exploração com detalhamento da drenagem de gases ...	108
Figura 40: Célula 3 em implantação.....	108
Figura 41: Lagoas de aeração da ETL	109
Figura 42: Lagoa de aeração da ETL com aeradores em funcionamento	109

Figura 43: Passagem entre as lagoas aeradas e o decantador	110
Figura 44: Passagem entre as lagoas aeradas e o decantador onde ocorre a adição de produtos químicos	110
Figura 45: Decantador	110
Figura 46: Plataforma para tratamento e valorização de escórias	111
Figura 47: Célula de cinzas inertizadas	111
Figura 48: Unidade de valorização energética	112

Lista de Tabelas

Tabela 1: Características típicas do lixiviado dos aterros sanitários brasileiros nas fases ácida e metanogênica.....	30
Tabela 2: Processos para tratamento biológico	36
Tabela 3: Principais processos aeróbios e suas funções	37
Tabela 4: Principais processos anaeróbios e suas funções.	37
Tabela 5: Frequência da coleta dos dados meteorológicos.	51
Tabela 6: Frequência do controle de lixiviado, águas superficiais e gases.	52
Tabela 7: Frequência do controle das águas subterrâneas	52
Tabela 8: Frequência de dados do aterro	53
Tabela 9: Classificação da FEPAM para aterros sanitários por portes.....	66
Tabela 10: Municípios com coleta seletiva por grupo de municípios nos anos de 2000 e 2008	71
Tabela 11: Estações de triagem de resíduos recicláveis nos anos de 2000 e 2008.....	72
Tabela 12: Estimativa da quantidade de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos coletados no Brasil em 2008	73
Tabela 13: Quantidade diária de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos encaminhados para diferentes formas de destinação final no ano de 2008	74
Tabela 14: Quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição no solo, considerando somente lixão, aterro controlado e aterro sanitário em 2008 (t/dia)	75
Tabela 15: Número de unidades de destino de resíduos e rejeitos urbanos encaminhados para disposição no solo, considerando somente lixão, aterro controlado e aterro sanitário em 2008 ¹	76
Tabela 16: Taxas de geração per capita de RSU por faixa populacional adotadas para o RS .	78
Tabela 17: Distribuição dos municípios e da população conforme o porte.....	86
Tabela 18: Comparação da legislação e normas brasileiras e portuguesa.....	114

Lista de Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ASMC	Aterro Sanitário Mato da Cruz
CE	Conselho da União Europeia
CEE	Comunidade Econômica Europeia
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CEWEP	<i>Confederation of European Waste-to-Energy Plants</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CVE	Centro de Valorização Energética
ECTRU	Estações de Confinamento Técnico de Resíduos Urbanos
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ENRRUBDA	Estratégia Nacional de Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis Destinados aos Aterros
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
ERM	Estação de Regulagem e Medição
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ETL	Estação de Tratamento de Lixiviado
ETVO	Estação de Tratamento e Valorização Orgânica
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ITVE	Instalação de Tratamento e Valorização de Escória
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MBR	Biorreatores de Membranas
MF	Microfiltração
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NF	Nanofiltração
OR	Osmose Reversa
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PERS-RS	Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul
PERSU	Plano Estratégico Setorial dos Resíduos Sólidos Urbanos
PEV	Posto de Entrega Voluntária
PIRSUE	Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos
PLANARES	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PMS	Processo de Separação por Membranas
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
POA	Processo Oxidativo Avançado
PVC	Policloreto de Vinila
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental

RSU	Resíduo Sólido Urbano
RUB	Resíduos Urbanos Biodegradáveis
SISNAMA	Sistema Nacional do meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SUASA	Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária
TCA	Termo de Compromisso Ambiental
TRS	Tempo de Retenção de Sólidos
UE	União Européia
UF	Ultrafiltração

1. Introdução

Atualmente, devido ao grande crescimento populacional e ao aumento do consumo de bens industrializados, o controle e a disposição de resíduos tem sido um dos principais problemas enfrentados pelo poder público e pela sociedade. O consumo acentuado, característico deste sistema, leva a uma série de danos ambientais, tanto no processo produtivo e na extração da matéria-prima, como após o ciclo de vida dos produtos.

Diante do problema apresentado, em agosto de 2010 foi instituída por meio da Lei Federal nº 12.305 a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que tem como princípio a responsabilidade compartilhada entre o governo, empresas e população, incentivando o retorno dos produtos às indústrias após o consumo e obrigando o poder público a realizar planos de gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos (Brasil, 2010). Nela também é definida a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos que deve incluir a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras formas de destinação admitidas pelos órgãos competentes, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e a minimizar os impactos ambientais adversos. Entre estas outras formas se destaca a disposição final ambientalmente adequada, que é a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis dos resíduos. Para os resíduos sólidos urbanos (RSU) a principal técnica de disposição final ambientalmente adequada são os aterros sanitários, sendo atualmente a solução mais econômica para dispor resíduos não perigosos e não inertes.

Nos aterros sanitários os RSU biodegradáveis geram produtos líquidos (lixiviado) e gasosos, que escapam da massa de resíduos. Por este motivo os aterros sanitários, mesmo quando bem projetados, construídos e operados, ainda podem apresentar riscos ao meio ambiente. No Brasil existem normas técnicas que apresentam os requisitos mínimos que devem ser seguidos no projeto, implantação e operação dos aterros sanitários e ainda como deve ser a apresentação destes projetos.

O lixiviado, por sua vez, apresenta uma composição química bastante variável, por ser uma mistura dos produtos da decomposição dos resíduos com a água da chuva que penetra no aterro. Porém sabe-se que o lixiviado é um líquido tóxico para os organismos aquáticos, podendo contaminar águas superficiais e subterrâneas caso não seja gerenciado e tratado adequadamente.

As características físicas, químicas e biológicas dos lixiviados dependem de uma série de requisitos, tais como: tipo de resíduo aterrado, grau de decomposição, clima, estação do ano, idade do aterro, profundidade do resíduo aterrado e tipo de operação do aterro. Logo, é possível afirmar que a composição dos lixiviados varia consideravelmente de um local para outro, como também em um mesmo local e entre épocas do ano, o que torna bastante difícil o seu tratamento.

Existem estudos para a determinação do tratamento mais adequado para este tipo de efluente, onde verifica-se, devido à grande variabilidade nas características do lixiviado, que com o tratamento combinado, físico-químico, biológico e juntamente com um tratamento avançado, é possível atingir parâmetros que permitam o lançamento do lixiviado tratado em recursos hídricos, ou até mesmo a reutilização posterior para irrigação, ou no próprio aterro para acelerar a estabilização dos resíduos dispostos na célula.

A PNRS, ainda apresenta como alguns de seus instrumentos o plano de resíduos sólidos e ainda determina os itens mínimos necessários na elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos e dos Planos Estaduais de Resíduos Sólidos.

Já na Europa desde 1975, com a Diretiva 75/442/CEE, foi introduzido o conceito de hierarquia de resíduos, incentivando a diminuição das quantidades de certos resíduos, o tratamento destes visando a reciclagem, a reutilização e a recuperação de matérias-primas e/ou produção de energia a partir de certos resíduos, e por último, a disposição dos resíduos em aterros (Europa, 1975). A Diretiva Europeia 1999/31/CE define os itens mínimos exigidos para implantação dos aterros localizados na Europa (Europa, 1999).

Em 1996 foi aprovado o Plano Estratégico Setorial dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) em Portugal, estimulando uma grande alteração na gestão dos resíduos sólidos urbanos, priorizando o encerramento e recuperação ambiental dos lixões, criação e construção de infraestrutura de coleta, transporte, tratamento e destino final dos RSU e similares, e criando uma base de apoio ao desenvolvimento da coleta seletiva e da reciclagem (Trotta, 2011).

A partir de 2006 foi proposto o PERSU II, sendo uma revisão do PERSU I, em que a redução, reutilização, reciclagem, separação na origem e minimização da disposição dos RSU em aterros estavam entre as linhas de estratégias para a gestão dos resíduos sólidos (Trotta, 2011).

Em agosto de 2009 o Governo Português publicou o Decreto-Lei nº 183 onde são apresentados os requisitos mínimos para construção e monitoramento dos aterros em operação e na fase de pós-encerramento, na tentativa de evitar os efeitos negativos sobre a disposição dos resíduos em aterros (Portugal, 2009).

Dentro do contexto apresentado, o objetivo geral do presente trabalho é analisar a gestão dos RSU implantada no Rio Grande do Sul e comparar a melhoria por meio da promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Os objetivos específicos estão divididos de acordo com os itens:

1. Apresentar o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil e em Portugal;
2. Apresentar as formas de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos;
3. Apresentar os tipos de tratamento de lixiviados existentes, afim de que sejam alcançados parâmetros específicos;
4. Identificar alternativa de reuso do lixiviado após tratamento;
5. Analisar os tratamentos de lixiviado utilizados em Aterros Sanitários localizados no Estado do Rio Grande do Sul e em Portugal;
6. Analisar o cumprimento das metas estipuladas para resíduos sólidos urbanos nos Planos de Resíduos Sólidos;
7. Identificar e comparar a legislação existente em Portugal e no Brasil que regulamenta a instalação e operação dos Aterros Sanitários.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Resíduos Sólidos Urbanos

O crescimento populacional, juntamente com o aumento do consumo de bens industrializados, tem agravado de maneira exponencial o problema de controle e disposição de resíduos, um dos principais problemas enfrentados pelo poder público e pela sociedade contemporânea (Rodrigues, 2007).

O sistema capitalista atualmente estimula o consumo e a produção de bens em grande escala, desta forma ocorrendo a geração cada vez maior de subprodutos ou rejeitos a serem gerenciados. O consumo acentuado, característico deste sistema, desencadeia uma série de danos ambientais, não somente durante o processo produtivo, mas também na extração da matéria-prima e até mesmo após o ciclo de vida dos produtos. A composição dos resíduos também é modificada pelo crescimento econômico, com a elevação de resíduos ligados ao processo de industrialização, e pelo progresso tecnológico, ao inserir novos materiais no processo produtivo (Moratelli, 2013).

A NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004) define resíduo sólido como: resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível, ou seja, resíduos sólidos são gerados por quase todas as atividades humanas, compreendendo uma grande diversidade de materiais. Além disso, os resíduos gerados mudam ao longo do tempo, tanto em quantidade como em qualidade, por acompanharem as mudanças tecnológicas, culturais e comportamentais das sociedades humanas (Souto e Povinelli, 2013).

Conforme a NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004a) os resíduos são classificados em:

- Resíduos Classe I - Resíduos Perigosos: aqueles que apresentam periculosidade conforme as características apresentadas em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, podendo apresentar risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices, e riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada. Ou ainda resíduos que apresentam características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

- Resíduos Classe II - Resíduos Não Perigosos: que são subdivididos em duas classes:
 - Resíduos Classe II A – Não inertes: Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B - Inertes, nos termos desta Norma. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
 - Resíduos Classe II B – Inertes: Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a NBR 10.007:2004 (ABNT, 2004c), que determina como deve ser realizada a amostragem de resíduos sólidos, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10.006:2004 (ABNT, 2004b), que descreve o procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, e não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G, da referida norma técnica.

Conforme determinado na NBR 10.004 (ABNT, 2004a) a classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

Em 02 de agosto de 2010, foi promulgada a Lei Federal nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que tem como princípio a responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e população. A nova legislação incentiva o retorno dos produtos às indústrias após o consumo e obriga o poder público a realizar planos para o gerenciamento dos resíduos sólidos (Brasil, 2010).

A PNRS classifica os resíduos da seguinte forma:

I - quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares;
- b) resíduos de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico;
- f) resíduos industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde;

- h) resíduos da construção civil;
- i) resíduos agrossilvopastoris;
- j) resíduos de serviços de transportes;
- k) resíduos de mineração.

II – quanto à periculosidade:

- a) resíduos perigosos;
- b) resíduos não perigosos.

De acordo com a PNRS, são considerados resíduos sólidos urbanos (RSU) os resíduos domiciliares, originários de atividades domésticas em residências urbanas, e os resíduos de limpeza urbana, oriundos da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.

Segundo a Abrelpe (2014), a geração total de RSU no Brasil foi de aproximadamente 78,6 milhões de toneladas, o que representa um crescimento de 2,9%, de 2013 para 2014, índice que é superior à taxa de crescimento populacional urbano no país no período, que foi de 0,9%, como pode ser observado na Figura 1 que apresenta os dados registrados para a geração total e per capita deste tipo de resíduo.

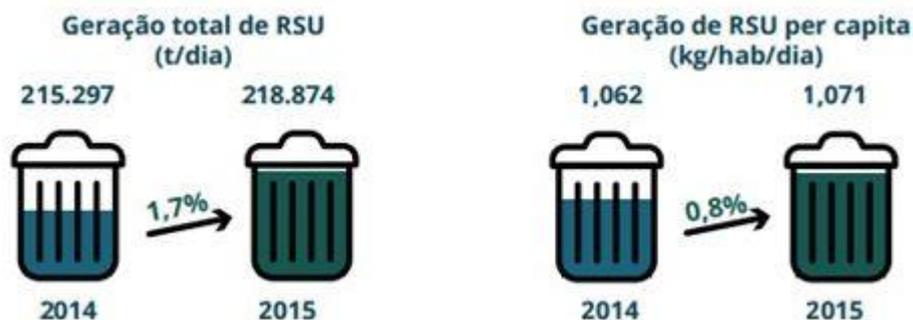


Figura 1: Geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.

Fonte: Abrelpe – Panorama 2015

Esses são os resíduos com os quais estamos mais familiarizados, pois são aqueles gerados nas residências. Apresentam uma composição bastante variável. O local, época do ano, clima, hábitos da população e mudanças tecnológicas são fatores que influenciam nessa variabilidade.

A Figura 2 apresenta a composição média dos RSU coletados no Brasil em 2012 (Abrelpe, 2012).

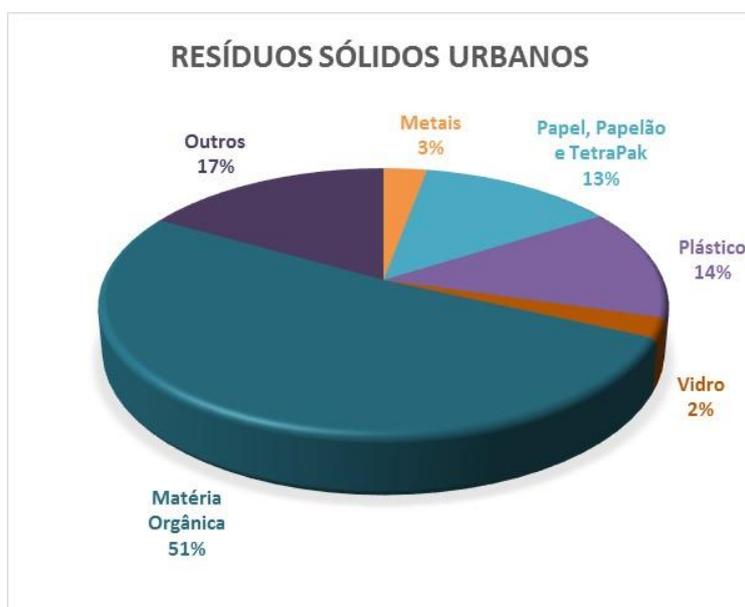


Figura 2: Participação dos Principais Materiais no Total de RSU Coletado no Brasil em 2012.
Fonte: Abrelpe – Panorama 2012

A caracterização dos RSU é muito importante para fins de gerenciamento, porque permite estimar a quantidade de matéria potencialmente reciclável, a quantidade de matéria putrescível que deve ser encaminhada para tratamento e disposição final, assim como a quantidade de rejeitos que deve ir para o aterro sanitário. Como os RSU são gerados em grandes quantidades e os aterros têm uma capacidade máxima de recebimento de resíduos, são apresentadas outras técnicas que minimizam o volume a ser disposto. A fração orgânica pode ser tratada por digestão anaeróbia ou compostagem, os materiais recicláveis podem ser recuperados e a incineração permite reduzir significativamente as quantidades a serem dispostas nos aterros.

2.2 Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos

A PNRS define que a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos deve incluir a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa), entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e a minimizar os impactos ambientais adversos. A PNRS ainda determina que a disposição final ambientalmente adequada é a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, sendo considerados rejeitos os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e

recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (Brasil, 2010).

De acordo com Souto e Povinelli (2013), o tratamento de resíduos sólidos apresenta técnicas que possibilitam a estabilização e redução de volume dos resíduos para aumentar a vida útil dos aterros sanitários. Algumas permitem o aproveitamento dos resíduos para gerar energia. Há também inúmeras técnicas que objetivam o reaproveitamento dos resíduos em alguns processos produtivos, as quais são consideradas parte das cadeias de reciclagem.

A escolha da alternativa de tratamento a ser adotada deve focar os seguintes aspectos: custos de implantação e operação, disponibilidade financeira dos agentes envolvidos, capacidade de atender às exigências legais, quantidade e capacitação técnica dos recursos humanos.

Segundo Souto e Povinelli (2013), as tecnologias em foco na estabilização dos resíduos podem ser divididas em processos biológicos e físico-químicos. Entre os primeiros estão a compostagem, a vermicompostagem, e a digestão anaeróbia. Entre os últimos, a incineração, a pirólise, a hidrólise térmica, a secagem/desidratação e a queima em fornos para produção de cimento.

Compostagem: De acordo com Bidone e Povinelli (2010 *apud* Souto e Povinelli, 2013)¹ é um processo de tratamento biológico aeróbio que transforma resíduos orgânicos em um material estabilizado, chamado de composto ou húmus, que pode ser utilizado como fertilizante. Essa técnica pode ser usada para tratar a fração orgânica dos RSU.

Vermicompostagem: Segundo Bidone e Povinelli (2010 *apud* Souto e Povinelli, 2013)¹ é um processo complementar à compostagem que visa melhorar as características do composto, aumentando a disponibilização de macro e micronutrientes e produzindo um material mais estável.

Digestão Anaeróbia: Conforme Souto e Povinelli (2013), ao contrário da compostagem, a digestão anaeróbia é um processo de tratamento biológico da fração orgânica dos RSU que ocorre na ausência de oxigênio. Ela ganhou popularidade na Europa porque permite um aproveitamento mais eficaz do metano produzido, quando comparado à exploração do biogás em aterros, além disso o resíduo estabilizado pode ser encaminhado para aterros (em um volume bem menor que o original) ou ser aproveitado na agricultura.

¹ Bidone, F.R.A; Povinelli, J. (2010). Conceitos básicos de resíduos sólidos. Projeto REENGE, Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos. 109 p.

Incineração: De acordo com CEMPRE (2000) os tratamentos térmicos dos resíduos a alta temperatura objetivam, principalmente, a destruição ou remoção da fração orgânica presente no resíduo, com redução significativa da sua massa (70%) e volume (90%). Dentre os processos de tratamento térmico à alta temperatura, a incineração é o mais difundido, com um número elevado de unidades em operação em todo o mundo. Ela consiste na combustão dos resíduos em temperaturas acima de 800°C, com injeção de ar, para garantir uma queima completa (conversão total da matéria orgânica em CO₂ e água). Praticamente toda a matéria orgânica e umidade são eliminadas e os resíduos são convertidos em cinzas, que devem ser classificados quanto a sua periculosidade, de acordo com a NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004a), e encaminhadas para a destinação final correspondente (Souto e Povinelli, 2013).

2.3 Aterros Sanitários

A principal técnica para a disposição final ambientalmente adequada dos RSU são os aterros sanitários, que hoje é a solução mais econômica para dispor resíduos não perigosos e não inertes.

Segundo Souto e Povinelli (2013), um aterro sanitário é uma obra de engenharia que possibilita o confinamento seguro dos resíduos, evitando riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais negativos.

Dentro do aterro, os resíduos são biodegradados em condições de anaerobiose. Esse processo tem como vantagens a estabilização dos resíduos, ainda que em longo prazo, e uma ligeira diminuição no seu volume. Porém, tal processo gera produtos líquidos (lixiviado, conhecido popularmente como chorume) e gasosos, que escapam da massa de resíduo. É por isso que, mesmo quando bem projetados, construídos e operados, os aterros ainda podem apresentar riscos ao meio ambiente.

Por este motivo, devem ser seguidos requisitos no projeto, licenciamento e operação de forma a atender normas e regulamentações pertinentes. Devem ser considerados critérios de localização, no que se refere às condições topográficas, hidrogeológicas e geotécnicas; sistema de monitoramento de águas subterrâneas; sistema de drenagem com queima (ou reaproveitamento energético) de gases; sistema de tratamento do lixiviado; recobrimento interno com argila compactada e/ou geomembranas; plano de fechamento; etc. (Barros, 2012).

Para que os impactos sejam os mínimos possíveis, há uma série de requisitos a serem seguidos no projeto, implantação e operação do aterro sanitário, sendo estes especificados no Brasil na NBR 13896:1997 (ABNT, 1997), conforme segue:

1. A base deve ser impermeabilizada, o que normalmente se consegue com argila compactada coberta com mantas geotêxteis e geomembrana de Polietileno de Alta Densidade (PEAD);
2. Sobre a base deve ser colocado um sistema de drenagem de fundo, composto por drenos dispostos em forma de espinha de peixe ou colchões drenantes. Esses drenos normalmente são feitos com tubos de Policloreto de Vinila (PVC) perfurados envoltos com brita, para que não ocorra o entupimento e a ruptura dos mesmos, devido ao peso dos resíduos. Os drenos têm a finalidade de conduzirem o lixiviado para o sistema de armazenamento e tratamento;
3. Devem possuir um sistema de drenagem de gases, com drenos verticais, que tradicionalmente são constituídos de tubos de concreto perfurados revestidos com brita. No topo do dreno deve ser colocado um queimador de gases ou um tubo que conduza o gás aos geradores de energia. Recomenda-se que a distância entre um dreno e outro varie entre 30 m e 50 m;
4. Os resíduos devem ser dispostos em células e devem ser compactados com tratores ou outros equipamentos apropriados, sempre de baixo para cima. Ao final da jornada de trabalho, os RSU devem receber uma cobertura provisória, de 15 cm a 30 cm de terra, para evitar a propagação de moscas e outros vetores;
5. Durante a operação do aterro deve se realizar manutenção dos acessos internos e externos, de maneira a permitir sua utilização sob quaisquer condições climáticas, manutenção das instalações e equipamentos, e devem ser mantidos programas de monitoramento de águas subterrâneas;
6. Na célula deve haver também drenagens pluviais, para que a água da chuva seja interceptada e afastada do aterro. A frente de trabalho, local em que ocorre a descarga de resíduos na célula, deve ser mantida em menor extensão possível, a fim de diminuir a entrada de água da chuva, pois esta não é impermeabilizada;
7. Conforme a altura máxima que a célula seja atingida, alcançando um volume preestabelecido, a mesma deve receber uma cobertura de argila compactada para impedir o ingresso de água da chuva;
8. Para finalizar, o aterro deve receber uma cobertura final na qual normalmente se coloca graminea para aumentar a evapotranspiração e, desta forma, minimizar a produção de lixiviado.

9. Após o término da vida útil do aterro, que também deve ser levada em consideração no momento do projeto, a área deve continuar a ser monitorada pelo sistema de monitoramento de águas subterrâneas.

A Figura 3 apresenta um esquema com as etapas de construção, operação e encerramento do aterro sanitário (Pertile, 2013).

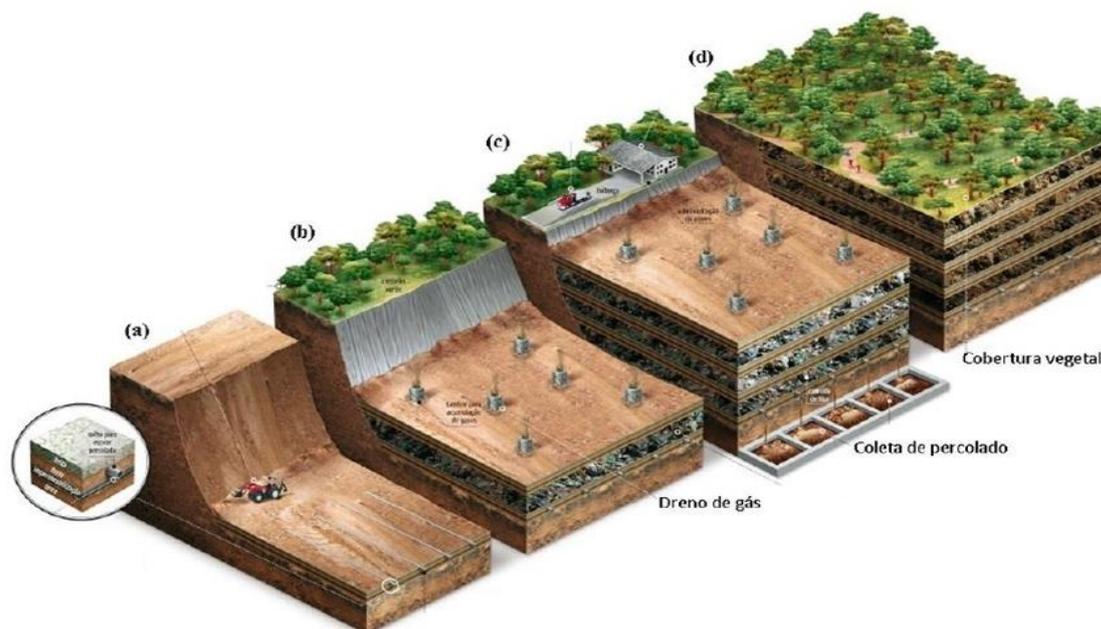


Figura 3: Esquema de construção de aterro sanitário: (a) vista inicial com o terreno escavado e compactado, drenos de lixiviado e manta de proteção; (b) vista após a primeira camada de lixo, com inserção de drenos de gases; (c) vista com várias camadas fechadas e os tanques de coletas de lixiviado e (d) aterro encerrado.

Fonte: Pertile, 2013.

A NBR 13896:1997 (ABNT, 1997) ainda define que deve haver uma rede de poços de monitoramento das águas subterrâneas com número suficiente, instalados adequadamente, de forma que as amostras retiradas representem a qualidade da água existente no aquífero mais alto, e sendo constituída por no mínimo quatro poços, um a montante e três a jusante no sentido do fluxo de escoamento preferencial do lençol freático. Deve haver um programa de monitoramento indicando os parâmetros e a frequência a serem analisados.

Para apresentação dos projetos de aterros sanitários a NBR 8419:1992 (ABNT, 1992) apresenta as condições mínimas exigíveis, tais como: memorial descritivo, memorial técnico, cronograma de execução e estimativa de custos, desenhos e eventuais anexos, assinados por profissional habilitado e acompanhado da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica.

No memorial descritivo e no memorial técnico devem ser apresentados as seguintes informações:

- Resíduos a serem dispostos;
- Caracterização do local destinado ao aterro sanitário;
- Concepção e justificativa do projeto;
- Descrição e especificação dos elementos de projeto, tais como: sistema de drenagem superficial, sistema de drenagem e remoção do lixiviado, sistema de tratamento do lixiviado, impermeabilização inferior e/ou superior, sistema de drenagem de gás, operação do aterro, uso futuro da área.

Existem ainda outras duas formas inadequadas de disposição de RSU sobre o solo: Lixão ou vazadores e os Aterros Controlados.

Lixões ou Vazadouros: algum lugar distante dos olhos da comunidade, onde os RSU são depositados a céu aberto sem qualquer proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Nesta área não há qualquer tratamento, cuidado ou controle sobre o tipo de resíduo que estava sendo descartado, salvo eventuais queimas que se faziam para diminuir o volume de resíduo. Os lixões são focos de contaminação do ar e das águas, bem como local de alimentação e abrigo de organismos vetores de doença, o que aumenta os riscos.

Aterros Controlados: já neste tipo de disposição final os RSU são confinados em locais mais restritos e normalmente é recoberto com uma camada de solo para proteção. A área é isolada de maneira a reduzir a contaminação ambiental, e, geralmente, estes apresentam uma impermeabilização simples com geomembrana de fina espessura. Porém não apresentam drenagem do lixiviado e dos gases gerados na célula pela disposição dos resíduos. Ou seja, os aterros controlados são basicamente uma vala aberta com uma simples impermeabilização sem qualquer tratamento e monitoramento de possíveis contaminações que possam ocorrer.

Apesar da PNRS prever somente disposição final do rejeito em aterros sanitários, ainda hoje existem áreas como as citadas acima. Conforme a Figura 4, a ABRELPE (2014) apresentou a quantidade de RSU em toneladas/dia disposta nestes três tipos de disposição nos anos de 2013 e 2014.

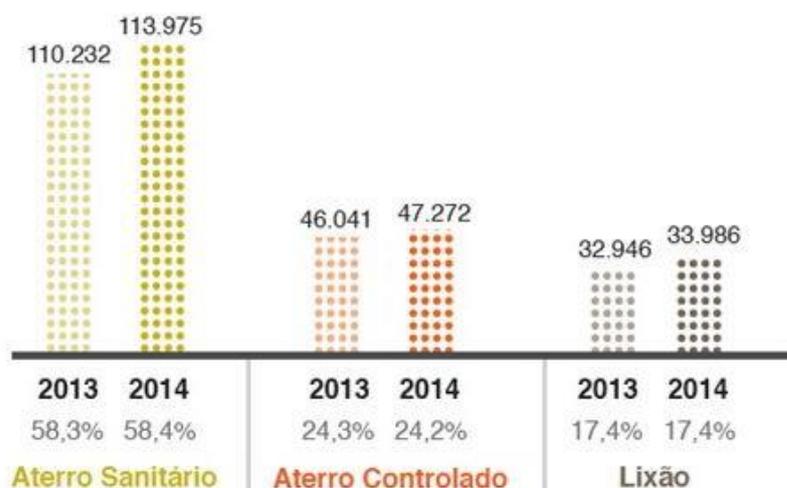


Figura 4: Destinação Final de RSU (ton/dia) no Brasil.

Fonte: Abrelpe – Panorama 2014

2.4 Lixiviado de Aterro Sanitário

Conforme Souto e Povinelli (2013), o lixiviado é uma mistura dos produtos da decomposição anaeróbia dos resíduos com a água da chuva que penetra no aterro. Sua composição química é bastante variável, porém sabe-se que é um líquido tóxico para os organismos aquáticos, principalmente devido às elevadas concentrações de amônia, podendo contaminar águas superficiais e subterrâneas, caso não seja gerenciado e tratado adequadamente.

Como uma primeira aproximação, a quantidade de chorume produzido pode ser considerada como proporcional ao volume de água de percolação através do aterro sanitário, neste caso a entrada é tomada como a precipitação (Barros, 2012).

De acordo com Gomes (2009) o processo de geração do lixiviado pode ser influenciado por fatores climáticos (precipitação pluviométrica, evapotranspiração e temperatura), hidrogeológicos (escoamento superficial, infiltração, topografia, geologia e recirculação do lixiviado), pelas características da camada de cobertura (umidade, vegetação, declividade), características dos resíduos (composição gravimétrica, compactação, permeabilidade, granulometria, peso específico, etc.) e pelo método de impermeabilização do local.

Segundo Tatsi e Zouboulis (2002), ocorre uma variação quantitativa ao longo do desenvolvimento do aterro sanitário, onde se verifica que a redução da quantidade de água que entra na massa de resíduos no aterro sanitário, causada pela incidência de chuvas, é de grande importância na redução da taxa de geração de chorume. Contudo, as vantagens de diminuição da entrada de água devem ser equilibradas contra a desvantagem de uma possível redução na

taxa de estabilização dos resíduos sólidos depositados no aterro sanitário e em decomposição. Ainda foi constatado que há uma maior produção de lixiviado sempre que houver uma menor compactação dos resíduos sólidos, uma vez que por meio da compactação é possível reduzir a taxa de infiltração da água na massa de resíduos dispostos no aterro sanitário.

De acordo com El-Fadel *et al* (2002), a composição dos lixiviados pode apresentar consideráveis variações espaciais e temporais, dependendo das práticas de gestão e operação do aterro, das características do rejeito e dos processos que ocorrem no interior da célula. A idade do rejeito e a correspondente fase de fermentação geralmente são os principais determinantes da composição dos lixiviados.

Com relação à idade do aterro sanitário, as características do lixiviado mudam ao longo do tempo em função da fase em que este se encontra. Há muitas maneiras de delimitar as fases da “vida” de um aterro. Souto & Povinelli (2013) expõem uma divisão simples, focada nas necessidades operacionais, conforme segue:

Fase ácida: É a que acontece no início da operação do aterro, em que o lixiviado apresenta grandes concentrações de ácidos voláteis, elevada carga orgânica, pH baixo, e a microbiota metanogênica ainda não teve tempo de se desenvolver. De acordo com Souto (2009) em países de clima tropical esta fase dura até dois anos.

Fase metanogênica: uma vez que a microbiota metanogênica está bem desenvolvida, ela consome os ácidos voláteis e os converte em gás carbônico e metano. Com isso, o lixiviado apresenta baixos teores desses ácidos e carga orgânica mais baixa, pH elevado e concentrações significativas de nitrogênio amoniacal.

Fase de maturação: Após o encerramento da operação do aterro, a massa de resíduos vai ficando progressivamente mais estabilizada e, com isso, as emissões de gases diminuem até valores insignificantes (aterro estabilizado).

O lixiviado da fase ácida é popularmente conhecido como “chorume novo” e o da fase metanogênica como “chorume velho”. Suas características são bastante diferentes e as variações são grandes dentro de uma mesma fase, como pode ser observado pelos dados da Tabela 1.

Tabela 1: Características típicas do lixiviado dos aterros sanitários brasileiros nas fases ácida e metanogênica

<i>Variável</i>	<i>Fase Ácida</i>		<i>Fase Metanogênica</i>	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
pH	5,1	8,3	7,1	8,7
DBO (mg/L)	35	25.400	60	6.000
DQO (mg/L)	540	53.700	700	13.500
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	10	1.800	50	2.400
Cádmio (mg/L)	nd	0,09	nd	0,1
Chumbo (mg/L)	nd	1,3	nd	1,1
Zinco (mg/L)	nd	7,0	0,01	2,0

Observação: “mínimo” e “máximo” são os valores extremos observados na maioria dos aterros e a sigla “nd” denota que não há dados disponíveis.

Fonte: Souto e Povinelli, 2013

A grande variabilidade do lixiviado, mesmo dentro da mesma fase, torna bastante difícil o seu tratamento. Resultados razoáveis têm sido alcançados na remoção da carga orgânica da fase ácida, principalmente com o uso de sistemas anaeróbios, pois sua degradabilidade é alta. O lixiviado da fase metanogênica, porém, é extremamente refratário ao tratamento. Uma solução que tem sido dada é o tratamento conjunto com esgotos sanitários nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs).

De acordo com Chen (1996), a incidência de chuvas nos aterros sanitários não só aumenta a vazão de lixiviado, mas também interfere em algumas propriedades deste. Conforme estudo realizado foi possível verificar que em dias contínuos de chuvas, sem interrupção, observaram-se altas concentrações de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a redução nas concentrações de Carbono Orgânico Total (COT) devido à diluição provocada pela precipitação. O estudo indicou que as concentrações de materiais orgânicos presentes no lixiviado foram menores na estação seca do que na estação chuvosa. Com relação a Condutividade, verificou-se que esta estava proporcionalmente vinculada a quantidade de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), desta forma a medida de condutividade poderia representar o conteúdo de SDT. Além disso, foi possível verificar que a condutividade diminuiu com um aumento de chuvas nos dias contínuos, ou seja, a diluição pela água da chuva também reduz a condutividade.

Conforme Gomes (2009) as características físicas, químicas e biológicas dos lixiviados dependem do tipo de resíduo aterrado, do grau de decomposição, do clima, da estação do ano, da idade do aterro, da profundidade do resíduo aterrado, do tipo de operação do aterro, entre

outros fatores. Logo, pode-se afirmar que a composição dos lixiviados pode variar consideravelmente de um local para outro, como também em um mesmo local e entre épocas do ano.

2.4.1 Caracterização do Lixiviado

Segundo Gomes (2009), a caracterização de efluentes biológicos, em geral, pode ser realizada em três níveis: identificação individual dos compostos, identificação de classes de compostos e determinação de parâmetros coletivos específicos e não específicos.

2.4.1.1 Parâmetros coletivos não específicos ou convencionais

Os principais parâmetros físico-químicos utilizados na caracterização convencional do lixiviado são: potencial hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e Nitrogênio Amoniacal (N-NH₃), Fósforo, Cloretos, Alcalinidade, Série de Sólidos, Metais Pesados (Cd, Ni, Zn, Cu e Pb, principalmente) e outros metais (por exemplo Al e Fe) (Gomes, 2009).

- a) pH: O pH é um parâmetro que indica o processo de decomposição biológica da matéria orgânica. Em processos de biodegradação anaeróbia, o desenvolvimento dos microrganismos está relacionado diretamente às faixas predominantes de pH. Os ácidos orgânicos voláteis são excelentes indicadores do grau de degradabilidade e do andamento dos processos anaeróbios, pois são gerados na fase ácida (aterros jovens) e consumidos na fase metanogênica.
- b) Matéria orgânica: A matéria orgânica no efluente é determinada muitas vezes em forma de DQO e DBO. A relação DBO/DQO tem sido usada como um indicador do nível de degradação biológica do lixiviado, apesar de suas limitações. Para aterros jovens, os valores da relação DBO/DQO variam entre 0,5 e 0,8; pois uma fração considerável da DQO corresponde a ácidos graxos voláteis; para aterros antigos esses valores caem para a variação de 0,04 a 0,08; pois a maior parte dos compostos biodegradáveis já foi degradada.
- c) Cloretos: Os cloretos (Cl⁻) são originados a partir da dissolução de sais e geralmente não constituem um problema de toxicidade para os microrganismos responsáveis pela degradação biológica. De acordo com Gomes (2009), a toxicidade por sais está associada ao cátion, e não ao ânion do sal. Os íons cloreto podem provocar efeito contrário ao se combinarem com cátions metálicos, como prata, mercúrio e chumbo, formando complexos estáveis e reduzindo-os. Assim, pode ocorrer a

concentração desses metais na forma solúvel e, conseqüentemente, trazer riscos de toxicidade no efluente.

- d) Alcalinidade: É a medida da capacidade dos íons presentes em um meio de neutralizar ácidos resistindo a possíveis oscilações do pH. A alcalinidade pode ser devida a bicarbonatos, carbonatos ou hidróxidos. Existe uma correlação entre pH, alcalinidade e teor de ácidos voláteis que determina o sistema ácido/base, devendo esta relação ser mantida dentro de certos limites para que um equilíbrio químico satisfatório entre os microrganismos atuantes na degradação biológica seja alcançado e preservado.
- e) Sólidos: Todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a concentração de sólidos. A presença de sólidos suspensos nas águas leva a um aumento da turbidez, influenciando diretamente na entrada de luz e diminuindo o valor de saturação do oxigênio dissolvido. Os sólidos sedimentáveis são caracterizados por sólidos em suspensão que sedimentam, sob condições específicas, em razão da influência da gravidade. A distinção entre sólidos dissolvidos e suspensos refere-se ao tamanho das partículas e sua capacidade para passar por um papel filtro de tamanho específico ($< 2 \mu\text{m}$). Ao submeter os sólidos a uma temperatura elevada ($550 \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$), a fração orgânica é volatilizada, permanecendo após combustão apenas a fração inorgânica. Portanto, os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos, ao passo que os sólidos não voláteis (fixos) representam a matéria inorgânica ou mineral.
- f) Metais pesados: A grande variabilidade de embalagens (ferrosas ou não) dispostas pós-uso em aterros sanitários são a principal fonte de metais posteriormente encontrados nos lixiviados. Atenção também deve ser dada aos materiais de cobertura empregados, os quais podem ser eventuais fontes dessas substâncias. A concentração de metais como Fe, Mn, Zn, Cu, Pb e Cd pode ser elevada em aterros jovens devido ao ambiente ácido que permite a solubilização dos íons metálicos. Com o passar do tempo, o pH tende a aumentar e essas concentrações tendem a diminuir.

O grande problema dos metais pesados é sua capacidade de formar complexos organometálicos por reações de complexação com as moléculas orgânicas. A formação desses complexos facilita o transporte de metais e a mobilidade de diversos contaminantes orgânicos. Durante a fase ácida ocorre a complexação das espécies metálicas. Na metanogênese, o pH eleva-se propiciando a precipitação de

metais. Nessa fase também ocorre a formação de sulfetos pela redução de sulfatos, que têm a capacidade de formar precipitados principalmente com Cd, Ni, Zn, Cu e Pb.

2.4.1.2 Parâmetros coletivos específicos e identificação de compostos

De acordo com Gomes (2009) a caracterização a partir de parâmetros coletivos fornece informações práticas na compreensão dos fenômenos que ocorrem em praticamente todas as etapas do tratamento, possibilitando o aperfeiçoamento das tecnologias, a definição de procedimentos operacionais mais eficientes, o aprimoramento dos modelos matemáticos e, conseqüentemente, a concepção de fluxogramas de estações de tratamento de lixiviados mais coerentes para a remoção de carga orgânica. Amaral (2007 *apud* Gomes, 2009)² realizou estudos pioneiros para o desenvolvimento de métodos analíticos para a caracterização de lixiviados de aterro sanitário empregando parâmetros coletivos de identificação de compostos orgânicos.

Nessa revisão foram abordados os seguintes parâmetros: DQO inerte, biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia, distribuição de massa molecular e identificação de compostos (Gomes, 2009).

- a) DQO inerte: A identificação das características do efluente com ênfase na matéria orgânica faz parte da estratégia operacional do tratamento biológico. Um dos parâmetros mais amplamente usados para essa identificação é a DQO. Esse parâmetro tem sido amplamente empregado, principalmente por sua facilidade analítica e por apresentar um balanço de elétrons e energia entre o substrato orgânico, biomassa e oxigênio utilizado. Por outro lado, ele não diferencia a matéria orgânica biodegradável da inerte. Além disso, outros elementos podem interferir nos resultados analíticos, como a presença de cloretos, manganês, entre outros. A fração de DQO inerte, representando a fração não biodegradável, passa pelo tratamento inalterada, mascarando o resultado de tratabilidade biológica e, dessa forma, dificultando o estabelecimento de um critério de limitação expresso em termos de DQO.

² AMARAL, M.C.S. Caracterização de lixiviados empregando parâmetros coletivos e identificação de compostos. 270 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE/UFMG), Belo Horizonte, 2007.

- b) Biodegradabilidade aeróbia: Os compostos biodegradáveis são aqueles suscetíveis à decomposição pela ação dos microrganismos, e podem ser classificados de acordo com a facilidade de degradação e, indiretamente, com o estado físico dos compostos em rapidamente, moderadamente ou lentamente biodegradáveis. Os compostos rapidamente biodegradáveis apresentam-se geralmente na forma solúvel, consistindo em moléculas relativamente simples que podem ser utilizadas diretamente pelas bactérias heterotróficas. Os compostos moderada e lentamente biodegradáveis apresentam-se geralmente na forma particulada, embora possa existir matéria orgânica solúvel de degradação mais lenta, constituída por moléculas mais complexas que também demandam o processo de hidrólise.

Os compostos recalcitrantes são aqueles que resistem à biodegradação e tendem a persistir e acumular no ambiente. Tais materiais não são necessariamente tóxicos aos microrganismos, mas são simplesmente resistentes ao ataque metabólico.

A avaliação da biodegradabilidade aeróbia auxilia na determinação da concepção de sistemas de tratamento aeróbio mais adequados para uma condição específica, podendo evitar problemas futuros como baixas eficiências e custos elevados de manutenção e operação.

No entanto, a biodegradabilidade do efluente é afetada por muitos fatores. Os fatores mais relevantes são: fonte e quantidade de microrganismos e condições físico-químicas do meio, como concentração de oxigênio, temperatura, pH, entre outros.

- c) Biodegradabilidade anaeróbia: A biodegradabilidade anaeróbia pode ser definida como a fração máxima de matéria orgânica que será eliminada, por digestão anaeróbia, durante um determinado período de tempo e em determinadas condições operacionais, em comparação à fração teórica que pode ser estequiometricamente biodegradável.

A avaliação da biodegradabilidade anaeróbia apresenta grande importância por fornecer mais informações práticas sobre a eficiência do sistema de tratamento, uma vez que pode ser empregada para analisar a concentração de poluentes orgânicos que podem ser convertidos a CH₄ (metano), bem como para avaliar a eficiência do processo e estimar a quantidade de poluentes orgânicos residuais do processo.

- d) Distribuição de massa molecular: O conhecimento das distribuições de massa molecular dos compostos e o estudo das transformações nelas ocorridas durante o tratamento possibilitam o delineamento dos mecanismos de remoção de matéria

orgânica e, em consequência, o aperfeiçoamento das tecnologias de tratamento de efluentes.

Ao longo das etapas do tratamento biológico e/ou físico-químico dos lixiviados, a distribuição de tamanho dos compostos presentes é modificada, afetando a tratabilidade do efluente. De acordo com Gomes (2009), essa alteração deve-se a fatores dinâmicos do processo, como a síntese de novas células, floculação, quebra enzimática de macromoléculas e oxidação bioquímica, e a fatores operacionais, como tempo de detenção hidráulica, configuração do reator e tipo de substrato.

- e) Identificação de compostos: A identificação individual ou em classes de compostos pode auxiliar na escolha de processos de pré ou pós-tratamento, direcionando-os à remoção de determinadas substâncias que apresentam, por exemplo, toxicidade ou que são refratárias. Pode também evitar a disposição *in natura* de substâncias potencialmente tóxicas no ambiente, principalmente no que diz respeito à contaminação de solos, mananciais hídricos subterrâneos e superficiais.

2.4.2 Tratamento convencional de lixiviado

Segundo Renou *et al* (2008) o tratamento convencional de lixiviado de aterros sanitários pode ser classificado em três grandes grupos: (a) transferência de lixiviado: tratamento combinado com esgoto doméstico; (b) biodegradação: processo aeróbio e anaeróbio; (c) método físico-químico: oxidação química, adsorção, precipitação química, coagulação/floculação e sedimentação/flotação.

2.4.2.1 Transferência de lixiviado

Tratamento combinado com esgoto doméstico: de acordo com Renou *et al* (2008), em anos anteriores a 2008 uma solução comum era tratar o lixiviado juntamente com o esgoto municipal na estação de tratamento de esgoto, devido a sua fácil manutenção e baixo custo operacional. No entanto, esta opção tem sido cada vez mais questionada devido à presença no lixiviado de compostos inibidores orgânicos com baixa biodegradabilidade e metais pesados que podem reduzir a eficiência do tratamento e aumentar as concentrações do efluente. Um argumento a favor desta alternativa de tratamento é que o nitrogênio (trazido pelo lixiviado) e o fósforo (trazido pelo esgoto doméstico) não precisam ser adicionados na planta.

2.4.2.2 Tratamento biológico

Devido à sua confiabilidade, simplicidade e alta relação custo-eficiência, o tratamento biológico é comumente usado para a remoção de altas concentrações de DBO no lixiviado. A biodegradação é realizada por microrganismos, que podem degradar compostos orgânicos a dióxido de carbono e lodo em condições aeróbias e biogás em condições anaeróbicas (uma mistura que compreende principalmente CO₂ e CH₄). Os processos biológicos demonstraram ter grande eficácia na remoção de material orgânico e matéria nitrogenada de lixiviados de aterros novos quando a relação DBO / DQO possui um elevado valor (> 0,5). Com o tempo, a maior presença de compostos refratários (principalmente ácidos húmicos e fúlvicos) tende a limitar a eficácia do processo (Renou *et al* 2008).

O tratamento aeróbio deve permitir uma redução parcial de poluentes orgânicos biodegradáveis e também deve atingir a nitrificação do nitrogênio amoniacal (Renou *et al* 2008).

A Tabela 2 apresenta os tipos de tratamentos biológicos existentes (Tchobanoglous *et al*, 2004).

Tabela 2: Processos para tratamento biológico

Processos	Definição
Processo de crescimento suspenso	Processo de tratamento biológico em que o microrganismo responsável pela conversão de matéria orgânica ou outro constituinte do lixiviado para gases e o tecido das células são mantidos em suspensão no interior do líquido
Processo de crescimento ligado	Processo de tratamento biológico em que o microrganismo responsável pela conversão da matéria orgânica ou outro constituinte do lixiviado para gases e o tecido da célula são ligados a um substrato inerte, como rochas, escoria ou especial em materiais de cerâmica ou plástico.
Processos combinados	Termo usado para descrever processos combinados, combinação de processos crescimento suspenso e ligado.
Processos de lagoas	Um termo genérico aplicado para tratamento de processos que ocorrem em lagoas naturais ou artificiais com várias proporções e profundidades.

Fonte: Tchobanoglous *et al* (2004)

A Tabela 3 apresenta os principais processos aeróbios utilizados e suas funções (Tchobanoglous *et al*, 2004).

Tabela 3: Principais processos aeróbios e suas funções

Processo aeróbio	Nome comum	Função
Crescimento suspenso	Lodo ativado	Remoção de DBO e nitrificação
	Lagoa aerada	Remoção de DBO e nitrificação
	Digestão aeróbia	Estabilização e remoção de DBO
Crescimento ligado	Filtros biológicos	Remoção de DBO e nitrificação
	Contatores rotativos biológicos	Remoção de DBO e nitrificação
	Reatores em leito	Remoção de DBO e nitrificação
Combinação	Filtros biológicos / lodo ativado	Remoção de DBO e nitrificação

Fonte: Tchobanoglous *et al* (2004)

O tratamento anaeróbio de lixiviados apresenta tecnologias simples e de baixo custo, nos quais a operação pode ser realizada a elevados tempos de detenção de sólidos e a baixos tempos de detenção hidráulica. Ao contrário do processo aeróbio, não é necessária a introdução de um oxidante, o processo produz o gás metano que pode ser utilizado como combustível e a produção de lodo é menor (Dacanal, 2006).

A Tabela 4 apresenta os principais processos anaeróbios utilizados e suas funções (Tchobanoglous *et al*, 2004).

Tabela 4: Principais processos anaeróbios e suas funções.

Processo anaeróbio	Nome comum	Função
Crescimento suspenso	Processos de contato anaeróbio	Remoção de DBO
	Digestão anaeróbia	Estabilização, destruição de sólidos e patogênicos
Crescimento ligado	Leito fluidizado e empacotado anaeróbio	Remoção de DBO, estabilização e desnitrificação
Lodo	Fluxo ascendente e lodo anaeróbio	Remoção de DBO
Combinação	Fluxo ascendente e lodo / crescimento ligado	Remoção de DBO

Fonte: Tchobanoglous *et al* (2004)

Um exemplo de tratamento biológico amplamente aplicado para tratamento de lixiviado em aterros sanitários, tanto na Europa, como nos Estados Unidos e até mesmo no Brasil, são os

banhados construídos, também conhecido como lagoas ou leitos construídos de macrófitas, e, ainda, em inglês *wetland*. Estes são ecossistemas criados artificialmente e controlados, compostos por macrófitas aquáticas cuja a aplicação no tratamento tem o objetivo de atuarem como banhados naturais, maximizando o desempenho desses na remoção de poluentes, constituindo um ambiente favorável aos processos de estabilização aeróbia da matéria orgânica presente no lixiviado. Por meio deste processo é possível realizar a remoção dos seguintes poluentes: sólidos suspensos, matéria orgânica solúvel ou insolúvel, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitratos, fósforo, metais e microrganismos indicadores de contaminação (Bidone, 2007).

De acordo com Bidone (2007), nos banhados construídos as macrófitas e o leito de suporte de suas raízes permitem a acumulação e a fixação de biomassa ativa do sistema. Como resultado de sua atividade fotossintética, as plantas introduzem oxigênio no meio do líquido, no âmbito de suas raízes, formando-se ali um cenário favorável a estabilização aeróbia da matéria orgânica. A comunidade de macrófitas desenvolve-se a partir do consumo de nutrientes, razão pela qual nitrogênio e fosforo presentes no líquido a ser tratado podem ser assimilados pelas plantas.

2.4.2.3 Tratamento Físico-Químico

Processos físicos e químicos incluem a redução de sólidos suspensos, partículas coloidais, materiais flutuantes, cor e compostos tóxicos, por flotação, coagulação/floculação, adsorção e oxidação química. Tratamentos físico-químicos para o lixiviado gerado no aterro são usados combinados com outros tipos de tratamento (pré-tratamento ou a última purificação) ou para o tratamento de um poluente específico (Renou *et al*, 2008).

Flotação: é usada principalmente para remover a matéria suspensa e concentrar lodos. Sua principal vantagem sobre a sedimentação são de que partículas muito pequenas ou leves, que se depositam lentamente, podem ser removidas completamente e em um curto espaço de tempo (Tchobanoglous *et al*, 2004). O método de tratamento por flotação por ar dissolvido, o qual se baseia na colisão de bolhas de ar com as partículas em suspensão, fazendo com que estas flutuem para a superfície do tanque, pode ajudar a reduzir a contaminação dos lixiviados (Adlan *et al*, 2011). Anteriormente, Zouboulis *et al* (2003) investigaram o uso de flotação por ar dissolvido como uma etapa de pós-tratamento para a remoção de ácidos húmicos residuais (compostos não biodegradáveis, que contribuem para as concentrações de DQO e de cor em lixiviados) em lixiviados de aterros simulados, que sob condições otimizadas, foi atingida uma remoção de quase 60 % de ácidos húmicos.

Coagulação/floculação: Pode ser utilizado com sucesso no tratamento de lixiviados estabilizados de aterros mais antigos. É amplamente utilizado como um pré-tratamento, antes da etapa de osmose reversa ou do tratamento biológico, ou como um passo final no tratamento de polimento, de modo a remover a matéria orgânica não biodegradável. Sais de ferro, sais de alumínio e cloreto de polialumínio são comumente usados como coagulantes. Existem alguns estudos que fazem a verificação do processo de coagulação-floculação para o tratamento de lixiviados de aterros sanitários, visando a otimização de processos, ou seja, a escolha e dosagem do coagulante mais adequado, a identificação da condição experimental ideal e avaliação do efeito do pH (Renou *et al*, 2008).

Verma e Kumar (2016), por exemplo, avaliaram a utilização do cloreto férrico (FeCl_3) como coagulante combinado com floculante de Poliacrilamida enxertado com Goma Ghatti (GGI-g-MA), testando diferentes doses do coagulante e do floculante, com diferentes proporções de lixiviado de aterro antigo misturado com esgoto doméstico, verificando que a coagulação-floculação pode ser utilizado no pré-tratamento de lixiviado e co-tratamento do esgoto doméstico. A dose ideal de FeCl_3 foi de 970 mg/L com 100 mg/L de GGI-g-PAM, em uma proporção 1:7 entre lixiviado e esgoto doméstico, onde foi atingida uma remoção de 79% DQO, 93% turbidez e 90% Sólidos Suspensos Totais. Ainda foi observada a remoção de cor com o aumento da dose de FeCl_3 em todas as razões testadas exceto em 1:20.

Entretanto, o tratamento de coagulação/floculação apresenta algumas desvantagens, que consiste no grande volume de lodo gerado e no aumento de concentração de alumínio ou ferro na fase líquida (Renou *et al*, 2008).

Precipitação química: Processo que envolve a adição de produtos químicos para alterar o estado físico de sólidos dissolvidos e em suspensão e facilitar a remoção por sedimentação. Precipitação química é utilizada como um meio de melhorar o desempenho de instalações de sedimentação primária, como um passo fundamental no tratamento físico-químico independente de água residuais, para a remoção de fósforo e para a remoção dos metais pesados (Tchobanoglous *et al*, 2004). No caso de tratamento de lixiviados, precipitação química é amplamente usada como pré-tratamento a fim de remover o elevado teor de nitrato de amônia (NH_4^+) (Renou *et al*, 2008).

Adsorção: A adsorção de poluentes por carvão ativado em colunas ou em pó proporciona uma melhor redução nos níveis de DQO do que os métodos químicos, seja qual for a concentração inicial de matéria orgânica. A principal desvantagem é a necessidade de regeneração frequente de colunas ou um consumo equivalentemente alto de carvão ativado em pó. A adsorção por carvão ativado tem sido usada em conjunto com o tratamento biológico para

um tratamento eficaz do lixiviado. Orgânicos não-biodegradáveis, DQO inerte e cor podem ser reduzidos para níveis aceitáveis para tratamento biológico de lixiviados do aterro sanitário (Renou *et al*, 2008).

Oxidação química: este é um método amplamente estudado para o tratamento de efluentes contendo compostos refratários, como no lixiviado (Renou *et al*, 2008). Oxidação química no tratamento de águas residuais envolve tipicamente o uso de agentes oxidantes tais como o ozônio (O_3), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), permanganato (MnO_4), dióxido de cloro (ClO_2), cloro (Cl_2) e oxigênio (O_2), para provocar uma mudança na composição química de um composto ou um grupo de compostos. Antigamente, a oxidação química geralmente era usada para reduzir a concentração de produtos orgânicos residuais, controlar odores, remover a amônia e reduzir o conteúdo bacteriano e virais de águas residuais. Oxidação química é especialmente eficaz para a eliminação de compostos odoríferos. Atualmente, é utilizada para melhorar a tratabilidade de compostos orgânicos não biodegradáveis (refratários), eliminar os efeitos inibidores de certos compostos orgânicos e inorgânicos para o crescimento microbiano e reduzir ou eliminar a toxicidade de certos compostos orgânicos e inorgânicos para o crescimento microbiano e flora aquáticas (Tchobanoglous *et al*, 2004).

Para tratamento de lixiviado de aterros novos, técnicas de tratamento biológico podem produzir um desempenho razoável com relação à DQO, $N-NH_3$ e os metais pesados. Ao tratar lixiviado estabilizado (menos biodegradáveis), tratamentos físico-químicos têm sido adequados quando combinados com tratamento biológico a fim de remover as substâncias orgânicas refratárias. Os processos físico-químicos e biológicos integrados, seja qual for a ordem, melhoram os inconvenientes dos processos individuais que contribuem para uma maior eficácia no sistema de tratamento. No entanto, com a rigidez dos padrões da descarga contínua na maioria dos países e do envelhecimento dos aterros com lixiviados mais e mais estabilizados, os tratamentos convencionais (biológico ou físico-químico) não são suficientes para atingir o nível de purificação necessário visando a redução completa do impacto negativo dos lixiviados gerados nos aterros sanitários no ambiente. Isso implica que novas alternativas de tratamento deveriam ser propostas. Portanto, nos últimos 20 anos, os tratamentos mais eficazes são baseados em tecnologia de membrana, que surgiram como uma alternativa viável de tratamento para cumprir os regulamentos de qualidade da água na maioria dos países (Renou *et al*, 2008).

2.4.3 Tratamento avançado de lixiviado

Tratamentos avançados são definidos como um tratamento adicional necessário para remover constituintes suspensos, coloidais e dissolvidos, remanescentes do tratamento

secundário. Constituintes dissolvidos podem variar de íons inorgânicos relativamente simples, como cálcio, potássio, sulfato, nitrato e fosfato, a um número crescente de compostos orgânicos sintéticos altamente complexos (Tchobanoglous et al, 2004).

Os tratamentos avançados aplicados aos lixiviados são processos que utilizam membranas, tais como Microfiltração (MF), Ultrafiltração (UF), Biorreatores de Membranas (MBR), Nanofiltração (NF) e Osmose Reversa (OR), Processos Oxidativos Avançados (POAs) e Remoção de amônia por arraste de ar (“*air stripping*”).

Microfiltração: apesar de ser um processo que não pode ser utilizado sozinho, a MF se torna interessante por ser um método eficaz para eliminar os colóides e o material em suspensão, podendo ser empregado no pré-tratamento para outro processo de membrana (UF, NF ou OR) ou em parceria com tratamentos químicos (Renou *et al*, 2008).

Ultrafiltração: a UF é eficaz para eliminar as macromoléculas e as partículas, mas é fortemente dependente do tipo de material que constitui a membrana. UF pode ser usado como uma ferramenta para fracionar a matéria orgânica de modo a avaliar a massa molecular dos poluentes orgânicos presente em um determinado lixiviado. Além disso, os testes com membranas permeáveis podem dar informações sobre a recalcitrância e toxicidade das frações permeadas (Renou *et al*, 2008).

Biorreatores de Membranas (MBR): são constituídos por um reator biológico (biorreator) com suspensão de biomassa e separação de sólidos por membranas de microfiltração, imersas no biorreator, com tamanho dos poros nominais que variam de 0,1 a 0,4 µm. Sistemas de Biorreatores de Membranas podem ser utilizados com biorreatores de crescimento suspenso aeróbios ou anaeróbios para separar águas residuais tratadas a partir da biomassa ativa. O efluente tratado é retirado do biorreator com a aplicação de um vácuo, da ordem de 50 kPa (Tchobanoglous et al, 2004).

Nanofiltração: a tecnologia da NF oferece uma abordagem versátil para atender os múltiplos parâmetros da qualidade da água, tais como o controle de orgânicos, inorgânicos e contaminantes microbianos. No entanto, a aplicação com sucesso da tecnologia de membrana requer um controle eficiente de incrustação da membrana, vários componentes presentes no lixiviado podem contribuir para a incrustação das membranas, como substâncias orgânicas dissolvidas e inorgânicas, partículas coloidais e suspensas (Renou *et al*, 2008).

Osmose reversa: conforme Renou *et al* (2008) este parece ser um dos métodos mais promissores e eficientes entre os novos processos de tratamento de lixiviados dos aterros sanitários. Por meio da OR é possível remover sólidos suspensos, substâncias coloidais, substâncias orgânicas, substâncias orgânicas refratárias, compostos orgânicos voláteis, amônia,

nitrato, fósforo, sólidos dissolvidos totais e bactérias (Tchobanoglous et al, 2004). No entanto, dois problemas foram identificados e permanecem até hoje, as incrustações na membrana, que requer pré-tratamento intensivo ou limpeza química das membranas, resultando em uma curta vida útil das membranas e diminuição da eficácia do processo, e a geração de um grande volume de concentrado, que não é utilizável e tem que ser descarregado ou ainda tratado (Renou *et al*, 2008).

Processos Oxidativos Avançados: caracterizam-se por transformar a grande maioria dos contaminantes orgânicos em CO₂ e H₂O, ácidos orgânicos e ânions inorgânicos por meio de reações de degradação que envolvem espécies transitórias oxidantes, principalmente o radical hidroxila (HO•) que possui alto potencial de oxidação. As vantagens do POAs em relação a outros processos são: mineralizam os poluentes recalcitrantes e/ou os tornam passíveis de biodegradação; possuem forte poder oxidante, com cinética de reação elevada; geralmente não necessitam um pós-tratamento ou disposição final; quando da produção de oxidante em suficiência mineralizam os contaminantes não formando subprodutos; em muitos casos consomem menos energia, acarretando um menor custo (Silva, 2013).

Müller *et al* (2015), estudaram a viabilidade do processo de fotoeletrooxidação como uma técnica alternativa para pré-tratamento de lixiviado antes de processos biológicos. Para este trabalho foi utilizado amostras de lixiviado proveniente de um aterro sanitário do sul do Brasil, que recebe cerca de 2.000 toneladas de resíduos por dia, e utilizado um reator em escala laboratorial. Os efeitos da densidade e potência da lâmpada foram investigados, onde se constatou que a remoção de DQO aumenta diretamente com a potência da lâmpada e a densidade de corrente. Verificou-se que, usando uma lâmpada de 400 W de potência e uma densidade de corrente de 31,5 mA.cm⁻², é possível atingir uma eficiência de remoção de 53% de nitrogênio amoniacal e 61% de demanda química de oxigênio. Desta forma, com a redução destes poluentes anteriormente, é possível uma melhora na eficiência com o tratamento biológico.

Remoção de amônia por arraste de ar (“*air stripping*”): Hoje em dia, o método mais comum para a eliminação de uma alta concentração de N-NH₃ está envolvido em tecnologias de tratamento de águas residuais por remoção por ar. Altos níveis de nitrogênio amoniacal são normalmente encontrados nos lixiviados dos aterros e a remoção de amônia por aeração mecânica pode trazer bons resultados na eliminação deste poluente, que pode aumentar a toxicidade de águas residuais. Para este método ser eficiente, altos valores de pH devem ser utilizados e a fase gás deve ser tratada com H₂SO₄ ou HCl. O desempenho deste processo pode ser avaliado em termos da eficiência na remoção do nitrogênio amoniacal. Porém, a maior

preocupação sobre este processo é a liberação de $N-NH_3$ na atmosfera, de modo a causar grave poluição do ar se a amônia não for adequadamente absorvida com o H_2SO_4 ou HCl (Renou *et al*, 2008). Outra desvantagem é a escala de carbonato de cálcio na torre de extração quando cal é utilizada para ajuste do pH. Uma vez que o lixiviado de aterro mais antigo contém elevada alcalinidade, assim como um forte sistema de tamponamento de pH, antes e depois da extração, o processo irá consumir uma grande quantidade de álcali e ácido, uma enorme quantidade de carbonato precipitado é geralmente formado no processo e pode causar problemas de operação e manutenção graves. Além disso, uma grande torre de extração será necessária devido à formação de espuma quando $N-NH_3$ é retirado do lixiviado bruto (Li *et al*, 1999).

2.4.4 Processos combinados para tratamento de lixiviado

Devido à complexidade da composição dos lixiviados, que é bastante variável e heterogênea, surgiram muitos estudos que avaliam os processos combinados para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário.

Hasar *et al* (2009) apresentaram um sistema de tratamento para lixiviado de um aterro localizado em Diarbaquir, Turquia, com propriedades de lixiviado bem novo, apresentando uma variação de 3-10% na relação entre DBO/DQO e concentração de amônia variando ao longo de um intervalo de 1.100-2.150 mg/l. O estudo sugeriu a configuração de um sistema de tratamento de lixiviado contendo remoção de amônia por arraste de ar, coagulação/floculação, MBR sob condição aeróbica/anóxica (MBR Aer/An) e OR, em que os objetivos propostos eram avaliar o desempenho de coagulação como um pré-tratamento para lixiviados, o potencial da remoção de amônia por arraste de ar sob diferentes condições, o desempenho do biorreator de membranas após a coagulação e a remoção da amônia, o efeito do tempo de retenção de sólidos (TRS) na performance MBR Aer/An, a relação entre a viabilidade e DQO inerte no MBR Aer/An e a qualidade do efluente final utilizando OR como um pós-tratamento para remoção de matéria orgânica residual após MBR Aer/An. Com o processo de coagulação/floculação foi atingido uma remoção de 36% de DQO e 46% de Sólidos Suspensos, após verificou-se uma remoção de 90% de DQO e 92% de nitrogênio total utilizando o MBR Aer/An, com um TRS de 30 dias. As concentrações de DQO e nitrogênio inorgânico total (não considerando nitrogênio orgânico) com o MBR Aer/An reduziram para 450 e 40 mg/l, respectivamente, por oxidação orgânica e significativo processos de nitrificação/desnitrificação. Com a OR aplicada ao efluente recolhido do MBR Aer/An apresentou-se um efluente de alta qualidade onde o DQO foi reduzido para menos do que 4,0 mg/l no TRS de 30 dias.

Moravia *et al* (2013) avaliaram um sistema de tratamento de lixiviado por POAs por reagente Fenton combinado com processos de separação por membranas (PSM), neste caso utilizando a MF e a NF. O lixiviado utilizado no experimento foi originado do Aterro Sanitário da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos – CTRS, localizado em Belo Horizonte/MG, Brasil, que gera aproximadamente 300 m³/dia de lixiviado com diferentes idades e características. Para este trabalho foi utilizado o lixiviado bruto coletado no tanque de equalização que recebe lixiviado de 9 anos, sendo estabilizado. Através do tratamento proposto foi possível alcançar os parâmetros estabelecidos na legislação, com exceção do nitrogênio. Apesar da concentração de nitrogênio estar acima do limite, o trabalho apresentou uma remoção significativa deste poluente. Observou-se uma eficiente remoção nos parâmetros de DQO, cor e substâncias húmicas, que alcançaram 63%, 76% e 50%, respectivamente, para condições otimizadas (1,7 gH₂O₂/gDQO_{lixiviado bruto}; FeSO₄:H₂O₂ = 1:5,3; pH = 3,8; condições de reação = 115rpm/28 min). Desta forma, foi possível concluir que o sistema de POA em conjunto com PSM é uma alternativa potencial para tratamento de lixiviado de aterro com foco na reutilização da água, caracterizando-se como uma solução superior rápida, compacta e eficiente na remoção de poluentes quando comparado com sistemas convencionais.

Dolar *et al* (2016) propuseram a investigação do tratamento do lixiviado estabilizado de um aterro sanitário antigo localizado em Zagreb, capital da Croácia, combinando Coagulação/UF/NF-OR e adsorção/UF/OR-NF a fim de alcançar melhores características no tratamento por membranas NF/OR. A vazão de lixiviado gerada no aterro avaliado fica entre 1.000 m³/dia e 21.000 m³/dia durante o verão e o inverno, respectivamente. Os parâmetros analisados foram: condutividade, turbidez, DQO, pH, carbono total (CT), carbono inorgânico (CI), COT, amônia (NH₄⁺ – N), cloreto (Cl⁻), fluoreto (F⁻), nitrito (NO₂⁻), nitrato (NO₃⁻), sulfato (SO₄²⁻), brometo (Br⁻) e metais pesados. Através do estudo verificou-se que a coagulação proporcionou melhor eficiência para remoção de compostos orgânicos (DQO e COT) e da turbidez do que a adsorção. Para os demais parâmetros monitorados os resultados foram relativamente semelhantes e muito diversificados. A redução da amônia foi relativamente fraca para ambos os pré-tratamentos, ficando cerca de 15%. A ultrafiltração foi ferramenta útil para reduzir a incrustação da membrana. Ambas etapas de pré-tratamento mostraram incrustação reversível uma vez que o fluxo recuperado ficou muito perto do fluxo inicial das membranas OR/NF. Em comparação com os resultados obtidos para os parâmetros medidos, os tratamentos de membranas de OR e NF membranas apresentaram bom desempenho (na maioria dos casos > 90%).

2.4.5 Reuso do lixiviado após tratamento

Uma das maneiras mais utilizadas como reuso do lixiviado é a recirculação do mesmo sobre a célula de resíduos sólidos urbanos em operação, desta forma fomentando o uso do aterro como um verdadeiro biorreator de tratamento desse líquido. Essa forma de gerenciamento permite a ativação da degradação microbológica do percolado, por meio de intensificação no transporte de nutrientes, substrato e produtos metabólicos, possibilitando também a minimização de algumas variações temporais da quantidade de lixiviado produzida, ligada diretamente à precipitação, e, por consequência, da vazão afluyente ao sistema de tratamento deste, a exemplo de uma lagoa de tratamento anaeróbio (Barros, 2012).

Guérin *et al* (2004) mencionaram ainda como vantagens da recirculação do lixiviado a redução do tempo de estabilização dos resíduos com a diminuição dos riscos ambientais a longo prazo, como, por exemplo as emissões de gases com efeito estufa ou poluição das águas subterrâneas, o que acarreta uma aceleração da produção do biogás durante o tempo de operação e torna a recuperação de biogás mais economicamente viável. Porém os autores afirmam que a principal dificuldade na recirculação do lixiviado em aterro sanitário consiste em controlar a quantidade e a difusão de percolado a ser injetado, a fim de atingir teores de umidade homogêneos e ideais na massa de resíduos em toda a célula (Guérin *et al*, 2004).

Conforme Bidone (2007) o líquido precisa ser acumulado para ser recirculado. O lixiviado acumulado, cuja geração ocorreu durante a fase metanogênica da massa sólida, resulta de um processo de estabilização anaeróbia parcial ou completa. Estando este líquido completamente estabilizado, sua recirculação sobre a massa de resíduos em fase inicial de estabilização possivelmente estimularia a metanogênese da massa sólida, consequência principal da faixa de pH em que o líquido estabilizado normalmente se enquadra, próximo à neutralidade, favorável ao desenvolvimento do processo. No entanto, se o lixiviado encontrasse ainda na fase ácida, sua recirculação provavelmente acentuaria a acidificação do meio, desta forma inibindo a completa metanogênese na massa de resíduos, principalmente se esta ainda estiver iniciando sua estabilização, situação que se verifica no início da disposição de resíduos na célula.

Justim e Zupancic (2009) fizeram um estudo sobre a recirculação do lixiviado após o tratamento por *wetland* para a irrigação da vegetação sobre o aterro encerrado. Os autores verificaram que a cobertura vegetal da célula cresceu rapidamente e mostrou índices mais elevados em comparação com a vegetação circundante. Os resultados mostraram que em condições controladas (quantidade suficiente de precipitação - aproximadamente 1000

milímetros por ano, baixas concentrações de metais pesados) o lixiviado atua como um bom fertilizante para a cobertura vegetal do aterro (Justim e Zupancic, 2009).

A recirculação de lixiviados é o procedimento mais utilizados para melhorar a estabilização do aterro, aumentando o teor de umidade, melhorando a qualidade do lixiviado gerado, aumentando a produção de metano, melhorando o assentamento dos resíduos e baixando a concentração de metais pesados. Para melhorar a qualidade do lixiviado e acelerar a estabilização do aterro, estudos sobre a recirculação de lixiviado tem utilizados altas taxas de recirculação ($> 10\%$ de volume total de resíduos/dia), porém o grande volume de lixiviado recirculado pode impor dificuldades, tais como o aumento do risco de vazamentos e altos custos de operação (Huang *et al*, 2016).

Huang *et al* (2016) propuseram um estudo onde simularam uma célula de aterro com um tanque de fibra de vidro reforçado com plástico (FRP) contendo RSU e uma planta piloto com reator em batelada sequencial de duas fases anaeróbias (anSBR) para tratar o lixiviado coletado do tanque de FRP com baixa taxa de recirculação do lixiviado ($< 0,3\%$ do total do volume de resíduos/dia). O objetivo foi avaliar a eficácia da baixa taxa de recirculação de lixiviados e o tratamento anaeróbio de duas fases no reforço da estabilização do aterro sanitário e investigar o desenvolvimento de comunidades microbianas dentro do sistema anSBR de duas fases. Notou-se já na célula do aterro uma considerável atividade acidogênica antes do reator acidogênico, o desenvolvimento das comunidades microbianas nos dois reatores foi influenciado pela fase ácida da célula do aterro. O DQO meia-vida foi alcançado em 10 semanas com o sistema da planta piloto, indicando uma rápida estabilização orgânica do lixiviado do aterro. Com isso, verificou-se que acrescentando um tratamento externo de anSBR para lixiviado do aterro, pode ser conseguida uma rápida estabilização do aterro quando a taxa de recirculação é relativamente baixa.

Segundo Huang *et al* (2016), geralmente o aumento de escala de degradação anaeróbia é muito mais fácil do que a degradação aeróbica, devendo-se notar que deve ser fornecida uma mistura adequada de sólidos em suspensão e temperatura ótima com gradientes minimizadas para assegurar a degradação anaeróbica com sucesso. Em áreas tropicais, a manutenção de uma temperatura operacional ideal e constante impõe menos ou nenhum custo adicional para o aquecimento do reator anaeróbio. Em outras áreas, no entanto, talvez seja necessário um aquecedor adicional para garantir o melhor desempenho de reatores anaeróbios durante as estações mais frias. A baixa taxa de circulação de lixiviados utilizada no estudo minimiza o custo de operação e risco de vazamento de lixiviado. Com a estabilização rápida e baixa taxa

de recirculação do lixiviado o custo total de operação é ainda mais reduzido em comparação com a gestão convencional de lixiviado de aterro sanitário.

Estudos de investigação da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency – EPA*) demonstram que aterros sanitários usando recirculação de lixiviado podem ser considerados reatores biológicos, desta forma, pode ser projetado e operado para aumentar a taxa de estabilização de resíduos. Este processo aumenta significativamente a taxa de biodegradação dos resíduos (semelhante ao composto anaeróbio), reduzindo deste modo o período de estabilização de resíduos de 5 a 10 anos, em vez de 30 ou mais anos para um local convencional de "deposição a seco" (EPA, 2016).

2.5 Gestão e legislação de resíduos sólidos urbanos na Europa

De acordo com as Diretrizes da União Europeia (UE) em 2008 foi exigido que os Estados-membros adotassem legislações específicas sobre reciclagem de resíduos, considerando o uso de aterros o último recurso para gestão destes, priorizando a minimização na geração dos resíduos e novas iniciativas para reuso destes materiais (Cucchiella *et al*, 2014).

Desde 1975, com a Diretiva 75/442/CEE, a União Europeia introduz o conceito de hierarquia de resíduos na política europeia de resíduos, a minimização de resíduos é enfatizada e ações políticas têm que ser reguladas para garantir um elevado nível de proteção para o ambiente e a saúde humana (Cucchiella *et al*, 2014).

A Diretiva 75/442/CEE incentiva a diminuição das quantidades de certos resíduos, o tratamento de resíduos visando a sua reciclagem e reutilização e a recuperação de matérias-primas e/ou produção de energia a partir de certos resíduos. A incineração é contemplada como uma recuperação eficiente de energia. A Figura 5 apresenta como é considerada a hierarquia da gestão de resíduos na União Europeia (Cucchiella *et al*, 2014).

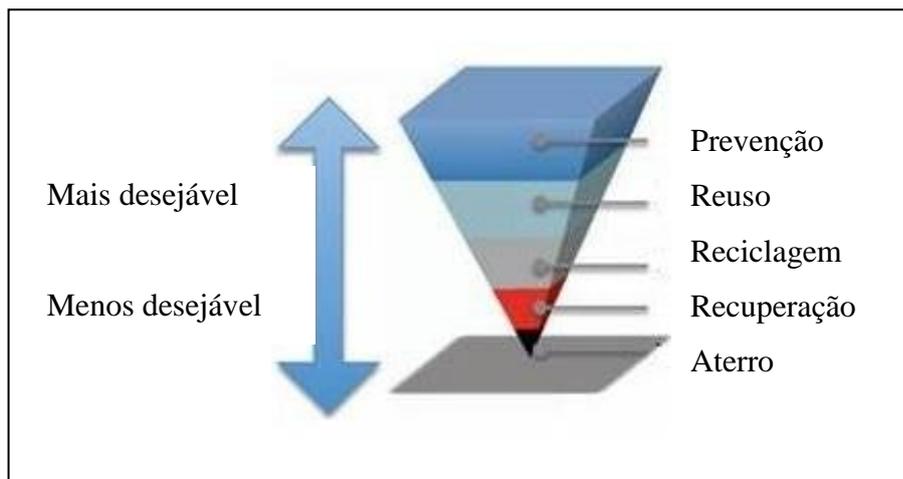


Figura 5: Hierarquia da gestão de resíduos.

Fonte: Cucchiella *et al.*, 2014.

2.5.1 Destinação de resíduos sólidos urbanos na União Europeia

Baseados nos dados da Eurostat, divulgados pela *Confederation of European Waste-to-Energy Plants* (CEWEP) para tratamento de resíduos urbanos em 2014, são apresentados para cada membro da União Europeia a participação de resíduos em aterros, incinerados, reciclados e resíduos compostados. Alemanha, Bélgica, Suécia, Dinamarca e Holanda têm um percentual de 1% de resíduos depositados em aterros, já em Portugal 49% dos resíduos são dispostos em aterros sanitários, sendo considerada uma participação de 21% mais alta em relação à média europeia. A aplicação da legislação da União Europeia determinou a redução da participação de aterro para os membros da UE. Não é permitido implantar novos aterros na Áustria, Bélgica, Dinamarca, Estónia, Finlândia, França, Alemanha, Hungria, Itália, Lituânia, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Polónia, Eslovénia e Suécia. A Grécia é o único Estado-membro antigo onde o aterro tem um percentual acima de 80%, todos os outros Membros com um uso tão alto de aterro são Estados-membros novos, sendo que na Letónia 92% dos resíduos são destinados para aterro (CEWEP, 2016).

Na Figura 6 é demonstrada a forma de disposição e tratamento dos resíduos urbanos nos 28 Estados-membros da União Europeia mais Suíça, Noruega e Islândia no ano de 2014, com exceção dos países Irlanda, Grécia e Romênia que representa o ano de 2013 (CEWEP, 2016).

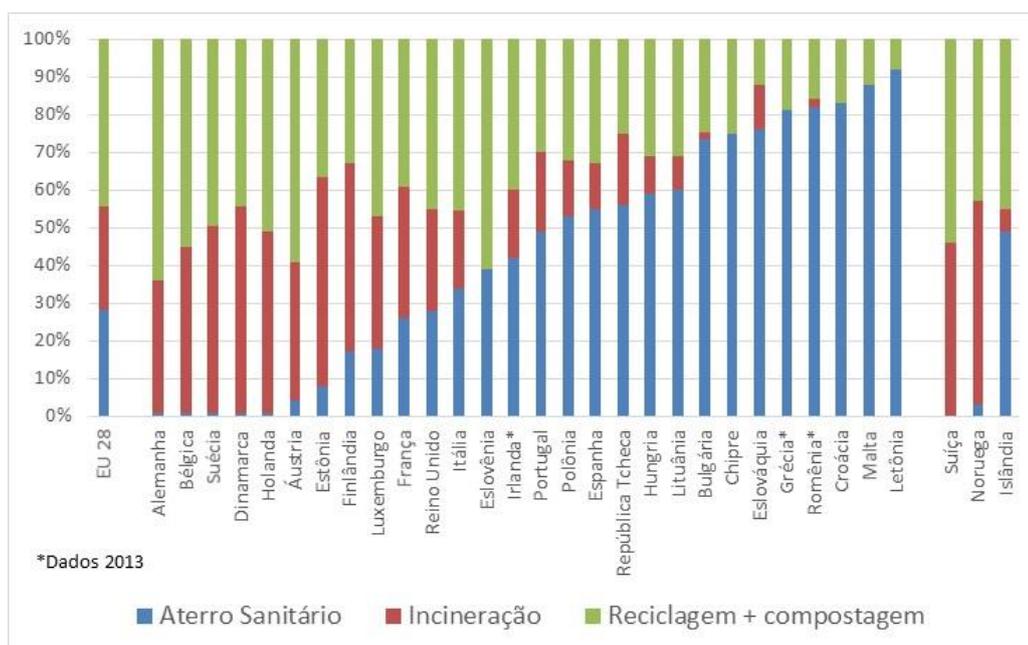


Figura 6: Tratamento dos resíduos urbanos em 2014 nos 28 Estados-membros da União Europeia mais Suíça, Noruega e Islândia.

Fonte: CEWEP, 2016.

2.5.2 Legislação Europeia para aterros

De acordo com a Diretiva 1999/31/CE os aterros são classificados em três classes: aterros para resíduos perigosos; aterro para resíduos não perigosos e aterro para resíduos inertes. Esta ainda determina que não podem ser aceitos em aterros os seguintes resíduos: resíduos líquidos; resíduos que, nas condições de aterro, sejam explosivos, corrosivos, oxidantes, muito inflamáveis ou inflamáveis, conforme determinado na Diretiva 91/689/CEE; resíduos provenientes de estabelecimentos hospitalares, médicos ou veterinários que sejam infecciosos de acordo com a Diretiva 91/689/CEE; pneus usados inteiros; quaisquer outros tipos de resíduos que não satisfaçam os critérios de admissão determinados no anexo II da referida diretiva (Europa, 1999).

Conforme especificado no art. 15º da Diretiva 1999/31/CE, de três em três anos cada Estado-membro enviará à Comissão um relatório sobre a execução da presente diretiva. Este relatório deve ser elaborado com base em um questionário ou esquema elaborado pela Comissão, que será enviado aos Estados-membros seis meses antes do início do período abrangido pelo relatório (Europa, 1999).

No Anexo I da Diretiva 1999/31/CE são apresentadas as condições gerais para todas as classes de aterros, especificando itens mínimos exigidos para implantação dos aterros, conforme segue:

1. Localização: a instalação de um aterro só pode ser autorizada se foram atendidas as características do local no que se refere às distâncias da área do aterro às áreas residenciais e recreativas, cursos d'água e outras zonas agrícolas e urbanas; à existência de zonas de águas subterrâneas ou costeiras, ou áreas protegidas da natureza; às condições geológicas e hidrogeológicas da área; aos riscos de cheia, de desabamento de terra ou de avalanche; à proteção do patrimônio natural ou cultural da zona, ou as medidas corretivas a serem implementadas indicarem que o aterro não apresenta qualquer risco grave para o ambiente;
2. Controle de águas e gestão do lixiviado: deverá ser controlada a infiltração no aterro das águas de precipitação; evitar a infiltração de águas superficiais e/ou subterrâneas nos resíduos depositados; captar águas contaminadas e lixiviados; tratar as águas contaminadas e lixiviados captados no aterro segundo as normas exigidas para a sua descarga;
3. Proteção do solo e das águas: os aterros devem ser localizados de forma a obedecer as condições necessárias para evitar a poluição do solo, das águas subterrâneas ou das águas superficiais e para proporcionar uma coleta eficaz dos lixiviados, devendo a proteção do solo, das águas subterrâneas e das águas superficiais ser assegurada utilizando em combinação uma barreira geológica e um forro inferior durante a fase ativa de exploração e uma barreira geológica e um forro de cobertura superior durante a fase passiva de encerramento e manutenção após o encerramento;
4. A base e os taludes do aterro devem constituir uma camada mineral que satisfaça as condições de permeabilidade, apresentadas através do coeficiente de permeabilidade (K), e espessura de efeito combinado em termos de proteção do solo e das águas subterrâneas e de superfície, pelo menos equivalente à que resulta das seguintes condições:
 - Aterros para resíduos perigosos: $K \leq 1,0 \text{ a } 10^{-9} \text{ m/s}$; espessura $\geq 5 \text{ m}$;
 - Aterros para resíduos não perigosos: $K \leq 1,0 \text{ a } 10^{-9} \text{ m/s}$; espessura $\geq 1 \text{ m}$;
 - Aterros para resíduos inertes: $K \leq 1,0 \text{ a } 10^{-7} \text{ m/s}$; espessura $\geq 1 \text{ m}$.Sempre que a barreira geológica não ofereça de modo natural as condições acima descritas, poderá ser complementada e reforçada artificialmente por outros meios dos quais resulte uma proteção equivalente, sendo que esta não poderá ser de espessura inferior a 0,5 m;
5. O aterro deverá ser provido de um sistema de impermeabilização e de coleta de lixiviados, de modo a garantir que a acumulação de lixiviados no fundo do aterro se

mantenha a um nível mínimo, sendo constituída de forro de impermeabilização artificial e camada de drenagem $\geq 0,5$ m;

6. Controle de gases: devem ser tomadas medidas adequadas para controlar a acumulação e dispersão dos gases do aterro. Os gases de todos os aterros que recebem resíduos biodegradáveis devem ser captados, tratados e utilizados, caso estes não possam ser utilizados para produção de energia, deverão ser queimados.
7. Deverão ser tomadas medidas para reduzir ao mínimo as perturbações e perigos para o ambiente provocados pelo aterro por emissão de cheiros e poeiras, elementos dispersos pelo vento, ruído e tráfego, aves, roedores e insetos, formação de aerossóis e incêndios;
8. O aterro deverá permanecer com portões fechados, mantendo controle de acesso à área.

O Anexo III da Diretiva 1999/31/CE, apresenta os processos de acompanhamento e controle nas fases de exploração e encerramento, determinando os processos mínimos para controle da área, conforme segue:

1. Dados meteorológicos: no relatório enviado à Comissão deverá ser apresentado método de coleta dos dados meteorológicos.

Se os Estados-membros decidirem que os balanços hídricos são um instrumento eficaz para avaliar se há formação de lixiviado na massa do aterro ou se a instalação apresenta fugas, recomenda-se a coleta dos seguintes dados das operações de controle do aterro ou da estação meteorológica mais próxima, conforme apresentado na Tabela 5, exigida pelas autoridades:

Tabela 5: Frequência da coleta dos dados meteorológicos.

	<i>Fase de exploração</i>	<i>Fase de manutenção após encerramento</i>
Volume da precipitação	Diariamente	Diariamente, além dos valores mensais
Temperatura	Diariamente	Média mensal
Direção e velocidade do vento dominante	Diariamente	Desnecessário
Evaporação	Diariamente	Diariamente, além dos valores mensais
Umidade atmosférica	Diariamente	Média mensal

Fonte: Diretiva 1999/31/CE

2. Dados sobre emissões, controle de águas, lixiviados e gases: deve-se proceder a coleta em pontos representativos de amostras de lixiviados, dos gases, em cada seção do aterro, e das águas de superfície, se presentes. O controle das águas superficiais, se existirem, deverá ser efetuado em pelo menos dois pontos, um a montante e outro a jusante do aterro, com frequência conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Frequência do controle de lixiviado, águas superficiais e gases.

	<i>Fase de exploração</i>	<i>Fase de manutenção após encerramento</i>
Volume dos lixiviados	Mensalmente	Semestralmente
Composição dos lixiviados	Trimestralmente	Semestralmente
Volume e composição das águas superficiais	Trimestralmente	Semestralmente
Emissões potenciais de gases e pressão atmosférica (CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S, H ₂ , etc.)	Mensalmente	Semestralmente

Fonte: Diretiva 1999/31/CE

3. Proteção das águas subterrâneas: as medições deverão fornecer informações sobre as águas subterrâneas susceptíveis de ser afetadas pela disposição dos resíduos, devendo ter pelo menos um ponto de medição localizado na região de infiltração e dois na região de escoamento. A amostragem deverá ser realizada no mínimo em três locais distintos antes da operação do aterro, para serem estabelecidos valores de referência para as futuras amostragens, com frequência conforme apresentada na Tabela 7.

Tabela 7: Frequência do controle das águas subterrâneas

	<i>Fase de exploração</i>	<i>Fase de manutenção após encerramento</i>
Níveis das águas subterrâneas	Semestralmente	Semestralmente
Composição das águas subterrâneas	Frequência específica do local	Frequência específica do local

Fonte: Diretiva 1999/31/CE

4. Topografia da instalação: dados sobre o aterro de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8: Frequência de dados do aterro

	<i>Fase de exploração</i>	<i>Fase de manutenção após encerramento</i>
Estrutura e composição do aterro	Anualmente	
Comportamento do aterro relativamente a eventuais assentamentos	Anualmente	Anualmente

Fonte: Diretiva 1999/31/CE

2.5.3 Destinação de resíduos sólidos urbanos em Portugal

Segundo Trotta (2011), em Portugal, até 1996, o gerenciamento dos RSU era de responsabilidade das Prefeituras e compreendia apenas as etapas de coleta e disposição, sem haver qualquer tipo de triagem. Os resíduos gerados eram encaminhados para lixões, depositados diretamente sobre o solo, sem haver proteção, e eram queimados para redução de seu volume, sem qualquer controle ambiental e de saúde pública. Havia cerca de 300 lixões, onde resíduos industriais, hospitalares e urbanos eram depositados em um mesmo local.

Em 1996 foi aprovado o Plano Estratégico Setorial dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), promovendo uma grande alteração na gestão dos RSU, tendo como prioridades o encerramento e recuperação ambiental dos lixões, criação e construção de infraestrutura de coleta, transporte, tratamento e destino final dos RSU e similares e criação da base de apoio ao desenvolvimento da coleta seletiva e da reciclagem (Trotta, 2011).

O PERSU I, aprovado em julho de 1997, compreendia o período de 1997 a 2005, e teve como objetivo a definição de um planejamento estratégico para a gestão dos RSU gerados em Portugal, no qual foram definidas as seguintes orientações que deveriam ser implementadas: prevenção, tratamento, educação, reciclagem, gestão e exploração, e monitoramento (Trotta, 2011).

No primeiro momento foram realizados grandes investimentos em infraestrutura, tais como: aterros sanitários, estações de transferência, centros de triagem, unidades de valorização orgânica e unidades de incineração com produção de energia elétrica. Além disso, foram criados três tipos de sistemas com o objetivo de otimizar os recursos financeiros e reduzir os custos da gestão dos RSU:

- Sistema Municipal: gestão realizada por um único município ou uma associação de municípios que não façam parte de um sistema multimunicipal e que podem ser associados a empresas com qualquer tipo de capital.

- Sistema Multimunicipal: gestão que atenda pelo menos dois municípios, e de capitais majoritariamente públicos, sendo a sua criação e a concessão obrigatoriamente objeto de Decreto-Lei.
- Sistema Intermunicipal: gestão realizada por uma associação de municípios, por meio de uma empresa intermunicipal, concessionário ou não.

Desta forma os municípios organizaram-se e formaram 30 (trinta) sistemas de gestão de RSU, sendo 14 (quatorze) sistemas multimunicipais e 16 (dezesseis) sistemas intermunicipais, além de 6 (seis) usinas de compostagem e 42 (quarenta e dois) aterros sanitários distribuídos pelo país.

Em 2005 foi realizado o monitoramento do PERSU I, onde se constatou que, apesar de alguns objetivos não terem sido alcançados, o balanço foi positivo, devido à criação dos sistemas multimunicipais e intermunicipais de gestão dos RSU e os altos investimentos realizado em infraestrutura (Trotta, 2011)

De acordo com Trotta (2011), além da erradicação dos lixões, realizada em um curto espaço de tempo, foi possível implementar e disseminar o sistema de coleta seletiva, fundamental para o cumprimento dos objetivos da reciclagem de resíduos.

A Figura 7 apresenta a comparação dos resultados obtidos no período e as metas definidas para este, onde se observa que alguns aspectos ficaram abaixo dos objetivos quantitativos definidos, conforme segue:

- A extinção dos lixões foi atingida;
- A incineração se manteve em 21%, estando ligeiramente abaixo dos 22% determinados;
- Não houve a evolução prevista para as Estações de Confinamento Técnico de Resíduos Urbanos (ECTRU), sendo que 63% dos RSU gerados foram dispostos em aterros sanitários, ultrapassando os 23% definidos no PERSU I;
- A valorização orgânica, por meio da compostagem, abrangeu 7% dos RSU, ficando abaixo dos 25% estipulados;
- Os dados apresentados para a reciclagem referem-se a coleta seletiva, que apresentou o percentual de 9%, estando abaixo dos 25% definidos no PERSU I;
- Observou-se que não houve redução na geração dos resíduos.

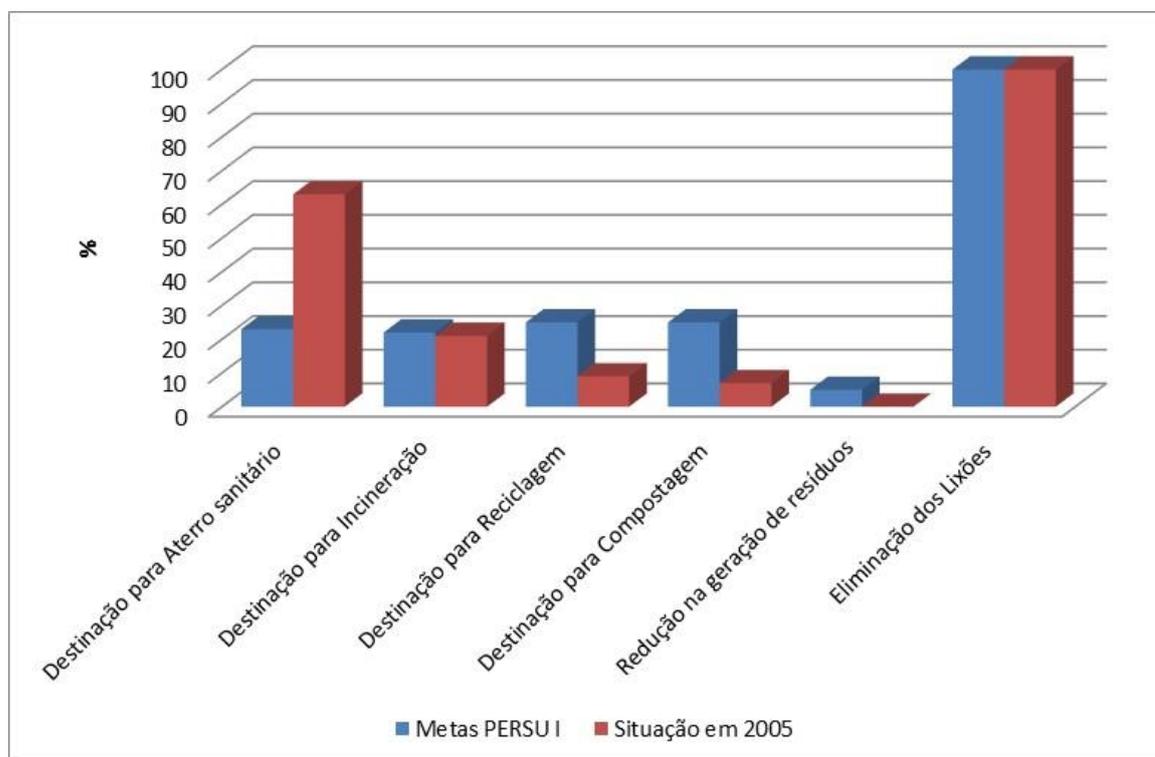


Figura 7: Comparação das metas definidas no PERSU I e os resultados obtidos em 2005.

Fonte: Trotta (2011)

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente, em 2005 foram gerados em Portugal cerca de 4,5 milhões de toneladas de RSU, sendo cerca de 1,24 kg/hab/dia, conforme dados do Sistema de Gestão da Informação sobre Resíduos (Trotta, 2011).

Para o período de 2006-2016, foi proposto o PERSU II, sendo uma revisão do PERSU I. Para a sua implementação foram definidos cinco eixos de atuação que devem ser seguidos durante o seu período de vigência: Prevenção – Programa Nacional; Sensibilização/mobilização dos cidadãos; Qualificação e otimização da gestão de resíduos; Sistema de informação como pilar de gestão dos RSU; Qualificação e otimização da intervenção das entidades públicas no âmbito da gestão de RSU (Trotta, 2011).

As orientações estratégicas do PERSU II estão alinhadas com o Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados (PIRSUE), aprovado em 2006 para fazer cumprir o atraso em Portugal das metas europeias de reciclagem e valorização. O PERSU II veio também rever a Estratégia Nacional de Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis Destinados aos Aterros (ENRRUBDA), publicada em 2003 para dar cumprimento às obrigações de desvio de aterro previstas na Diretiva 199/31/CE (PERSU II, 2007).

O PERSU II estabeleceu as seguintes linhas orientadoras estratégicas para a gestão de resíduos urbanos:

- Reduzir, reutilizar, reciclar;
- Separar na origem;
- Minimizar a disposição em aterro;
- A valorização energética da fração não reciclável;
- O Protocolo de Quioto como compromisso determinante na política de resíduos – redução das emissões de gases de efeito estufa;
- Informação validada a tempo de poder tomar decisões;
- A sustentabilidade dos sistemas de gestão de RSU.

De acordo com os dados do PERSU II, verifica-se a existência de 29 sistemas de gestão de RSU em Portugal distribuídos da seguinte forma:

- Região Norte: 12 (doze) sistemas sendo 7 (sete) multimunicipais;
- Região Centro: 5 (cinco) sistemas sendo 3 (três) multimunicipais;
- Região Lisboa e Vale do Tejo: 6 (seis) sistemas sendo 3 (três) multimunicipais;
- Região Alentejo: 5 (cinco) sistemas sendo 1 (um) multimunicipal;
- Região Algarve: 1 (um) sistema sendo este multimunicipal.

A Figura 8 apresenta os sistemas de gestão de resíduos multimunicipais e intermunicipais existentes em Portugal.



Figura 8: Sistemas de gestão de RSU em Portugal.

Fonte: PERSU II, 2007

A Figura 9 apresenta as metas previstas no PERSU II para a Estratégia Nacional de Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis destinados aos Aterros e para a disposição de resíduos urbanos biodegradáveis (RUB) em aterros sanitários entre os anos de 2006 e 2016, considerando um cenário moderado (PERSU II, 2007).

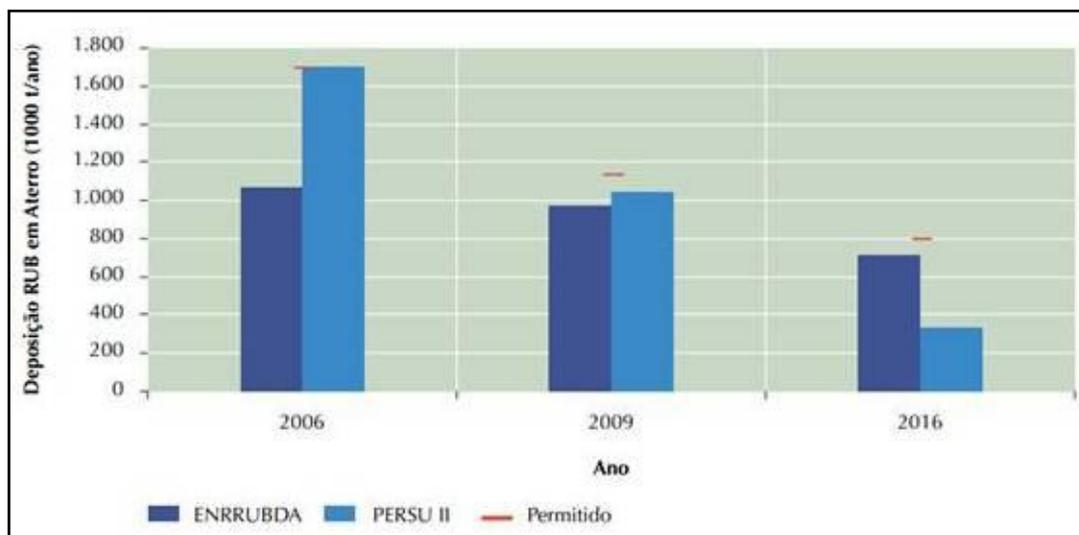


Figura 9: Metas previstas para ENRRUBDA e disposição de RUB em aterros (2006 – 2016).

Fonte: PERSU II, 2007

Diante das alterações ocorridas a nível dos sistemas de gestão de resíduos, a estratégia, objetivos e metas comunitárias definidas anteriormente, e à necessidade de alinhamento da política nacional de resíduos urbanos, considerou-se essencial proceder à revisão do PERSU II, sendo publicado pela Portaria n° 187-A em 17 de setembro de 2014 o Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (PERSU 2020) para o período 2014-2020 (APA, 2016).

Atualmente Portugal apresenta 23 sistemas de gestão de resíduos urbanos, 12 multimunicipais e 11 intermunicipais, conforme verificado na Figura 10.

O PERSU 2020 apresenta os seguintes objetivos (PERSU 2020, 2014):

- Prevenção da produção e periculosidade dos resíduos urbanos;
- Aumento da preparação para reutilização, da reciclagem e da qualidade dos recicláveis;
- Redução da disposição de resíduos urbanos em aterro;
- Valorização econômica e escoamento dos recicláveis e outros materiais do tratamento dos resíduos urbanos;
- Reforço dos instrumentos económico-financeiros;
- Incremento da eficácia e capacidade institucional e operacional do setor;

- Reforço da investigação, do desenvolvimento tecnológico, da inovação e da internacionalização do setor;
- Aumento da contribuição do setor para outras estratégias e planos nacionais.

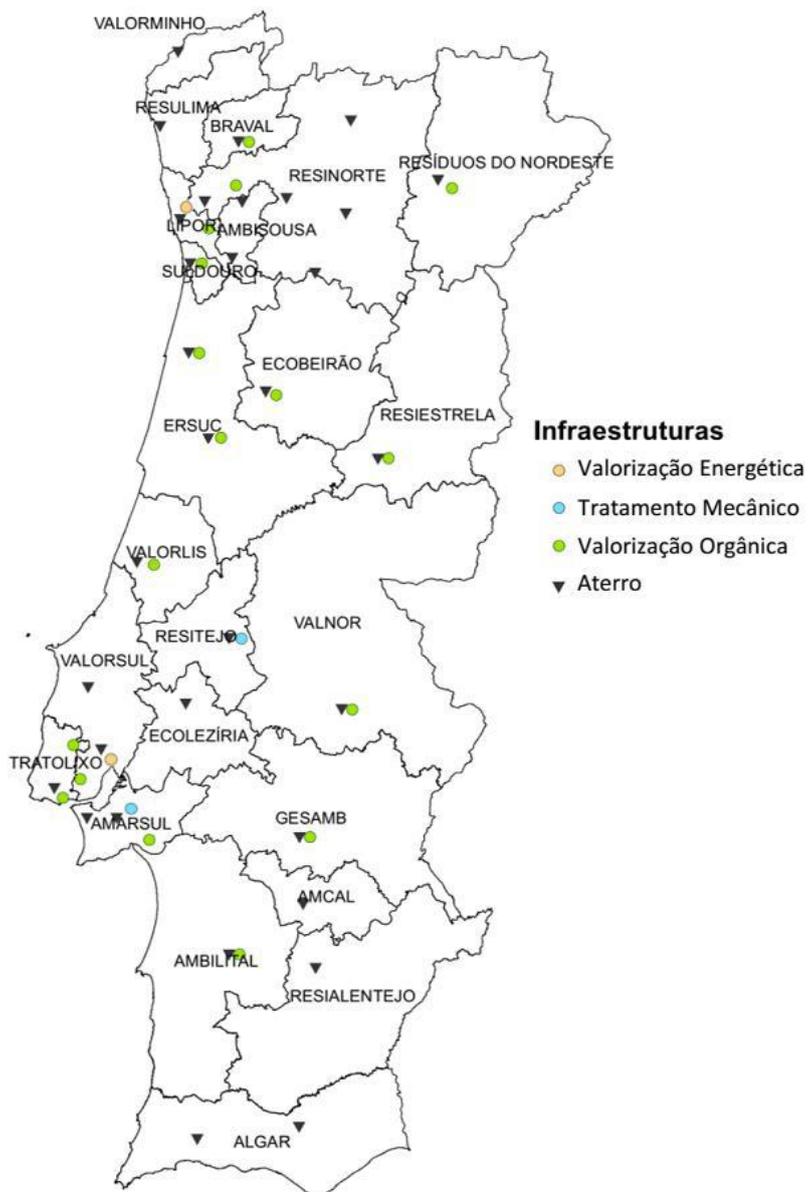


Figura 10: Mapa dos sistemas de gestão de resíduos urbanos e das infraestruturas de tratamento em Portugal Continental em dezembro de 2013

Fonte: PERSU 2020, 2014

Como metas o PERSU 2020 apresenta (PERSU 2020, 2014):

- Até 31 de dezembro de 2016, alcançar uma redução mínima da produção de resíduos por habitante de 7,6% em peso relativamente ao valor verificado em 2012.
- Até 31 de dezembro de 2020, alcançar uma redução mínima da produção de resíduos por habitante de 10% em peso relativamente ao valor verificado em 2012;
- Até 31 de dezembro de 2020, um aumento mínimo global para 50% em peso relativamente à preparação para a reutilização e a reciclagem de resíduos urbanos, incluindo o papel, o cartão, o plástico, o vidro, o metal, a madeira e os resíduos urbanos biodegradáveis
- Até 31 de dezembro de 2020 deverá ser garantida, a nível nacional, a reciclagem de, no mínimo, 70%, em peso dos resíduos de embalagens.
- Até julho de 2020, os resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro devem ser reduzidos para 35% da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995.

A Figura 11 apresenta a geração em Mt e taxa de geração por kg/habitante.ano de resíduo urbano em Portugal para o período de 2002 a 2012 (PERSU 2020, 2014).



Figura 11: Geração e taxa de geração por habitantes de resíduos urbanos no período de 2002 a 2012 em Portugal.

Fonte: PERSU 2020, 2014

A

Figura 12 apresenta a quantidade de resíduos urbanos encaminhados para diferentes tipos de destinação final: aterro, valorização energética, valorização orgânica e reciclagem em Portugal para o período de 2002 a 2012 (PERSU 2020, 2014).

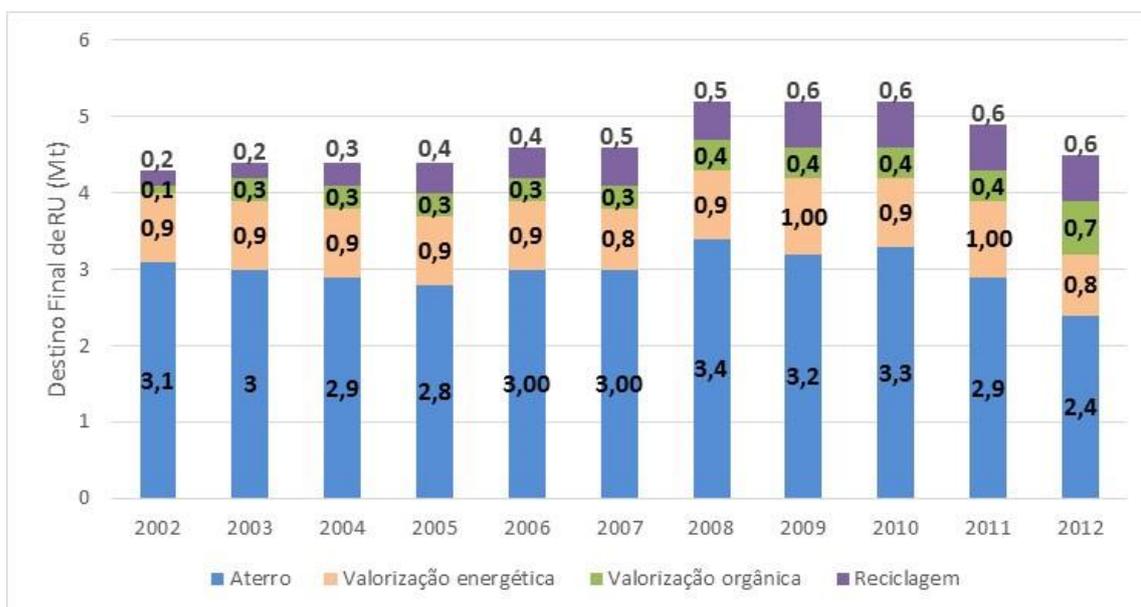


Figura 12: Quantidade de resíduos urbanos encaminhados para diferentes tipos de destinação em Portugal, durante o período de 2002 a 2012.

Fonte: PERSU 2020, 2014

A Figura 13 apresenta a evolução na redução da disposição de resíduos urbanos biodegradáveis em aterros sanitários (PERSU 2020, 2014).

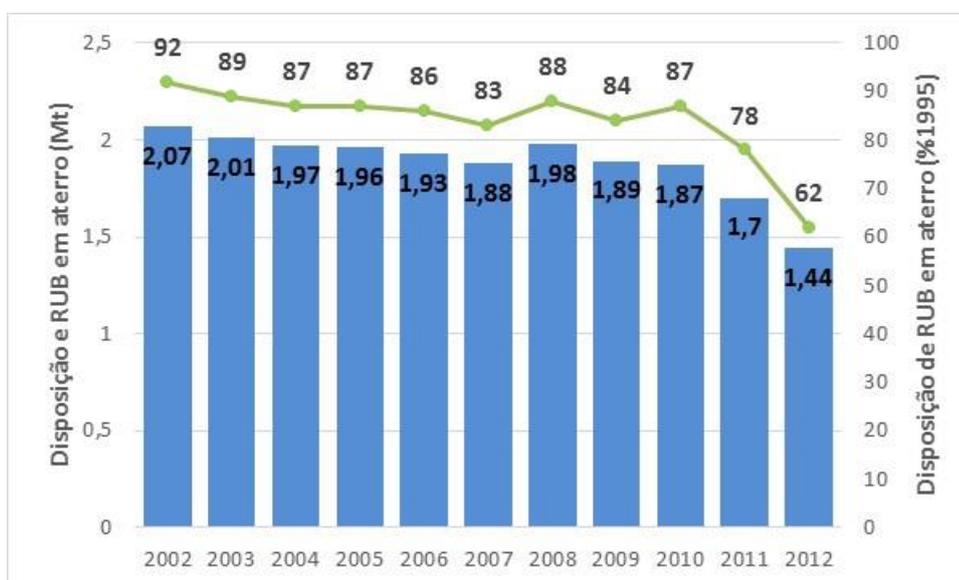


Figura 13: Evolução da Disposição de resíduo urbano biodegradável em aterro sanitário no período de 2002 a 2012.

Fonte: PERSU 2020, 2014

2.5.4 Legislação para aterros em Portugal

O Decreto-Lei n° 183/2009 de Portugal apresenta medidas que devem ser tomadas na construção, no monitoramento dos aterros em operação e na fase de pós-encerramento, tendo como objetivo evitar ou reduzir os efeitos negativos sobre a disposição dos resíduos em aterro, tanto em escala local, levando em consideração a poluição de águas superficiais e subterrâneas, do solo e da atmosfera, como na escala global, em particular o efeito estufa, bem como quaisquer riscos para saúde humana (Portugal, 2009).

No anexo I do referido Decreto são apresentados os requisitos técnicos que deverão ser cumpridos para todas as classes de aterros, referente à localização, ao controle de emissões e proteção do solo e das águas, à estabilidade, aos equipamentos, às instalações e infraestruturas de apoio e ao encerramento e integração paisagística.

Os aterros de resíduos não perigosos onde são destinados os resíduos urbanos, conforme o Art. 34° do Decreto-Lei n° 183/2009, devem seguir os seguintes critérios (Portugal, 2009):

1. Sistema de proteção ambiental passiva por meio de barreira de segurança, que deve ser constituída por uma formação geológica de baixa permeabilidade e espessura adequada, apresentando coeficiente de permeabilidade (K) de $\leq 1 \times 10^{-9}$ m/s e espessura ≥ 1 m. Caso a barreira geológica não ofereça naturalmente as condições descritas deve ser complementada e reforçada artificialmente por outros meios ou materiais que assegurem uma proteção equivalente.
2. Sistema de proteção ambiental por meio de barreira de impermeabilização artificial, sistema de drenagem de águas pluviais, sistema de drenagem e coleta de lixiviado, sistema de drenagem e tratamento de biogás.
Para a drenagem do lixiviado o fundo do aterro deve ter uma inclinação mínima de 2% em toda a área.
Caso o biogás captado não possa ser utilizado para a produção de energia, deve ser queimado em *flare*.
3. Sistema de selagem final com camada mineral impermeável, camada de drenagem $> 0,5$ m e cobertura final com material terroso > 1 m.
4. Instalações e infraestrutura de apoio contendo vedação, portão, vias de circulação, queimadores de biogás.
5. O aterro deve ser dotado de equipamentos, instalações e infraestruturas de apoio que permitam uma adequada exploração, reduzindo ao mínimo os efeitos para o ambiente provocados por: emissões de cheiros e poeiras; elementos dispersos pelo vento; ruído e tráfego; aves, roedores e insetos; formação de aerossóis; incêndio.

O Decreto-Lei nº 183/2009 ainda apresenta no Anexo III os procedimentos de acompanhamento e controle nas fases de exploração e pós-encerramento do aterro, apresentando inclusive os parâmetros que devem ser analisados no lixiviado, nas águas subterrâneas e do biogás, e a frequência que as análises devem ser realizadas.

Neste Decreto é autorizada a umidificação dos resíduos sólidos urbanos por meio da reinjeção do concentrado da unidade de tratamento avançado por membranas, de efluente e de lodo ativado da unidade de tratamento de lixiviado, desde que os potenciais impactos adversos sobre o ambiente sejam minimizados (Portugal, 2009).

No Anexo IV é apresentado o processo de determinação de admissibilidade e critérios de admissão dos resíduos no aterro, inclusive especificando limites para determinadas substâncias que devem ser verificadas por meio da lixiviação dos resíduos.

3. Metodologia

Neste trabalho foram analisados dados de destinação de RSU no Brasil, com especial ênfase ao estado do Rio Grande do Sul (RS), e em Portugal. No Brasil o trabalho está baseado na avaliação de dados apresentados pelo Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES). No RS foram avaliados dados apresentados pelo Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul (PERS-RS), bem como dados apresentados para a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS (FEPAM), pelos empreendedores privados e prefeituras que possuem empreendimentos licenciados ou em processo de licenciamento, para atividade de Destinação de Resíduos Sólidos Urbanos por meio de Aterro Sanitário. A FEPAM é o órgão ambiental no estado do Rio Grande do Sul (RS) responsável pelo licenciamento ambiental e fiscalização de diversas atividades. Foram também coletados dados em vistorias realizadas pelos analistas ambientais da FEPAM nos empreendimentos que realizam a disposição final destes resíduos nos municípios do estado do RS. Em Portugal foram avaliados dados de geração de RSU e realizada uma visita técnica ao Aterro Sanitário de Mato da Cruz da empresa Valorsul, localizado em Vila Franca de Xira, Portugal.

3.1 Coleta de dados sobre a situação de RSU no Brasil

Nas pesquisas disponibilizadas pelo CEMPRE e pelo IPEA foram obtidos dados referente à coleta seletiva no Brasil, da composição gravimétrica da coleta seletiva e do número de estações de triagem de RSU no País. No PLANARES foram coletados dados apresentados referente à quantidade de RSU coletados e encaminhados para diferentes formas de destinação final no Brasil, número de unidades de destino de resíduos e rejeito urbanos, considerando lixão, aterro controlado e aterro sanitário, e as metas para RSU estipuladas no plano.

3.2 Coleta de dados no estado do Rio Grande do Sul

No PERS-RS foi verificada a taxa de geração per capita de RSU por faixa populacional adotada no estado do RS, diagnóstico de RSU no Estado, considerando disposição final adequada (unidades que operam como aterros sanitários) e inadequada (unidades que operam como aterros controlados e lixões), e as metas para RSU estipuladas no plano. Os dados do PERS-RS são referentes ao ano de 2014.

No banco de dados da FEPAM foram obtidos dados referentes à disposição final dos RSU dos municípios do estado do RS por meio de consulta a empreendimentos que possuíam

licença de operação para aterro sanitário em vigor. Por meio das planilhas de recebimento apresentadas pelos empreendedores no monitoramento das áreas verificou-se a destinação final dos RSU dos municípios e na ausência de dados desta informação no banco de dados da FEPAM foi realizado contato telefônico com os responsáveis pela área de meio ambiente dos municípios em questão.

Os empreendimentos foram enquadrados em: disposição final adequada e disposição final inadequada. Foram considerados como disposição final adequada aqueles que apresentaram licença de operação em vigor para aterro sanitário. Já os empreendimentos que operam por meio de Termo de Compromisso Ambiental (TCA), que se trata de um termo firmado entre um empreendedor e o órgão ambiental, quando este é atuado e solicita ao órgão ambiental conversão parcial da multa para que o valor seja aplicado em melhorias e na conservação ambiental, foram classificados como disposição final inadequada. Também foram enquadrados como disposição final inadequada os locais aonde eram depositados resíduos diretamente no solo, a céu aberto e sem qualquer controle e nunca tiveram licenciamento pela FEPAM, que são considerados lixões.

Através dos relatórios de vistorias técnicas elaborados pelos analistas ambientais nos locais de disposição de RSU foram verificadas as condições atuais de cada empreendimento. Quando constatada uma divergência entre os dados da licença de operação e do relatório de vistoria realizada após a concessão da Licença de Operação, o empreendimento foi classificado também como disposição final inadequada, visando retratar as condições reais de operação do empreendimento, apesar destes apresentarem licença de operação em vigor.

As vistorias dos analistas ambientais na FEPAM ocorrem pelos motivos de fiscalização, para verificação do cumprimento das condicionantes descritas na licença de operação do empreendimento, ou quando o empreendedor abre um processo requerendo uma nova licença ambiental, por exemplo, a fim de que possa ser verificada a área, avaliando o meio físico e biológico, e a atividade a ser implantada, para o caso de Licença Prévia, ou ainda, para verificação do atendimento das condicionantes especificadas na Licença de Instalação, visando a emissão da Licença de Operação.

Por meio destes dados levantados, referentes ao ano de 2015, foram analisados os tipos de disposição final para cada município do Estado. Ainda foram demarcados os municípios que encaminham seus resíduos para o estado de Santa Catarina e os municípios que não forneceram informação da destinação final, mesmo após o contato telefônico.

Os dados populacionais relativos aos municípios do estado do RS foram disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015).

Para esse estudo, os municípios foram classificados em pequeno, médio e grande porte. A metodologia utilizada para a elaboração dessa classificação foi determinada conforme segue:

Pequeno Porte: dividiu-se a quantidade de resíduo possível de ser gerada no município pela taxa de geração de RSU, estipulada pelo PERS-RS em 0,65 kg/hab.dia, obtendo-se dessa forma o teto máximo, em número de habitantes, para um município ser classificado como de pequeno porte. A quantidade máxima de resíduos gerada por estes municípios foi obtida por meio da Resolução CONAMA N° 404/2008 que considera aterros sanitários de pequeno porte aqueles que possuem disposição diária de até 20 toneladas de RSU;

Grande Porte: baseou-se na Norma Técnica FEPAM N° 003/1995, aprovada pela Portaria N° 12/1995, item 6.1, onde determina que municípios cuja população seja superior a 100.000 habitantes serão considerados municípios de grande porte;

Com isso, assumiu-se que os municípios de médio porte se enquadram na faixa intermediária entre os municípios de pequeno e de grande porte.

Diante do exposto a classificação por porte dos municípios no Estado do RS foi estipulada da seguinte forma: pequenos (população até 30.000 habitantes), médios (população entre 30.000 e 100.000 habitantes) e grandes (população superior a 100.000 habitantes), sendo determinada, para cada porte, a modalidade de disposição final (aterro sanitário, aterro controlado e lixão), considerando o percentual de municípios existentes no Estado e sua respectiva população.

Para aqueles empreendimentos que foram enquadrados como disposição final adequada, foi verificada a descrição do sistema de tratamento de lixiviado implantado por meio das licenças de operação emitidas pela FEPAM, e analisado o monitoramento realizado e apresentado nos processos de licenciamento da FEPAM.

Na FEPAM, os aterros sanitários são classificados como empreendimentos de alto potencial poluidor, devido ao grande impacto ambiental que estes podem causar, caso não sejam operados adequadamente, e o porte dos aterros é determinado pela quantidade de resíduos que o empreendimento tem condições de receber em toneladas/dia, conforme apresentado na Tabela 9.

No site da FEPAM está disponível o formulário que deve ser apresentado na abertura do processo requerendo licenciamento para atividade de resíduos sólidos urbanos. Este formulário solicita todas as informações pertinentes e necessárias para o licenciamento de qualquer atividade de destinação deste tipo de resíduo, seja estação de transbordo, central de triagem, compostagem, aterros sanitários e incineração de RSU. O formulário também

apresenta orientações para o licenciamento destas atividades onde são descritos os documentos que devem ser apresentados na abertura do processo, como declarações, certidões, projetos, memoriais descritivos e de cálculo, plantas, entre outros, especificando cada fase do licenciamento, licença prévia, licença de instalação e licença de operação.

Tabela 9: Classificação da FEPAM para aterros sanitários por portes

Porte	Quantidade de RSU em ton/dia
Mínimo	Até 5
Pequeno	De 5,01 a 20
Médio	De 20,01 a 60
Grande	De 60,01 a 200
Excepcional	Acima de 200

Fonte: FEPAM (2016)

No anexo I do referido formulário é apresentada a determinação do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), definindo em quais casos estes devem ser elaborados para fins de licenciamento em aterros sanitários, determinando a forma como ocorre o licenciamento nestes casos e apresenta também o termo de referência para orientar a 1ª fase do estudo. No anexo II são apresentados conceitos básicos e a legislação utilizada como referência para o licenciamento das atividades ligadas à destinação de RSU.

3.3 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Portugal e Visita técnica ao Aterro Sanitário localizado em Portugal

Para comparação entre sistemas de gestão de resíduos no Brasil e na Europa foi definido que dados de gestão de RSU em Portugal seriam analisados.

A gestão de RSU na Europa é de maneira geral bem definida, com prioridade a processos de reciclagem e valorização energética. Portugal, entretanto, até 1996 encaminhava seus RSU para lixões. A aprovação do Plano Estratégico Setorial dos Resíduos Sólidos urbanos (PERSU) em 1996 promoveu uma grande mudança na gestão dos RSU (Trotta, 2011) e atualmente 49% dos resíduos tem como disposição final aterros sanitários, enquanto 51% são encaminhados para outras operações como valorização energética, orgânica ou reciclagem (PORDATA, 2016). Desta forma, uma comparação entre dados atuais de Portugal, 20 anos após a aprovação do PERSU, com dados atuais brasileiros, após aprovação da PNRS, permitem avaliar e discutir nossas metas e resultados já alcançados.

Para esta avaliação foi feito contato com a empresa Valorsul – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e do Oeste S.A., empresa responsável pelo tratamento e valorização dos resíduos urbanos produzidos em 19 municípios da região de Lisboa e Oeste. A Valorsul realiza, ainda, a coleta seletiva de materiais recicláveis na região Oeste, abrangendo 14 municípios do sistema.

Em 28 de maio de 2014 foi realizada a visita técnica no Aterro Sanitário Mato da Cruz (ASMC) da empresa Valorsul, localizado em Vila Franca de Xira – Portugal a aproximadamente 28 km de Lisboa. Nesta unidade além do aterro sanitário há a Instalação de Tratamento e Valorização de Escórias.

4. Resultados

4.1 Coleta seletiva no Brasil

O Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), por meio da pesquisa Ciclossoft, reúne informações sobre os programas de coleta seletiva desenvolvidos por prefeituras, apresentando dados sobre composição do lixo, custos de operação, participação de cooperativas e associações de catadores de catadores e parcela de população atendida. A Pesquisa Ciclossoft tem abrangência geográfica em escala nacional, e possui periodicidade bianual de coleta de dados. A metodologia da pesquisa consiste no levantamento de dados através do envio de questionário às Prefeituras e visitas técnicas (CEMPRE, 2016).

Com a PNRS observou-se um grande aumento de municípios que aderiram à coleta seletiva. De acordo com dados divulgados pelo CEMPRE, a coleta seletiva em todo o País aumentou de 443 municípios em 2010, para 1.055 em 2016, atingindo uma evolução de quase 138%. Este crescimento ocorreu em todas as regiões, mas o maior desenvolvimento proporcional se deu no Centro-Oeste que passou de 13 para 84 municípios operando sistemas próprios.

Na Figura 14 observa-se que a cada ano aumenta o número de municípios que implantam o sistema de coleta seletiva. Entretanto os 1055 municípios representam apenas 18% do total dos municípios brasileiros que operam este sistema (CEMPRE, 2016).

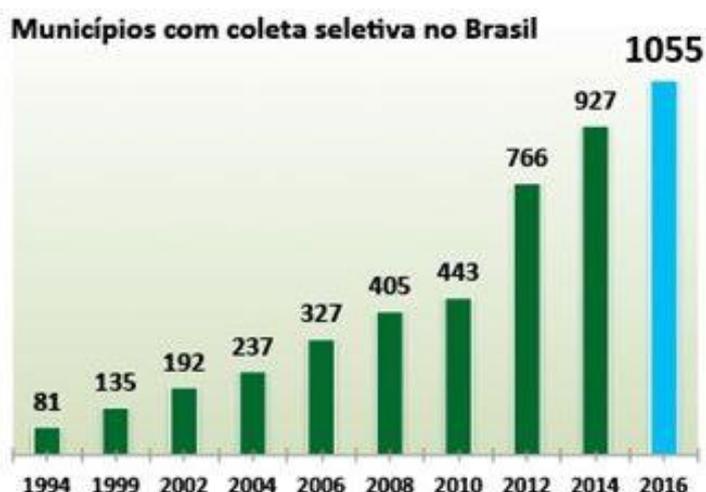


Figura 14: Número de municípios com programas de coleta seletiva no Brasil.

Fonte: CEMPRE, 2016

De acordo com os dados apresentados pelo CEMPRE as maiores quantidades de municípios que possuem coleta seletiva se localizam nas regiões Sul e Sudeste, que possuem

respectivamente 40% e 41% dos programas. Já na região Nordeste observa-se um percentual de 10%, na região Centro-Oeste 8% e no Norte 1%, como pode ser observado na Figura 15 (CEMPRE, 2016).

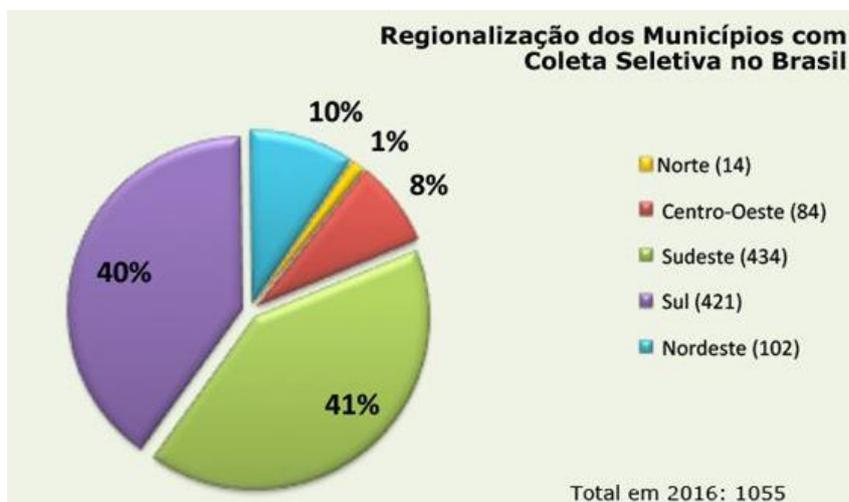


Figura 15: Percentual de municípios brasileiros que realizam a coleta seletiva por regiões.

Fonte: CEMPRE, 2016

Na Figura 16 é apresentada a população que é atendida pelos programas de coleta seletiva municipais no Brasil. Verifica-se que somente cerca de 15% da população brasileira possui coleta seletiva na sua cidade (CEMPRE, 2016).

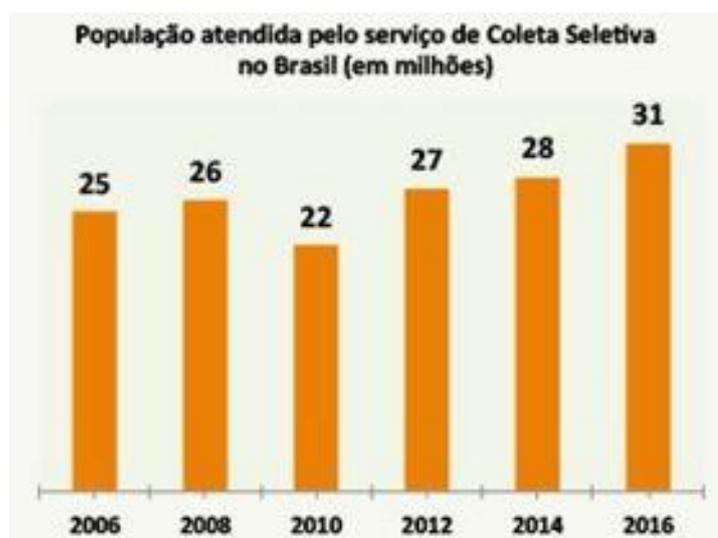


Figura 16: População brasileira com acesso a programas municipais de coleta seletiva.

Fonte: CEMPRE, 2016

No Brasil os modelos de coleta seletiva são: porta-a-porta, onde há a coleta dos resíduos recicláveis sob gestão do órgão municipal nas residências, Postos de Entrega Voluntária (PEVs)

e cooperativas e associações de catadores. Conforme informação divulgada pelo CEMPRE, os programas de maior êxito são aqueles em que há uma combinação destes, havendo em um único município mais de um tipo de modelo de coleta seletiva. Conforme informação apresentada, a maior parte dos municípios ainda realiza a coleta por meio de Postos de Entrega Voluntária (PEVs), que são alternativas para a população poder participar da coleta seletiva, ou apoiam a contratação de cooperativas e associações de catadores de catadores como parte integrante da coleta seletiva municipal, representando 54% dos municípios. Este apoio às cooperativas e associações de catadores está baseado em: maquinários, galpões de triagem, ajuda de custo com água e energia elétrica, caminhões, capacitações e investimento em divulgação e educação ambiental. Já a coleta porta-a-porta representa somente 29% dos municípios (CEMPRE, 2016).

A Figura 17 apresenta a composição gravimétrica da coleta seletiva, onde se observa que a maior quantidade de resíduos encontrados na coleta seletiva são papel/papelão e plásticos (CEMPRE, 2016).

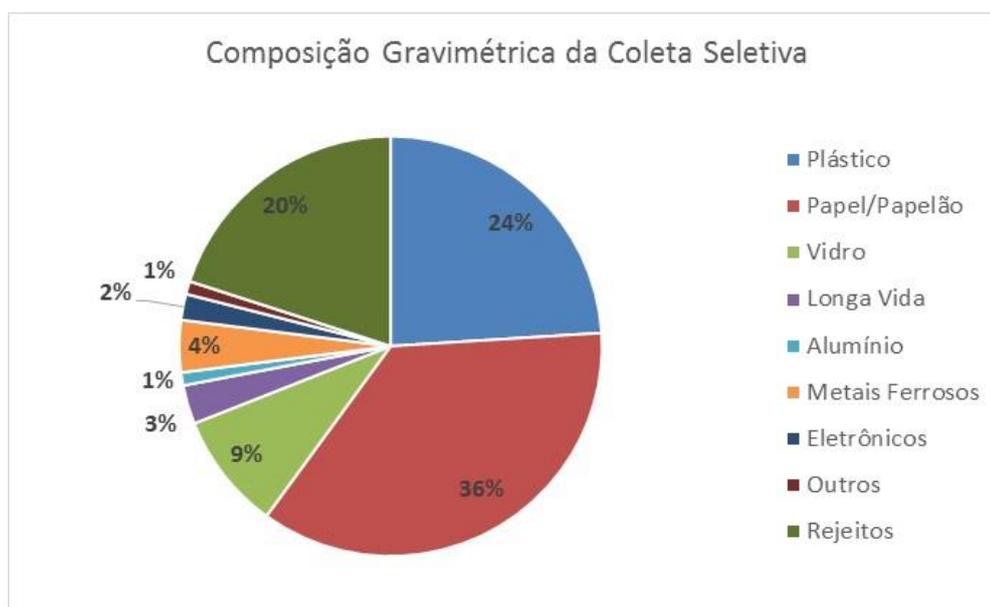


Figura 17: Composição Gravimétrica da coleta seletiva.

Fonte: CEMPRE, 2016

De acordo com dados divulgados pelo IPEA (2012) a maioria dos municípios de grande porte e mais da metade dos municípios de médio porte no Brasil já possuíam em 2008 um sistema de coleta seletiva implantado, como pode ser observado na Tabela 10.

O IPEA considera municípios pequenos aqueles que apresentam menos de 100 mil habitantes, municípios médios entre 100 mil e 1 milhão de habitantes e municípios grandes os que possuem mais de 1 milhão de habitantes. Para estimar a população atendida com cobertura

dos serviços de resíduos sólidos, o IPEA (2012) optou por utilizar a estimativa da população urbana de cada município como equivalente à população atendida pelo serviço de coleta, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10: Municípios com coleta seletiva por grupo de municípios nos anos de 2000 e 2008

Unidade de análise	Faixa Populacional (habitantes)	População Urbana (habitantes)		Nº de municípios		Participação total de municípios (%)	
		2000	2008	2000	2008	2000	2008
Brasil		137.953.959	159.949.846	451	994	8,2	17,9
Municípios pequenos	Menos de 100 mil	54.501.231	64.842.897	374	851	7,1	16,0
Municípios médios	Entre 100 mil e 1 milhão	49.862.553	57.268.225	69	130	32,7	54,4
Municípios grandes	Mais de 1 milhão	33.590.175	37.838.724	8	13	61,5	92,9

Fonte: IPEA, 2012

Além da coleta seletiva, outra maneira de reduzir a quantidade de resíduos sólidos encaminhados para os aterros é a utilização direta de usinas ou estações de triagem sem coleta seletiva anterior. Nestas unidades, o RSU coletado de forma tradicional é separado na triagem para posteriormente ser destinado para reciclagem. Esta solução, apesar de ter uma implementação mais simples que a dos programas de coleta seletiva, apresenta uma eficácia mais baixa que tais programas, pois o material recolhido possui alto grau de contaminantes (IPEA, 2012).

Conforme pode ser observado na Tabela 11, apesar do número de municípios que possuem estações de triagem ter aumentado de maneira considerável do ano 2000 para 2008, a quantidade de resíduos encaminhados para tais instalações não cresceu de forma significativa (IPEA, 2012).

Tabela 11: Estações de triagem de resíduos recicláveis nos anos de 2000 e 2008

Unidade de análise	Número de Habitantes		Municípios com estação de triagem		Quantidade de resíduos encaminhados para estações de triagem no próprio município	
	Nº		Nº		t/dia	
	2000	2008	2000	2008	2000	2008
Brasil	137.953.959	159.961.545	189	445	2.148,3	2.592
Municípios pequenos (Menos de 100 mil habitantes)	54.501.231	64.842.897	173	389	1.787,3	1.223,3
Municípios médios (Entre 100 mil e 1 milhão de habitantes)	49.862.553	57.268.225	16	49	361	1.032,1
Municípios grandes (Mais de 1 milhão de habitantes)	33.590.175	37.838.724	-	7	-	336,6
Norte	9.014.365	11.133.820	-	7	-	62,5
Nordeste	32.975.425	38.826.036	13	17	107,6	72,3
Sudeste	65.549.194	74.531.947	70	243	1.154,9	1.426,5
Sul	20.321.999	23.355.240	98	167	806,1	1.009,4
Centro-Oeste	10.092.976	12.161.390	8	11	75,7	21,3

Fonte: IPEA, 2012

4.2 Planos de Resíduos Sólidos no Brasil

4.2.1 Plano Nacional de Resíduos Sólidos

A PNRS, no seu Art. 15, determina que o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) deverá ser elaborado pela União sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente, e deverá ter vigência por prazo indeterminado e horizonte de 20 (vinte) anos, a ser atualizado a cada 4 (quatro) anos (Brasil, 2010).

A PNRS ainda estabelece o conteúdo mínimo que deve conter o PLANARES, o qual, entre outros requisitos mínimos, deve apresentar o diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos; metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada; metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis (Brasil, 2010).

No diagnóstico dos RSU apresentados pelo PLANARES, na sua versão publicada em agosto de 2012, foram apresentados dados de geração, coleta (tradicional e seletiva), tratamento e disposição final dos RSU. O trabalho foi elaborado a partir das informações contidas na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, utilizando o Banco Multidimensional Estatístico, e no Sistema Nacional de Informação em Saneamento. Para manter a consistência entre as fontes de informação, o ano de 2008 foi escolhido como referência (PLANARES, 2012).

O diagnóstico de RSU apresentado no PLANARES é analisado sob três universos – o primeiro considera o país como unidade de análise, o segundo trabalha com as cinco regiões brasileiras e o último considera o porte do município, definido em função da população. Nesse caso, foram considerados como municípios de pequeno porte aqueles que possuíam população total menor que 100 mil habitantes, municípios de médio porte aqueles com mais de 100 mil e menos que 1 milhão de habitantes, e por fim, municípios de grande porte aqueles com população acima de 1 milhão de habitantes (PLANARES, 2012).

A Tabela 12 apresenta a estimativa de quantidade de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos coletados no Brasil, com a quantidade de resíduo coletado por número de habitantes por dia no ano de 2008 (PLANARES, 2012).

Tabela 12: Estimativa da quantidade de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos coletados no Brasil em 2008

<i>Unidade de Análise</i>	<i>Quantidade de resíduos coletados (t/dia)</i>	<i>Quantidade de resíduo por habitante urbano (kg/hab.dia)</i>
Brasil	183.481,50	1,1
Norte	14.637,30	1,3
Nordeste	47.203,80	1,2
Sudeste	68.179,10	0,9
Sul	37.342,10	1,6
Centro-Oeste	16.119,20	1,3

Fonte: PLANARES, 2012

Na Tabela 13 é apresentada a quantidade diária de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos encaminhados para diferentes tipos de destinação final no ano de 2008 (PLANARES, 2012).

Tabela 13: Quantidade diária de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos encaminhados para diferentes formas de destinação final no ano de 2008

<i>Destino Final</i>	<i>Quantidade (t/dia)</i>	<i>%</i>
Aterro Sanitário	110.044,40	58,3
Aterro Controlado	36.673,20	19,4
Vazadouros a céu aberto (Lixão)	37.360,80	19,8
Unidade de Compostagem	1.519,50	0,8
Unidade de Triagem e Reciclagem	2.592,00	1,4
Unidade de Incineração	64,80	< 0,1
Vazadouro em áreas alagáveis	35,00	< 0,1
Outra unidade	525,20	0,3
Total	188.814,90	

Fonte: PLANARES, 2012

Com relação a tratamento, verifica-se que o percentual de utilização de unidades de compostagem é bastante baixo no Brasil, uma vez que a massa de resíduos sólidos urbanos apresenta um alto percentual de matéria orgânica. Isto ocorre devido o resíduo orgânico não ser coletado separadamente e acabar sendo encaminhado para destinação final juntamente com os outros resíduos (PLANARES, 2012).

De acordo com o PLANARES (2012), do total estimado de resíduos orgânicos que são coletados (94.335,1 t/dia) somente 0,8% (1.519,5 t/dia) é encaminhado para tratamento via compostagem.

Estes números também confirmam que a forma de destinação final dos resíduos sólidos urbanos mais utilizada no Brasil é por meio de aterros sanitários. Porém é possível constatar que 97,5% dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos são encaminhados para disposição em solo, considerando lixão, aterro controlado e aterro sanitário.

A Tabela 14 apresenta a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para cada tipo de disposição em solo (PLANARES, 2012).

Através dos dados apresentados na Tabela 14 verifica-se que apesar de 74.034 t/dia de resíduos e rejeitos serem encaminhados para uma disposição inadequada, sendo esta considerada lixões e aterros controlados, a grande maioria destes resíduos são dispostos adequadamente em aterros sanitários, representando um percentual de 60% dos resíduos. Ainda é possível afirmar que o maior percentual de destinação de resíduos e rejeitos que são

encaminhados para lixão está entre os municípios pequenos, representando 18%. 18% dos resíduos e rejeitos dos municípios grandes são encaminhados para aterros sanitários e praticamente não há destinação de resíduos e rejeitos encaminhados para lixões em municípios de grande porte.

Tabela 14: Quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição no solo, considerando somente lixão, aterro controlado e aterro sanitário em 2008 (t/dia)

<i>Unidade de Análise</i>	<i>Lixão</i>		<i>Aterro Controlado</i>		<i>Aterro Sanitário</i>	
	t/dia	%	t/dia	%	t/dia	%
Brasil	37.360,80	20	36.673,20	20	110.044,40	60
Municípios pequenos (Menos de 100 mil habitantes)	32.504,30	18	14.067,90	8	32.420,50	18
Municípios médios (Entre 100 mil e 1 milhão de habitantes)	4.844,50	3	17.278,30	9	45.203,40	25
Municípios grandes (Mais de 1 milhão de habitantes)	12,00	0	5.327,00	3	32.420,50	18
Norte (11.133.820 habitantes)	4.892,50	3	4.688,20	3	4.540,60	2
Nordeste (38.826.036 habitantes)	23.461,50	13	6.819,00	4	25.246,60	14
Sudeste (74.531.947 habitantes)	3.636,20	2	16.767,00	9	61.576,80	33
Sul (20.321.999 habitantes)	1.432,80	1	3.485,00	2	15.293,10	8
Centro-Oeste (10.092.976 habitantes)	3.937,80	2	4.914,00	3	3.387,30	2

Fonte: PLANARES, 2012

Com relação à região, na Tabela 14 verifica-se que a região Nordeste é a que encaminha maior quantidade de resíduos e rejeitos para lixões, representando 13%. A região Sudeste apresenta a maior quantidade de resíduos e rejeitos sendo encaminhados para aterros sanitários, correspondendo a 33%. Ainda é possível observar que, considerando o número de habitantes, como a região sudeste apresenta o maior número de habitantes, grande parte da população destina os seus RSU em aterros sanitários.

A Tabela 15 apresenta o número de unidades de disposição final nos municípios com presença de aterros sanitários, de aterros controlados e de lixões (PLANARES, 2012).

De acordo com o PLANARES (2012), com relação aos aterros controlados, o Brasil possui ainda 1.310 unidades distribuídos em 1.254 municípios, sendo cerca de 62% na região Sudeste.

Tabela 15: Número de unidades de destino de resíduos e rejeitos urbanos encaminhados para disposição no solo, considerando somente lixão, aterro controlado e aterro sanitário em 2008¹

<i>Unidade de Análise</i>	<i>Lixão</i>	<i>Aterro Controlado</i>	<i>Aterro Sanitário</i>
Brasil	2906	1310	1723
Municípios pequenos (Menos de 100 mil habitantes)	2863	1226	1483
Municípios médios (Entre 100 mil e 1 milhão de habitantes)	42	78	207
Municípios grandes (Mais de 1 milhão de habitantes)	1	6	33
Norte (11.133.820 habitantes)	388	45	45
Nordeste (38.826.036 habitantes)	1655	116	157
Sudeste (74.531.947 habitantes)	317	807	645
Sul (20.321.999 habitantes)	197	256	805
Centro-Oeste (10.092.976 habitantes)	349	86	71

¹Nota: Um mesmo município pode apresentar mais de um tipo de destinação de resíduos

Fonte: PLANARES, 2012

De acordo com a Tabela 15, observa-se que das 2.906 unidades de lixões existentes no país, 99% estão localizadas em municípios pequenos e 57% na região Nordeste. Analisando as unidades de destinação dos municípios médios e grandes, verifica-se que a maioria são aterros sanitários, sendo 63 e 83%, respectivamente.

Avaliando as microrregiões na Tabela 15, constata-se que nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, a maioria das unidades de destinação são lixões, sendo 81, 86 e 69%, respectivamente. Já na região Sul 64% dos locais de destinação são os aterros sanitários.

O PLANARES apresenta as seguintes metas para resíduos sólidos urbanos (PLANARES, 2012):

Meta 1 – Eliminação total dos lixões até 2014

Meta 2 - Áreas de lixões reabilitadas (queima pontual, captação de gases para geração de energia mediante estudo de viabilidade técnica e econômica, coleta do chorume, drenagem pluvial, compactação da massa, cobertura com solo e cobertura vegetal)

Região	Plano de Metas (%)				
	2015	2019	2023	2027	2031
Brasil	5	20	45	65	90
Norte	5	20	45	65	90
Nordeste	5	20	45	65	90
Sul	10	20	50	75	100
Sudeste	10	20	50	75	100
Centro-Oeste	8	20	45	65	90

Meta 3 - Redução dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterro, com base na caracterização nacional em 2013

Região	Plano de Metas (%)				
	2015	2019	2023	2027	2031
Brasil	22	28	34	40	45
Norte	10	13	15	17	20
Nordeste	12	16	19	22	25
Sul	43	50	53	58	60
Sudeste	30	37	42	45	50
Centro-Oeste	13	15	18	21	25

Meta 4 - Redução do percentual de resíduos úmidos disposto em aterros, com base na caracterização nacional de 2013.

Região	Plano de Metas (%)				
	2015	2019	2023	2027	2031
Brasil	19	28	38	46	53
Norte	10	20	30	40	50
Nordeste	15	20	30	40	50
Sul	30	40	50	55	60
Sudeste	25	35	45	50	55
Centro-Oeste	15	25	35	45	50

4.2.2 Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul

Para os Estados terem acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à gestão de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade, estes deveriam elaborar o Plano Estadual de Resíduos Sólidos, nos termos previstos pela PNRS (Brasil, 2010).

No Art. 17 da PNRS ficam estabelecidos os critérios mínimos que deve conter o Plano Estadual de Resíduos Sólidos, sendo que este deve ter vigência por prazo indeterminado, abrangendo todo o território do Estado, com horizonte de atuação de 20 (vinte) anos e revisões a cada 4 (quatro) anos. Entre os requisitos mínimos que o Plano Estadual deve conter estão incluídos os seguintes: diagnóstico, incluída a identificação dos principais fluxos de resíduos no Estado e seus impactos socioeconômicos e ambientais; metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada; metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; medidas para incentivar e viabilizar a gestão consorciada ou compartilhada dos resíduos sólidos; normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos, respeitadas as disposições estabelecidas em âmbito nacional; meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito estadual, de sua implementação e operacionalização, assegurado o controle social (Brasil, 2010).

Em dezembro de 2014 foi apresentado o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul (PERS-RS).

De acordo com o PERS-RS (2014) a geração dos RSU está diretamente relacionada às características econômicas e sociais do município, sendo o porte e a taxa de urbanização do município parâmetros relevantes a serem considerados. Geralmente municípios de maior porte e taxa de urbanização elevada tendem a apresentar uma maior geração per capita de RSU em relação aos municípios de pequeno porte.

As taxas de geração de RSU apresentadas no PERS-RS estão por faixa populacional adotadas para o RS, conforme Tabela 16 (PERS-RS, 2014).

Tabela 16: Taxas de geração per capita de RSU por faixa populacional adotadas para o RS

<i>Porte do município</i>	<i>Faixa populacional (habitantes)</i>	<i>Número de municípios</i>	<i>Geração per capita (kg/hab.dia)</i>
Pequeno porte	Até 50.000	455	0,65
Médio porte	De 50.001 a 300.000	38	0,8
Grande porte I	De 300.001 a 1 milhão	3	0,9
Grande porte II	Mais de 1 milhão	1	1,1

Fonte: PERS-RS, 2014

Através dos dados apresentados na Tabela 16, observa-se que há uma inconsistência com os dados apresentados através do PLANARES, verificados neste trabalho na Tabela 12,

uma vez que esta apresenta uma taxa de geração de RSU na Região Sul de 1,6 e para a Região Sudeste de 0,9, sendo que a Região Sudeste apresenta uma taxa de urbanização maior do que na Região Sul, contrariando a informação do PERS-RS. Conforme PLANARES (2012) essa inconsistência sugere que pode haver falhas na metodologia utilizada para a coleta dos dados.

Para elaboração do diagnóstico dos RSU apresentado no PERS-RS foi feita a diferenciação de unidades de disposição final entre adequadas (unidades que operam como aterro sanitário) ou inadequadas (unidades que operam como aterros controlados ou lixões). Conforme informações apresentadas 80% dos municípios do Estado do RS realiza a disposição final de RSU de maneira adequada (em aterros sanitários), o que corresponde a 83,6% dos resíduos gerados pela população gaúcha.

Conforme informação apresentada pelo PERS-RS, no ano de 2014 foi verificado que no Estado do RS havia 3 (três) áreas operando como lixões, sendo que em uma delas era encaminhado RSU de 2 (dois) municípios, ou seja, havia 4 (quatro) municípios destinando seus RSU para lixões no Estado (PERS-RS, 2014).

Com relação aos RSU, o PERS-RS (2014) adotou as seguintes metas a partir do PLANARES (2012):

Meta 11 - determina a eliminação total das unidades de disposição final inadequadas até 2014, promovendo a disposição final adequada dos resíduos sólidos, devendo estar 100% concluído em 2015

Meta 12 - Áreas de lixões reabilitadas (% áreas)

Prazo	2015	2019	2023	2027	2034
Meta	10	20	50	75	100

Meta 13 – Redução dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterros (% peso)

Prazo	2015	2019	2023	2027	2034
Meta	43	50	53	58	60

Meta 14 – Redução de resíduos úmidos dispostos em aterros (% peso)

Prazo	2015	2019	2023	2027	2034
Meta	30	40	50	55	60

Meta 18 - Municípios com coleta seletiva de resíduos domiciliares (% municípios)

Prazo	2015	2019	2023	2027	2034
Meta	45	49	53	57	63

4.3 Licenciamento ambiental da disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio Grande do Sul

Como no Brasil não existe nenhuma legislação específica que determine os itens mínimos que devem ser seguidos para implantação e operação de um aterro sanitário, é utilizada a norma técnica NBR 13896:1997 (ABNT, 1997) como referência para o licenciamento dos aterros sanitários no RS.

O Órgão Ambiental no momento do licenciamento, visando à emissão da Licença Prévia do empreendimento, analisa critérios de localização, tais como:

1. A localização deve estar de acordo com o zoneamento da região;
2. Topografia da área: é recomendada a instalação de aterros sanitários em locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%;
3. Geologia e tipos de solos existentes na área, considerando a existência no local de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m;
4. Recursos hídricos, avaliando a possível interferência do aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas próximas e levando em consideração que o aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água;
5. Vegetação, uma vez que o estudo macroscópico da vegetação é importante, já que ela pode atuar favoravelmente na escolha de uma área quanto aos aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores;
6. Distância mínima de núcleos populacionais, onde se avalia a distância do limite de área útil do aterro a estes núcleos, sendo que esta deve ser superior a 500 metros;
7. O aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos.

Após verificação dos dados apresentados in loco é emitida a Licença Prévia (LP) que autoriza o uso da área para atividade de Aterro Sanitário.

De posse da LP, cumprindo condicionantes e restrições exigidas pelo Órgão Ambiental na mesma, o empreendedor deve abrir um novo processo requerendo a Licença de Instalação (LI), contendo projeto e memorial descritivo de todas as obras que serão realizadas na área para implantação e operação da atividade, aonde serão avaliados os seguintes itens pelo Órgão Ambiental:

1. Tamanho disponível e vida útil, considerando que a célula para disposição de resíduos sólidos urbanos deve ter vida útil de no mínimo 10 anos;
2. A base das células, em toda a sua extensão, deverá manter um afastamento mínimo de 2,0 metros do freático, tendo como referência o nível freático determinado nos perfis geológicos apresentados;
3. Faixa de proteção sanitária *non-aedificant* de no mínimo 10 metros de largura;
4. Monitoramento de águas subterrâneas, por meio de um sistema de poços de monitoramento que deve ser instalado adequadamente em número suficiente, de forma que as amostras retiradas representem a qualidade da água existente no aquífero mais alto;
5. O sistema de monitoramento das águas subterrâneas deve ser constituído de no mínimo quatro poços de monitoramento, sendo um a montante e três jusantes no sentido do fluxo de escoamento preferencial do lençol freático;
6. Impermeabilização da célula do aterro que deverá no mínimo conter uma camada de argila compactada de 60 cm de espessura atingindo um coeficiente de permeabilidade inferior a 1×10^{-7} cm/s e geomembrana com espessura mínima de 2 mm;
7. A impermeabilização deve ser instalada de forma a cobrir toda a área de modo que o resíduo ou o lixiviado não entre em contato com o solo natural;
8. Sistema de drenagem para coleta e remoção do lixiviado gerado pela decomposição dos resíduos que deve ser instalado acima da impermeabilização, que deve ser projetado e operado de forma a não sofrer obstruções durante o período de vida útil e pós-fechamento do aterro;
9. Em alguns casos, dependendo do perfil geológico da área, o Órgão Ambiental exige que seja construído um sistema de detecção de vazamento do lixiviado abaixo do sistema artificial de impermeabilização;
10. Sistema de tratamento do lixiviado gerado no aterro, que deve ser projetado e construído de forma que seus efluentes atendam aos padrões de emissão, desta forma garantindo a qualidade do corpo receptor;
11. Projeto de sistema de desvio de águas superficiais da área do aterro;
12. Sistema de captação e tratamento adequado para as emissões gasosas que sejam geradas pela decomposição dos RSU;
13. Plano de encerramento que deve conter: os métodos e as etapas a serem seguidas no fechamento total ou parcial do aterro; o projeto e construção da cobertura final,

de forma a minimizar a infiltração de água na célula, exigir pouca manutenção, não estar sujeita a erosão, acomodar assentamento sem fratura e possuir um coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do aterro; usos programados para a área do aterro após seu fechamento; monitoramento das águas após o término das operações que deverá ser executado até 20 anos após o encerramento da área; atividades de manutenção da área.

Para emissão da Licença de Operação (LO) o empreendedor deverá apresentar documentos que comprovem a execução das obras e atendimento de todas as condicionantes estabelecidas na LI. O Órgão Ambiental então realiza vistoria na área e estando conforme é emitida a Licença de Operação autorizando o funcionamento do Aterro Sanitário, que trará como itens mínimos as seguintes condições:

1. Controle de acesso na entrada da área, que deverá ser devidamente identificada, mantida cercada de forma a impedir o acesso de pessoas estranhas e animais;
2. Quanto aos acessos internos, externos e áreas de manobras, estas deverão ser mantidas em perfeito estado de conservação, sinalização e trafegabilidade, permitindo o fluxo normal de veículos e a operação do empreendimento sob qualquer condição climática;
3. Informação quanto ao tipo de resíduo que o empreendimento está apto a receber e como deve proceder em caso de recebimento de resíduo incompatível com o aterro na qual foi projetado;
4. Informação quanto ao acondicionamento dos resíduos recebidos, que deverão permanecer confinados até a disposição final;
5. A frente de trabalho do aterro deverá ser reduzida, sendo os resíduos compactados e cobertos ao fim da jornada diária, não devendo permanecer a céu aberto;
6. O aterro sanitário deverá conter cerca viva arbustiva ou arbórea ao redor da instalação para reduzir impactos quanto à vizinhança, ventos dominantes e estéticos;
7. Quanto à preservação e conservação ambiental, deverão ser mantidos procedimentos periódicos de inspeção e manutenção às estruturas implantadas, de modo a prevenir/corrigir eventuais ocorrências de danos e falhas operacionais, objetivando condições operacionais adequadas, garantindo o bom funcionamento do empreendimento e a preservação do ambiente no entorno do mesmo;

8. Para evitar riscos ambientais deverá ser mantido atualizado o Alvará do Corpo de Bombeiros Municipal e o Órgão Ambiental deverá ser comunicado imediatamente após a ocorrência de um derramamento, vazamento, deposição acidental de resíduos ou outro tipo de acidente;
9. Quanto ao monitoramento, o Órgão Ambiental exige que sejam encaminhados os seguintes itens mínimos:
 - Planilhas com a quantidade de RSU recebidos, e no caso das centrais, que recebem resíduos de mais de um gerador, devem identificar o gerador;
 - Relatório técnico descrevendo as condições da Estação de Tratamento de Efluentes, quando aplicável;
 - Relatório técnico descrevendo as informações relativas ao volume de lixiviado gerado, percentual de ocupação da célula em operação, inspeção para verificar as drenagens, poços de monitoramento e integridade da geomembrana;
 - Laudos de análises do efluente (lixiviado) bruto e na última etapa do tratamento, e de águas superficiais (quando aplicável) com a determinação dos seguintes parâmetros: Vazão, Temperatura, Condutividade Elétrica, pH, OD, DBO, DQO, Sólidos Suspensos, Sólidos Suspensos, Sólidos Sedimentáveis, Coliformes fecais, Coliformes Totais, Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total, Ferro, Manganês, Magnésio, Sódio, Potássio, Cloretos, Sulfatos, Cádmio, Chumbo, Cromo, Mercúrio e Níquel. Os laudos deverão ser acompanhados da interpretação destes resultados comparando com os limites máximos estipulados pela legislação;
 - Laudos de análise das águas subterrâneas de todos os piezômetros instalados, monitorando os seguintes parâmetros: Temperatura, Condutividade Elétrica, pH, OD, DBO, DQO, Sólidos Totais, Sólidos Dissolvidos Totais, Alcalinidade, Cloretos, Sulfetos, Coliformes Fecais, Coliformes Totais, Cádmio, Chumbo, Cromo, Mercúrio e Níquel. Deverá ser acompanhado laudo de amostragem das águas subterrâneas e interpretação dos resultados que deverá ser realizado comparando os resultados encontrados nos poços jusantes com o poço a montante do empreendimento. Também é solicitado que seja realizada uma análise anterior ao início da operação do empreendimento, que servirá como ponto branco para verificação de possíveis contaminações;
 - A norma determina que as análises de todos os parâmetros a serem monitorados, tanto para águas superficiais, subterrâneas e lixiviado, sejam

realizadas no mínimo 4 (quatro) vezes ao ano. Diante disto o Órgão Ambiental estabeleceu que seja apresentado trimestralmente os laudos de análise, com exceção dos aterros sanitários com porte excepcional que deverão ser apresentados bimestralmente;

- Caso seja observada, através dos laudos, a possível contaminação das águas subterrâneas, o Órgão Ambiental notifica o empreendedor, que deverá apresentar medidas para verificação efetiva da contaminação e caso afirmativo deverá ser proposto remediação da área contaminada.

Os Aterros Sanitários licenciados pelo Órgão Ambiental do RS deverão estar em conformidade com os itens acima, podendo haver alguma alteração dependendo das características físicas na área, caso contrário é estabelecido pelo Órgão prazo para adequações.

4.4 Disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio Grande do Sul

Em consulta aos dados fornecidos à FEPAM e constatado em vistorias pelos analistas ambientais da Fundação, a Figura 18 apresenta o gráfico com o percentual de municípios e população que encaminham seus resíduos para uma disposição final adequada, disposição final inadequada e aqueles que encaminham os seus resíduos para fora do Estado ou não há informação da destinação pelo Órgão Ambiental, para o ano de 2015.

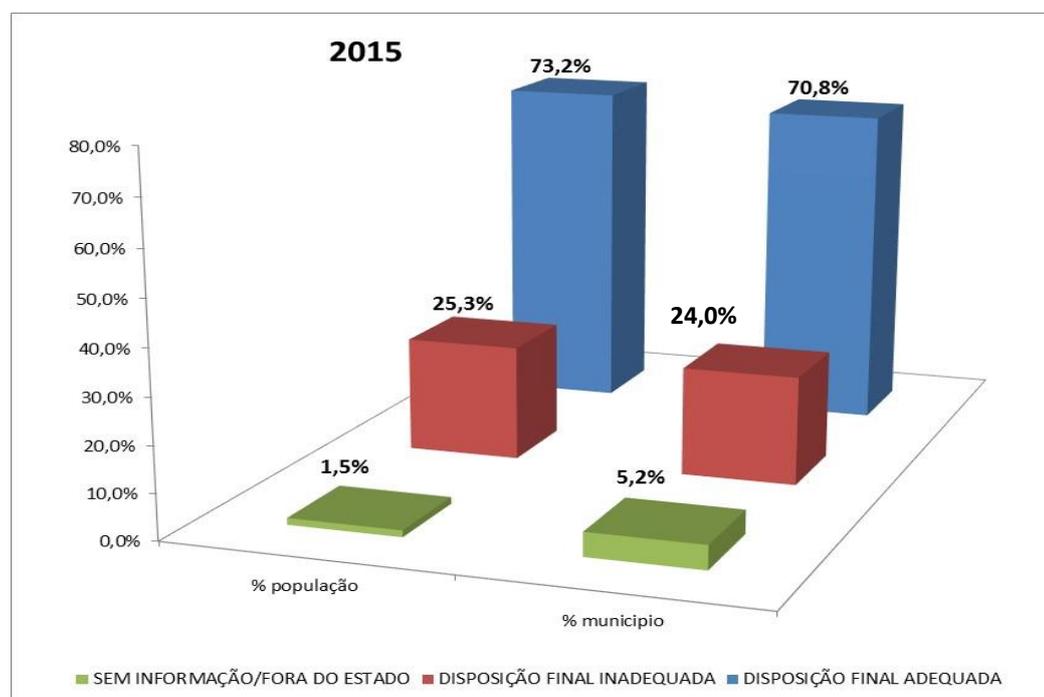


Figura 18: Disposição final de RSU no estado do RS, considerando percentual populacional e percentual de municípios, no ano de 2015.

Analisando a Figura 18, verifica-se que 70,8% dos municípios do Estado do RS encaminham os seus RSU para disposição final adequada, ou seja, 352 municípios estão dispendo os seus RSU em aterros sanitários devidamente licenciados e em condições operacionais adequadas, representando 73,2% da população (8.233.913 habitantes). Em compensação, 24,0% dos municípios dispõem seus RSU de forma inadequada, ou seja, 119 municípios estão encaminhando os seus resíduos para aterros sanitários que não operam devidamente, contrariando as normas ambientais, conhecidos também como aterros controlados, ou empreendimentos que estão com TCA junto ao Órgão Ambiental. Estes representam 25,3% da população do Estado (2.849.517 habitantes).

Cabe ressaltar, que conforme levantamento dos dados de destinação dos RSU para o ano de 2015, verificou-se que nenhum município estava encaminhando seus resíduos para áreas classificadas como lixão.

Com relação aos municípios que destinam os seus RSU para fora do Estado, sendo encaminhados para empreendimentos localizados em Santa Catarina, ou ainda que não há informação da destinação, estes representam 5,2% dos municípios, sendo 1,5% da população, como pode ser observado na Figura 18.

Considerando os dados apresentados no PERS-RS (2014), verifica-se que houve uma redução do ano de 2014 para 2015 com relação ao encaminhamento dos RSU para disposição final adequada. Isto se dá devido ao fato de áreas licenciadas como aterros sanitários podem em um segundo momento serem classificadas como disposição final inadequada devido à má operação, causada muitas vezes pela falta de recursos financeiros dos responsáveis pela operação do aterro, seja falta de pessoal, de equipamentos ou manutenção. Apesar disso se observa que a grande maioria dos municípios do Estado do RS destinam os seus RSU para áreas adequadas.

Por outro lado, é possível constatar que houve o cumprimento da Meta 1 do PLANARES, uma vez que foram extintos todos os lixões existentes no Estado, sendo que de acordo com os dados fornecidos à FEPAM em 2015, não há destinação de RSU de nenhum município do Estado para áreas classificadas como lixão. Entretanto, estas áreas ainda estão em processo para serem remediadas, mas não mais em operação. Porém deve-se levar em consideração que existe um percentual de 1,5% da população do Estado que não informou a destinação final dos seus resíduos.

A Tabela 17 apresenta a distribuição dos municípios e da população do Estado conforme o porte.

Tabela 17: Distribuição dos municípios e da população conforme o porte

	<i>Pequeno</i> (até 30.000 hab)	<i>Médio</i> (De 30.000 a 100.000 hab)	<i>Grande</i> (mais de 100.000 hab)	<i>Total</i>
Nº municípios	424	54	19	497
População	3.051.795	2.814.225	5.381.952	11.247.972

Relacionando a disposição final de RSU dos municípios, sendo estes classificados por porte, verifica-se que, dos 19 (dezenove) municípios de grande porte, 12 (doze) municípios destinam seus RSU de forma ambientalmente adequada (3.864.263 habitantes) e 07 (sete) municípios destinaram seus RSU de forma inadequada (1.517.689 habitantes). Consta-se também que 40 (quarenta) municípios de médio porte realizam uma destinação ambientalmente adequada (2.133.594 habitantes), 13 (treze) realizaram uma destinação inadequada (643.524 habitantes) e 01 (um) município encaminhou seus RSU para fora do estado (37.107 habitantes). Em relação aos municípios de pequeno porte, dos 424 (quatrocentos e vinte e quatro) municípios, 300 (trezentos) destinam seus RSU de forma adequada (2.236.056 habitantes), 99 (noventa e nove) de maneira inadequada (688.304 habitantes) e 25 (vinte e cinco) municípios não há informação ou encaminham os seus RSU para fora do estado (127.435 habitantes). Estes dados podem ser observados na Figura 19.

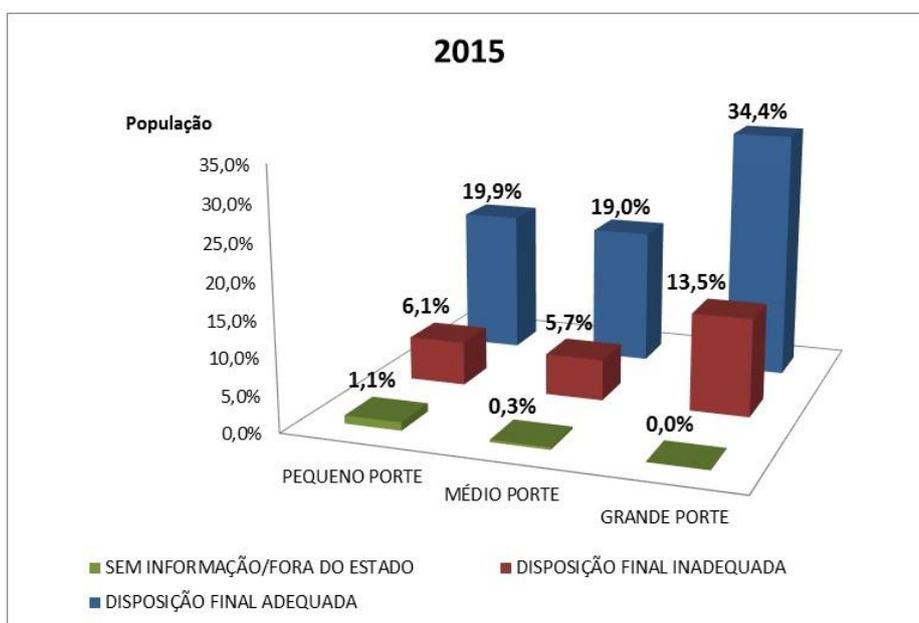


Figura 19: Disposição final dos RSU, considerando o porte dos municípios do Estado, para o ano de 2015

Atualmente no Estado do RS existem três formas de disposição final de resíduos sólidos urbanos: os aterros sanitários próprios, administrados pelo próprio município e que recebem unicamente resíduo do respectivo município; aterros sanitários mantidos por vários municípios e recebendo os RSU dos respectivos municípios, conhecidos como Consórcios Públicos; e aterros sanitários privados que recebem resíduos de vários municípios, denominados como Centrais de Recebimento.

Ao todo existem 51 (cinquenta e um) locais no Estado aonde são destinados os RSU. Destes 9 (nove) são centrais de recebimento, sendo que 1 (um) destes locais, apesar de ser privado, recebe somente de um único município, 7 (sete) consórcios públicos e 35 (trinta e cinco) aterros próprios, sendo que destes 2 (dois), apesar de serem próprios, recebem RSU de mais de um município. Estas informações podem ser verificadas na Figura 20.



Figura 20: Percentual dos tipos de aterros sanitários no Estado do RS no ano de 2015.

De acordo com a Figura 20, verifica-se que muitos municípios destinam os seus resíduos sólidos urbanos para centrais de recebimento, que podem ser gerenciadas pelo poder público ou por entidades privadas. Com base nos dados levantados é possível observar a tendência dos municípios de encaminhar seus resíduos para Centrais de Recebimento de RSU, o que é facilitado quando há proximidade geográfica do município com a Central, mas que não impede o encaminhamento de resíduos de municípios mais afastados.

Avaliando os locais de disposição de RSU no Estado, conforme Figura 21, verifica-se que dos aterros próprios, que são administrados pelos municípios, apenas 6 (seis) são considerados disposição final adequada, os outros 29 (vinte e nove) classificam-se como

disposição final inadequada. Nos consórcios públicos, que também são mantidos por municípios, observa-se que apenas 1 (um) é considerado disposição final adequada e os 6 (seis) restantes são classificados como disposição final inadequada. Já nas centrais de recebimento, que são empreendimentos privados, 8 (oito) são considerados destinação final adequada e apenas 1 (um) classifica-se como destinação final inadequada. Cabe ressaltar que nos aterros próprios, em alguns casos, a operação destes é de responsabilidade de empresas terceiras, sendo empresa privadas, contratadas pelas prefeituras para operarem e realizarem o monitoramento ambiental. Diante do exposto, verifica-se que há 15 (quinze) áreas classificadas como aterros sanitários que operam adequadamente no Estado do RS.

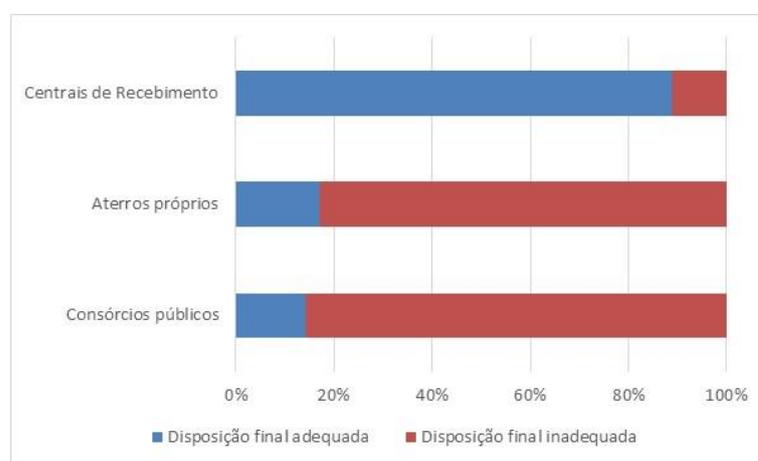


Figura 21: Classificação da disposição final nos locais de recebimento de RSU no RS no ano de 2015.

Em termos de quantidade, conforme dados do 2º semestre de 2015, cerca de 180.000 t/dia de RSU no estado do RS são destinados para aterros sanitários operando adequadamente.

Os dados apresentados na Figura 21, corroboram com a informação já citada da falta de recursos financeiros para gerenciar e operar um aterro sanitário que os municípios enfrentam, uma vez que a grande maioria das áreas inadequadas são administradas por estes.

Nas figuras abaixo são apresentadas fotos de locais onde ocorre disposição de RSU no estado do RS, demonstrando a disposição final adequada e a inadequada.

As Figura 22, Figura 23, Figura 24, Figura 25 e Figura 26 são imagens de aterros sanitários onde se pode observar a impermeabilização da célula, drenagem de gases, lixiviados e pluvial, itens implantados conforme a NBR 13896:1997, sendo considerados uma disposição final adequada. Cabe salientar que em um dos aterros sanitários do Estado há geração de energia a partir do biogás gerado no aterro pela decomposição dos RSU.



Figura 22: Célula de aterro sanitário em operação e encerrado



Figura 23: Célula de aterro sanitário encerrada



Figura 24: Planta de geração de gás a partir do biogás do aterro



Figura 25: Detalhe de drenagem de lixiviado em formato espinha de peixe antes da operação da célula em aterro sanitário



Figura 26: Detalhe da drenagem pluvial no entorno da célula de disposição de RSU

A Figura 27 apresenta um aterro controlado, evidenciando-se que há impermeabilização no fundo da célula devido o acúmulo de lixiviado no topo, porém por este estar acumulado na célula é possível verificar que não há ou não opera de maneira eficaz a drenagem de lixiviado. Também é possível observar que não há drenagem de gases e pluvial no entorno da célula e não é realizada a cobertura dos resíduos ali dispostos, sendo somente uma vala impermeabilizada sem qualquer controle ambiental, tratamento e monitoramento, caracterizando uma disposição final inadequada.



Figura 27: Célula de aterro controlado sem cobertura, sem drenagem de gases e com problemas na drenagem de lixiviado.

4.5 Sistema de tratamento de lixiviado nos aterros sanitários do Estado do Rio Grande do Sul

Os sistemas de tratamento de lixiviado verificados nos aterros sanitários localizados no Estado do RS apresentam tratamento biológico, composto por filtros biológicos e/ou banhados construídos (*wetlands*), e lagoas. Na maioria dos casos apresentam somente lagoas que acumulam o lixiviado gerado e posteriormente encaminham para estação de tratamento externa ao empreendimento, ou apresentam recirculação do lixiviado acumulado para o topo da célula de resíduos sólidos urbanos que se encontra em operação. Em 02 (duas) centrais de recebimento que operam como aterro sanitário estão em início de operação sistemas de osmose reversa a fim de que haja uma melhoria no sistema de tratamento de lixiviado.

Para realizar o lançamento do lixiviado, após o tratamento este deve atender os parâmetros estabelecidos nas Resoluções CONSEMA nº 128/2006 e suas alterações, que fixa os padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do RS, CONSEMA nº 129/2006 e suas alterações, que define critérios e padrões de emissão para toxicidade de efluentes líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul e CONAMA nº 357/2005 e suas alterações, que

dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Avaliando os sistemas de tratamento de lixiviado das 15 (quinze) áreas classificadas como disposição adequada de RSU, ou seja, dos aterros sanitários localizados no Estado, que representa a destinação de RSU de 73% da população do Estado, verifica-se que 10 (dez) apresentam somente lagoas para acúmulo do lixiviado gerado, sendo que destes 2 (dois) são encaminhados para tratamento externo ao aterro, em local devidamente licenciado para tratar este tipo de efluente, e os demais realizam a recirculação sobre a célula em operação sem qualquer controle de vazão, teor de umidade da massa de resíduos já depositados na célula e estabilização do lixiviado.

O tratamento biológico é realizado em 3 (três) empreendimentos. Um deles apresenta um filtro anaeróbio de fluxo ascendente e uma lagoa facultativa, o lixiviado posteriormente é recirculado para o topo da célula em operação não sendo permitido o lançamento.

Em outro empreendimento, verifica-se um tanque de equalização, dois filtros biológicos, um sistema *wetland* e uma lagoa de maturação, neste também o lixiviado posteriormente é recirculado não sendo autorizado o lançamento.

O terceiro caso é composto de dois filtros anaeróbios de fluxo ascendente dispostos em paralelo, um filtro aerado biológico submerso e quatro banhados construídos com macrófitas, também dispostos em paralelo. Após o sistema de tratamento o lixiviado tratado é encaminhado para uma lagoa para ser utilizado no processo de uma outra empresa, não sendo permitido também o lançamento.

Observamos que nestes três casos, em que ocorre somente o tratamento biológico, o lixiviado tratado não atende os parâmetros estabelecidos na legislação para o lançamento, não sendo um processo eficaz quando utilizado individualmente para tratar o lixiviado, devido sua alta complexidade.

Ainda existem 2 (dois) empreendimentos que recentemente instalaram sistema por osmose reversa para tratamento do lixiviado, apresentando como pré-tratamento a oxidação de parâmetros incrustantes em câmara de aeração e posteriormente precipitados em câmaras de sedimentação, ajuste de pH e pré-filtração, realizada por filtro de areia ($> 50 \mu\text{m}$) e filtro de cartucho (5 a $10 \mu\text{m}$) afim de remover a matéria suspensa presente no lixiviado. Por meio da osmose reversa é verificada a remoção dos sais dissolvidos, utilizando uma pressão máxima de 70 bar no processo, onde é alcançado rendimento que varia de 50 a 75%. Em um deles, que realizou testes por meio de autorização anteriormente, é permitido o lançamento do lixiviado

desde que sejam atendidos os parâmetros estabelecidos na legislação. O efluente tratado está sendo utilizado para irrigar a área do empreendimento. No outro caso, com uma instalação mais recente, não foi autorizado o lançamento, está sendo recirculado o lixiviado tratado para a célula afim de que sejam avaliados temporariamente os parâmetros atingidos para posterior autorização do lançamento.

Através dos tipos de tratamento de lixiviado existentes nos aterros sanitários do RS apresentados no presente trabalho, verifica-se que deve ser investido mais nesta área por parte dos responsáveis pela implantação e operação dos empreendimentos, uma vez que a maioria não realiza nenhum tratamento, somente acumula o lixiviado em lagoas para posteriormente ser recirculado na célula sem qualquer controle, ou apresentam um tratamento ineficiente, não sendo possível realizar o lançamento em recursos hídricos ou utilizado até mesmo para irrigação na área do aterro, e mais uma vez recirculando o lixiviado na célula sem o devido controle, de maneira que auxilie na degradação dos resíduos ali dispostos.

Nas Figura 28, Figura 29, Figura 30, Figura 31e Figura 32 são mostrados alguns sistemas de tratamento de lixiviados implantados nos aterros sanitários do Estado do RS.



Figura 28: Tratamento de efluentes contendo tanque de equalização, filtros biológicos e lagoas



Figura 29: Sistema de acúmulo de lixiviado por lagoas



Figura 30: Medidor de vazão, tipo calha parshall, na entrada do sistema



Figura 31: Sistema de tratamento de lixiviado por macrófitas (*wetlands*)



Figura 32: Sistema de tratamento de lixiviado com osmose reversa

4.6 Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio Grande do Sul anterior e posterior à Política Nacional de Resíduos Sólidos

Verificando dados informados à FEPAM da disposição final dos RSU no Estado do RS no ano de 2009, anterior a PNRS, o cenário apresentado encontra-se na Figura 33

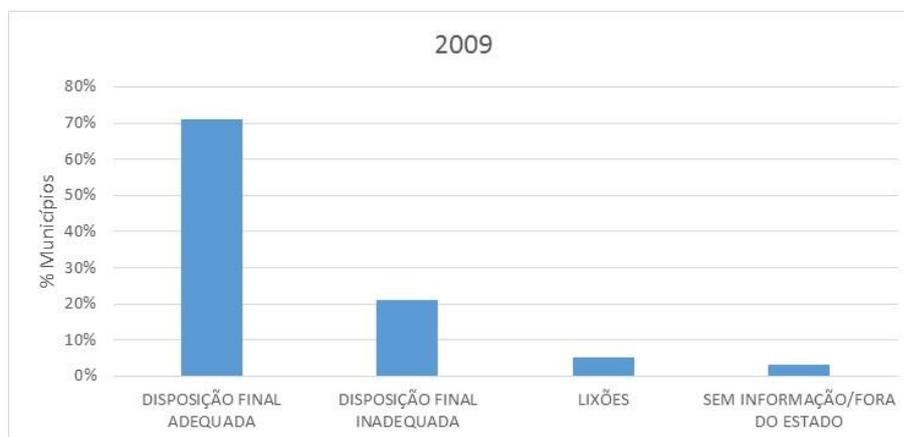


Figura 33: Disposição final de RSU por percentual de municípios no Estado do RS no ano de 2009.

Em análise aos dados, observa-se que anterior à PNRS o Estado do RS já possuía um cenário favorável, com 71% dos municípios dispendo seus RSU em locais ambientalmente adequados. Neste caso foi considerado como disposição final inadequada somente os aterros controlados, que representa um percentual de 21% dos municípios que encaminhavam os seus RSU para este tipo de aterro. Ainda foi possível verificar que em 2009, 5% dos municípios do Estado do RS encaminhavam os seus RSU para áreas classificadas como lixões, representando um total de 25 municípios.

Em análise aos dados apresentados constatamos que em relação ao percentual de municípios que destinam os seus RSU para disposição final adequada praticamente não houve alteração.

Na disposição final inadequada, observou-se uma pequena alteração, sendo 104 municípios no ano de 2009 e 119 no ano de 2015. Verifica-se ainda que houve um aumento, podendo ser explicado devido à falta de operação adequada nas áreas de disposição final de RSU.

Na Figura 34 é apresentada a comparação entre a disposição final dos RSU dos municípios do Estado do RS entre os anos 2009 e 2015, anterior e posterior à PNRS, respectivamente.



Figura 34: Comparação da disposição final dos RSU no Estado do RS entre os anos de 2009 e 2015

Com relação aos lixões, como já comentado anteriormente, estes foram extintos no ano de 2015, não havendo nenhum município no Estado do RS encaminhando os seus resíduos para estas áreas. Este resultado pode ser vinculado às pressões sofridas pelos municípios por parte dos órgãos de controle ambiental, pela repercussão midiática quanto ao término do prazo estabelecido no PLANARES para o fim dos lixões, bem como pelos interesses dos poderes públicos municipais em não serem prejudicados na obtenção de recursos financeiros.

4.7 Comparação da destinação dos resíduos sólidos urbanos em Portugal anterior e posterior ao Plano Estratégico Setorial dos Resíduos Sólidos Urbanos

De acordo com dados obtidos pelo Pordata (Base de dados de Portugal Contemporâneo) foi possível verificar as melhorias com relação a coleta, destinação e tratamento de RSU em Portugal mediante a implantação do PERSU.

A Figura 35 apresenta o percentual de RSU coletados em Portugal por meio da coleta regular, sem qualquer separação dos resíduos, e na coleta seletiva, no período de 1993, anterior ao PERSU e 2014, posterior a implantação do PERSU (PORDATA, 2016).

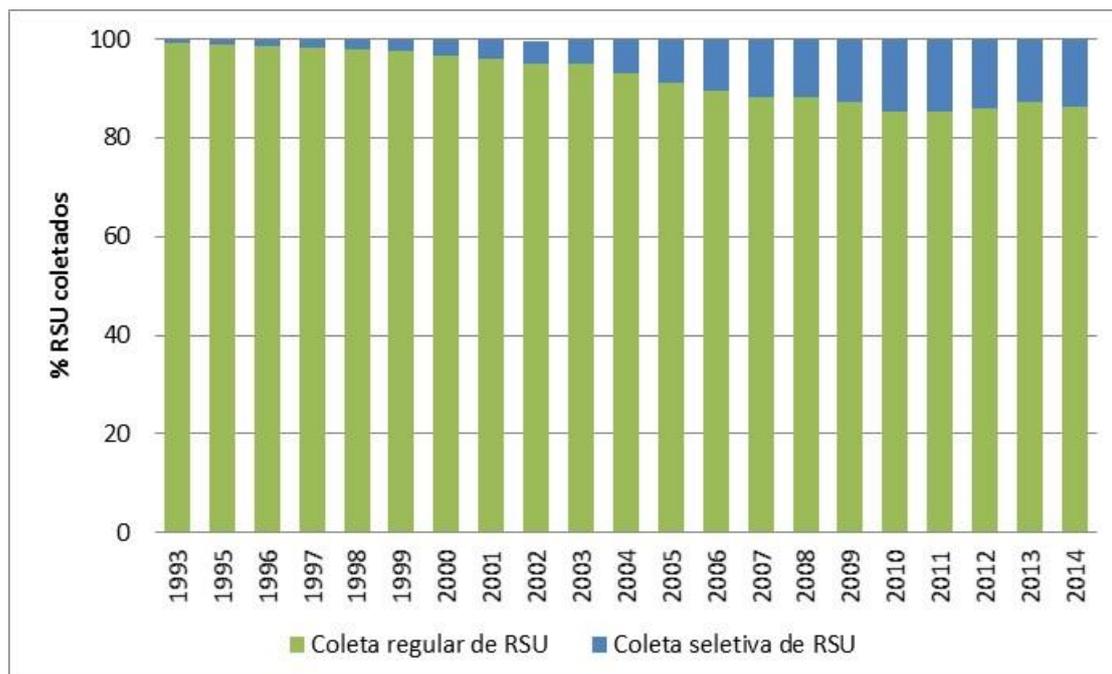


Figura 35: Percentual de RSU recolhidos pela coleta regular e coleta seletiva em Portugal (1993 – 2014).

Fonte: PORDATA, 2016

Através dos dados apresentados na Figura 35 é possível observar que em 1997, ano da aprovação do PERSU I, apenas 2% dos RSU coletados no país correspondiam a coleta seletiva, verificando uma melhora neste cenário, uma vez que em 2014 a coleta seletiva representa 14% dos RSU coletados (PORDATA, 2016).

Na Figura 36 é apresentado o percentual de RSU encaminhado para diferentes tipos de destinação, entre elas, aterro, valorização energética, valorização orgânica e reciclagem, no período de 2002 a 2014, em Portugal (PORDATA, 2016).

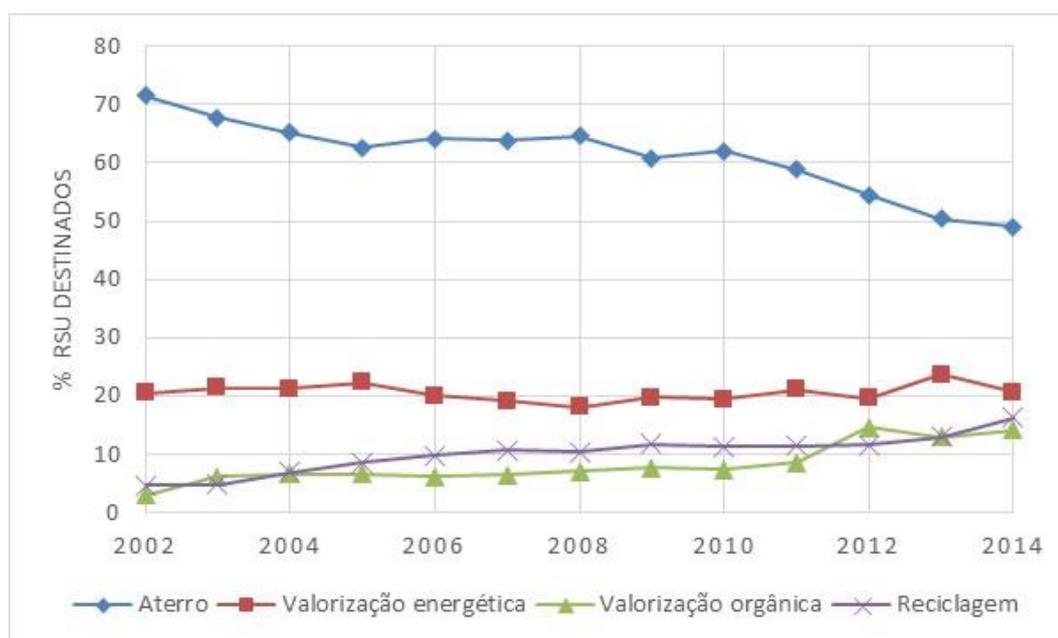


Figura 36: Percentual de RSU destinados para diferentes tipos de destinação em Portugal (2002 – 2014)

Fonte: PORDATA, 2016

É possível verificar por meio da Figura 36 que em 2002, 5 anos após a aprovação do PERSU I, não havia mais destinação de RSU para lixões em Portugal, 72% dos RSU coletados eram destinados para aterros e 28% dos RSU eram tratados. Com o passar dos anos e as atualizações no PERSU observa-se uma melhora, sendo que em 2014 caiu para 49% o percentual de RSU destinados para aterros e aumentou para 51% o percentual de RSU que recebe algum tratamento, sendo 21% valorização energética, 14% valorização orgânica e 16% reciclagem (PORDATA, 2016).

A Figura 37 apresenta o percentual de RSU coletados por meio da coleta seletiva e o percentual de RSU reciclados em Portugal no período de 2000 a 2014 (PORDATA, 2016).

Analisando a Figura 37 observa-se que no ano de 2000 não havia reciclagem dos RSU em Portugal, mesmo havendo coleta seletiva que representava um percentual pequeno na coleta dos RSU no país. Em comparação com o ano de 2014, verifica-se uma melhora uma vez que 16% dos RSU passa a ser reciclado. Na Figura 37 verifica-se também que em 2014 o percentual de resíduos reciclados é maior do que o de resíduos coletados através da coleta seletiva, isso se dá pelo fato de existir também a entrega voluntários dos resíduos recicláveis em entrepostos pela população.

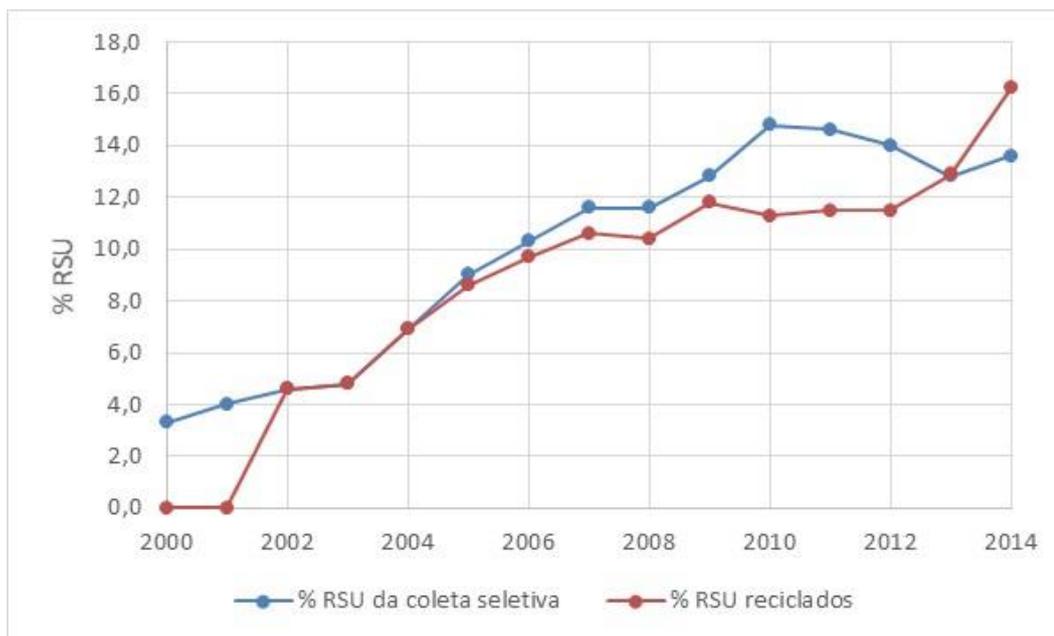


Figura 37: Percentual de RSU coletados por meio de coleta seletiva e de RSU reciclados em Portugal (2000 – 2014)

Fonte: PORDATA, 2016

4.8 Gestão de resíduos sólidos urbanos na região de Lisboa

De acordo com a composição do resíduo recolhido em Portugal, estes são encaminhados para o destino final mais adequado, levando em conta o seu potencial.

A Valorsul, empresa responsável pelo tratamento e valorização de cerca de 950 mil toneladas de resíduos urbanos produzidos por ano em Portugal, atende 1,6 milhões de habitantes de 19 municípios das regiões de Lisboa Norte e Oeste: Alcobaça, Alenquer, Amadora, Arruda dos Vinhos, Azambuja, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Lisboa, Loures, Lourinhã, Nazaré, Óbidos, Odivelas, Peniche, Rio Maior, Sobral de Monte Agraço, Torres Vedras e Vila Franca de Xira.

A empresa trata menos de 4% da área total de Portugal, mas valoriza mais de um quinto de todo o resíduo doméstico produzido no país.

A Valorsul apresenta a seguinte estrutura:

- 6 (seis) Estações de Transferências;
- 2 (dois) Centros de Triagem: os materiais depositados nos ecopontos ou recolhidos porta a porta são submetidos a processos manuais e mecânicos de separação. Nestes são recebidos três fluxos de resíduos recicláveis (vidro, papel/cartão, embalagens de plásticos e metal) que são separados de acordo com as recomendações das indústrias onde vão ser reciclados;

- 10 (dez) Ecocentros: espaço onde se encontram contentores destinados a receber diversos materiais em grandes quantidades e dimensões, tais como: vidro, papel/cartão, plásticos, metais, linha branca, resíduos verdes, entulho, equipamento elétrico e eletrônico, madeiras e *pallets*, óleos usados, pilhas, baterias e lâmpadas fluorescentes;
- 2 (duas) Estação de Tratamento e Valorização Orgânica (ETVO): a matéria orgânica representa cerca de 40% dos resíduos produzidos e pode ser valorizada. A ETVO é responsável pelo tratamento dos resíduos orgânicos recolhidos seletivamente, produzindo energia elétrica a partir do aproveitamento do biogás liberado e um composto orgânico, que pode ser utilizado como fertilizante agrícola;
- 1 (uma) Central de Valorização Energética (CVE): os resíduos que não são recicláveis são queimados e por meio da sua combustão é produzida energia elétrica. A CVE recebe cerca de 2.000 toneladas de resíduos por dia e produz energia suficiente para alimentar uma cidade de 150.000 habitantes. Este processo se denomina incineração em massa com recuperação de energia;
- 1 (uma) Instalação de Tratamento e Valorização de Escórias (ITVE): os materiais que resultam da combustão dos resíduos são separados em material ferroso, não ferroso e inerte. O metal é reencaminhado para reciclagem e os inertes podem ser utilizados na construção civil;
- 2 (dois) Aterros Sanitários: os resíduos que não são passíveis de serem reciclados ou valorizados são encaminhados para o seu destino final. No aterro sanitário os resíduos são depositados, arrumados e compactados de forma controlada em células impermeabilizadas. O monitoramento ambiental do aterro incide sobre o biogás e lixiviados produzidos, bem como sobre a qualidade das águas subterrâneas e superficiais.

4.9 Operação do Aterro Sanitário Mato da Cruz - Portugal

A unidade da Valorsul localizada em Vila Franca de Xira encontra-se em funcionamento desde julho de 1998, possui uma área total de 42 ha, sendo 13,8 ha ocupados pelas células 1 e 2 de RSU da Valorsul que está em operação, 1,45 ha destinados a futura célula 3 de RSU da Valorsul que se encontra em instalação, 8,0 ha de célula de RSU de Vila Franca de Xira já encerrada, 4,5 ha ocupados pelas células 1 e 2 de cinzas inertizadas (em operação) e 2,8 ha pertencendo a plataforma para tratamento e valorização de escórias. As células 1 e 2 de RSU da Valorsul apresentam capacidade de 3.213.000 m³ e a futura célula 3 com 249.300 m³.

As células da Valorsul apresentam sistema de impermeabilização de base conforme descrito, seguindo na ordem de baixo para cima:

1. Camada de solos compactados com espessura de 0,5 m
2. Geocompósito bentonítico
3. Geomembrana em PEAD com espessura de 2 mm
4. Geotêxtil com função de proteção da geomembrana
5. Camada drenante com espessura de 0,5 m
6. Geotêxtil com função de filtro

Conforme determina no Artigo 40º do Decreto-Lei nº 183/2009, é executado o programa de acompanhamento e controle fixado no alvará de licença para a operação de deposição de resíduos em aterro, onde são verificados os assentamentos e enchimento, os lixiviados produzidos, as águas subterrâneas, as águas superficiais e os gases gerados. É também monitorado o efluente pré-tratado descarregado no coletor municipal proveniente da Estação de Tratamento de Lixiviados, bem como os efluentes gasosos provenientes do sistema de valorização energética do biogás.

O controle dos assentamentos e enchimento é efetuado com apoio de levantamento aerofotogramétrico anual e controle topográfico de terra, permitindo identificar necessidades de enchimento e modelação de taludes e da superfície das zonas que não estão em exploração, bem como corrigir falhas das linhas de drenagem.

O controle dos lixiviados produzidos e do efluente pré-tratado lançado no coletor municipal passa pelo monitoramento da sua quantidade e da sua qualidade. São monitorados os lixiviados provenientes das células de deposição de RSU (célula de Vila Franca de Xira e células 1 e 2 Valorsul), das células 1 e 2 de deposição de cinzas inertizadas e da área impermeabilizada da ITVE. O volume é medido em contínuo, por meio de medidores/totalizadores de vazão. Quanto à qualidade, a periodicidade de amostragem realizada corresponde à definida na licença ambiental, sendo mensal, trimestral e semestral, conforme os parâmetros analisados.

O controle da qualidade das águas subterrâneas na zona de implantação do Aterro Sanitário Mato da Cruz (ASMC) é realizado na rede piezométrica dentro da área do mesmo, constituída por 8 piezômetros. Estes consistem num tubo em PVC rígido, com diâmetro de 125 mm e profundidade que varia entre 30 e 70 m. A periodicidade de amostragem cumpre o definido na licença ambiental, sendo mensal, semestral e anual, de acordo com os parâmetros analisados.

O controle das águas superficiais é efetuado na ribeira Crós-Cós, linha de água mais próxima, com nascente a montante (topo oeste) do vale onde está implantado o ASMC, afluindo ao rio Tejo. A periodicidade de amostragem definida é trimestral aos parâmetros definidos na licença ambiental.

O controle da qualidade dos gases produzidos é realizado em todos os poços de drenagem instalados em zonas do aterro de RSU. São efetuadas medições mensais dos teores de CH₄ (metano), CO₂ (dióxido de carbono), O₂ (oxigênio) e H₂S (ácido sulfídrico). Na unidade de valorização energética do biogás é feita a medição em contínuo da vazão bem como a caracterização da qualidade do biogás. É também efetuada a caracterização dos efluentes gasosos provenientes dos motogeradores.

A drenagem dos gases produzidos no aterro é efetuada por meio de tubos verticais perfurados, em PEAD, com diâmetro 160 mm, inseridos na massa de resíduos desde a base da célula, os quais são executados gradualmente durante a operação, com cobertura no topo de aço móvel. Os espaços envolventes destes tubos são preenchidos com brita de granulometria grossa, protegida por grelha, até as camadas de selagem. Com a selagem da respectiva zona, a cobertura móvel do poço será substituída por uma cobertura definitiva.

O sistema de captação, drenagem e valorização energética do biogás é composto por três redes independentes, uma em cada célula de RSU, e por dois motogeradores, aos quais as redes se encontram ligadas.

Na célula de RSU já selada (célula correspondente ao antigo aterro explorado pelo Município de Vila Franca de Xira), a rede de drenagem de biogás é composta por 36 poços, unidos a um coletor central, o qual, por sua vez, se encontra ligado à unidade de valorização energética. A rede é em PEAD, tendo o coletor central um diâmetro de 125 mm e as tubulações de ligação entre os poços e o coletor central um diâmetro de 90 mm. Todas as tubulações têm um ponto de amostragem, para caracterização do efluente gasoso, e uma válvula para regular a vazão de cada poço.

Na célula 1 da Valorsul, já encerrada, a rede de drenagem de biogás é composta por 35 poços, unidos por grupos de poços a 5 ERMs (Estações de Regulagem e Medição). Estas ERMs estão ligadas a um coletor central, o qual, por sua vez, se encontra ligado à unidade de valorização energética. Esta rede também é de PEAD e dotada de pontos de amostragem e válvulas de regulação.

Na célula 2 da Valorsul, em operação, a rede de drenagem de biogás é composta por 14 poços, unidos por grupos de poços a 3 ERMs. Estas ERMs estão ligadas a um coletor central,

o qual se encontra ligado à unidade de valorização energética. Esta rede também é de PEAD e dotada de pontos de amostragem e válvulas de regulação.

O sistema de valorização energética, onde estão ligadas as 3 redes de captação e drenagem, é constituída por 2 unidades de aspiração de 500 m³/h cada e 2 grupos de motogeradores de 834 kW, cada um.

A drenagem dos lixiviados produzidos no interior das células do aterro é efetuada por meio de redes espinhadas de drenos que os conduzem por gravidade para uma caixa de inspeção exterior à célula e desta para um poço de bombeamento, a partir do qual são enviados para a Estação de Tratamento de Lixiviados (ETL).

Cada dreno é constituído por uma tubulação em PEAD com diâmetro 225 mm, perfurada e instalada no meio da camada drenante do fundo da célula.

O sistema de tratamento da ETL do ASMC consiste numa combinação de um tratamento biológico com um tratamento físico-químico, sendo o processo da estação de tratamento constituída por:

- Medição da vazão afluente na entrada do sistema;
- Adição de ácido fosfórico e antiespumífico no lixiviado de entrada, a montante do tratamento biológico;
- Tratamento biológico composto por duas lagoas de aeração;
- Tratamento físico-químico por coagulação/floculação com adição de policloreto de alumínio e de polieletrólito (fase líquida);
- Neutralização do efluente com hidróxido de sódio;
- Decantação com recirculação do lodo ao tratamento biológico;
- Descarga do efluente pré-tratado para o emissário, sendo destinado para Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) externa, sendo operada pelo município, diretamente por rede de tubulação.

Os lixiviados provenientes das células de RSU (célula Vila Franca de Xira e células 1 e 2 da Valorsul), das células de cinzas inertizadas e da Instalação de Tratamento e Valorização de Escórias são bombeados para a ETL. Na etapa final encontram-se instalados medidores de vazão eletromagnéticos.

O ácido fosfórico adicionado no lixiviado na entrada do sistema de tratamento tem a função de garantir as concentrações de fósforo necessárias ao bom funcionamento do tratamento biológico e o antiespumífico é utilizado para evitar a formação de espumas durante

o tratamento. Em seguida, as vazões são repartidas igualmente para alimentar as duas lagoas de aeração.

Nas lagoas, os microrganismos degradam a matéria orgânica presente nos lixiviados, com a ajuda do oxigênio fornecido pelas turbinas flutuantes (duas em cada lagoa), que são acionadas automaticamente de acordo com o nível de oxigênio dissolvido presente no lixiviado medido continuamente.

Após esta fase, o efluente proveniente do tratamento biológico é encaminhado para o tratamento físico-químico. Neste, efetua-se a coagulação/floculação, na qual são adicionados o policloreto de alumínio (coagulante) e um polieletrólito (floculante). Estes reagentes vão permitir que se formem flocos de dimensão e peso suficiente, para poderem decantar no decantador. Ainda durante esta etapa é adicionado hidróxido de sódio, para neutralizar o efluente.

Após este tratamento, o efluente segue para um decantador, no qual os flocos são separados por gravidade, formando-se o lodo no fundo.

O efluente pré-tratado que sai do decantador é descarregado no coletor municipal e encaminhado para ETE do município, pois conforme informação fornecida pela engenheira responsável pela operação do ASMC, este não pode ser lançado em nenhum recurso hídrico ou solo por não atender o parâmetro de nitrogênio estabelecido pela legislação.

O lodo do decantador é recirculado para as duas lagoas de aeração, de modo a promover o crescimento da biomassa dentro das lagoas, mas também existe uma etapa de tratamento, quando ocorre saturação deste, sendo encaminhado para um espessador e desidratação mecânica promovida por uma centrífuga.

No ASMC é tratada uma vazão média anual de 150 a 200 m³/dia de lixiviado. Esta vazão é verificada tanto na entrada como na saída do sistema.

Diante do sistema de tratamento de lixiviado apresentado no ASMC, que se trata da combinação de processos físico-químicos e biológicos, constatamos que, devido à grande diversidade de compostos presentes no lixiviado, para se atingir os parâmetros estabelecidos em legislações, processos convencionais não são eficazes, devendo ser incluído um processo de tratamento avançado afim de que seja possível lançar o lixiviado tratado em algum recurso hídrico ou solo.

As Figura 38, Figura 39, Figura 40 e Figura 41 mostram as células do ASMC em operação e em implantação.



Figura 38: Célula 1 e 2 de RSU em exploração



Figura 39: Célula 1 e 2 de RSU em exploração com detalhe da drenagem pluvial



Figura 40: Célula 1 e 2 de RSU em exploração com detalhamento da drenagem de gases



Figura 41: Célula 3 em implantação

As Figura 42, Figura 43, Figura 44, Figura 45 e Figura 46 apresentam a ETL do ASMC.



Figura 42: Lagoas de aeração da ETL



Figura 43: Lagoa de aeração da ETL com aeradores em funcionamento



Figura 44: Passagem entre as lagoas aeradas e o decantador



Figura 45: Passagem entre as lagoas aeradas e o decantador onde ocorre a adição de produtos químicos



Figura 46: Decantador

Nas Figura 47, Figura 48 e Figura 49, são mostradas a plataforma para tratamento e valorização de escórias, célula de cinzas inertizadas e a unidade de valorização energética, que recebe o biogás drenado da célula de resíduos, respectivamente.



Figura 47: Plataforma para tratamento e valorização de escórias



Figura 48: Célula de cinzas inertizadas



Figura 49: Unidade de valorização energética

4.10 Comparação da legislação no Brasil e em Portugal

Enquanto que em Portugal existe uma legislação única que trata do tipo de resíduos que pode ser disposto em aterros, classificação dos diferentes tipos de aterros e critérios de licenciamento, operação e encerramento dos aterros, Decreto-Lei nº183/2009, no Brasil existe a PNRS, que trata da gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos e da classificação dos resíduos, a Resolução Conama nº 404, de 11 de novembro de 2008, que estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental para aterros sanitários de pequeno porte, as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que estabelece a classificação de resíduos sólidos urbanos como na ABNT NBR 10004:2004, a ABNT NBR 13896:2007 que define critérios para projetos, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos, a ABNT NBR 8419:1992 que especifica como deve ser a apresentação de projetos dos aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, e ainda a ABNT 15849:2010 que apresenta diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento de aterros de pequeno porte.

As normas técnicas da ABNT não apresentam força de lei, somente fazem recomendações, porém por não haver leis específicas na área de aterros sanitários faz com que

o Órgão Ambiental no Estado do RS utilize estas como base para o licenciamento ambiental, especificando-as como condicionantes nas licenças.

Nestas legislações e normas brasileiras, assim como na legislação portuguesa, são estabelecidos critérios de localização dos aterros sanitários, análise de resíduos, proteção de águas subterrâneas e superficiais por meio de monitoramento das mesmas, impermeabilização do aterro, drenagem e tratamento do lixiviado, minimização das emissões gasosas, segurança do aterro levando em conta a segregação dos resíduos e elaboração de plano de emergência, elaboração de plano de inspeção e manutenção do aterro, condições gerais de operação e elaboração de plano de encerramento e cuidados para o fechamento do aterro. Na Tabela 18 são apresentados alguns critérios estabelecidos nas legislações e normas comparando Brasil e Portugal.

Existem ainda alguns requisitos estabelecidos no Decreto-Lei nº 183/2009 de Portugal, que não são abordados nas legislações brasileiras, tais como (Portugal, 2009):

1. Procedimento de licenciamento da operação de deposição de resíduos em aterros, onde são determinados requisitos mínimos para requerer a licença, levando em consideração inclusive o capital social dos empreendedores para cada tipo de aterro;
2. Taxas e tarifas: incluindo taxas para o licenciamento da operação do aterro, taxa de gestão de resíduos e tarifas cobradas pelo operador aos utilizadores do serviço de deposição de resíduos nos aterros.

Tabela 18: Comparação da legislação e normas brasileiras e portuguesa

Item	Brasil	Portugal
Apresenta como deve ser a gestão e gerenciamento de resíduos e determina os tipos de resíduos admissíveis e não admissíveis nos aterros	Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010)	Decreto-Lei n° 183/2009 (Portugal, 2009)
Operação, encerramento e pós-encerramento do aterro: define como o operador do aterro deve proceder em cada fase	ABNT NBR 13896:1997 (ABNT, 1997)	Decreto-Lei n° 183/2009 (Portugal, 2009)
Requisitos técnicos para todas as classes de aterros, abrangendo localização, controle de emissões e proteção do solo e águas, estabilidade, equipamentos, instalações e infra-estruturas de apoio, e encerramento e integração paisagística	ABNT NBR 13896:1997 (ABNT, 1997) ABNT NBR 10157:1987 (ABNT, 1987) Resolução CONAMA n° 404/2008 ABNT NBR 15849:2010 (ABNT, 2010)	Decreto-Lei n° 183/2009 (Portugal, 2009)
Elementos do projeto de execução e de operação do aterro	ABNT NBR 8419:1992 (ABNT, 1992)	Decreto-Lei n° 183/2009 (Portugal, 2009)
Procedimento de acompanhamento e controle nas fases de operação e pós-encerramento.	ABNT NBR 13896:1997 (ABNT, 1997)	Decreto-Lei n° 183/2009 (Portugal, 2009)

Fazendo uma comparação das legislações brasileiras com as portuguesas é possível observar que muitos critérios que foram tratados no Plano Setorial dos Resíduos Sólidos

Urbanos (PERSU) no ano de 1996 em Portugal, no Brasil somente em 2010 foram citados na PNRS e traçadas metas através do PLANARES publicado em 2012.

Em Portugal após a aprovação do PERSU I, que compreendia o período de 1997 a 2005, houve em um primeiro momento grandes investimentos em infraestrutura afim de que fossem alcançados os objetivos propostos no PERSU I. Em 2005 através do monitoramento foi constatado que apesar de não serem atendidos todos os objetivos propostos obteve-se um balanço positivo, sendo extinto todos os lixões em um curto espaço de tempo e implantado e difundido o sistema de coleta seletiva, que era primordial para o cumprimento dos objetivos da reciclagem de resíduos. Através dos dados apresentados no PERSU 2020, observa-se que em Portugal continua havendo uma melhoria na gestão dos RSU.

O que observamos no Brasil é justamente a falta de investimento na área de destinação final dos RSU.

A coleta seletiva, por exemplo, atende apenas 19% dos municípios brasileiros, pois conforme dados apresentados, apenas 1.055 municípios atualmente possuem sistema de coleta seletiva. Diante disto, é possível observar, por exemplo, a dificuldade no atendimento da Meta 3 do PLANARES, que previa uma redução de 22% dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterro até 2015, e a Meta 4 do PLANARES, que determinava uma redução de 19% dos resíduos úmidos dispostos em aterros, considerando que a destinação final mais utilizada no país são os aterros sanitários e os municípios sem a coleta seletiva acabam por encaminhar estes resíduos misturados com o resíduo orgânico e rejeito aos aterros.

De acordo com dados fornecidos pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), referente a levantamento realizado em 2015, somente 40% dos municípios brasileiros destinam os seus RSU para aterros sanitários, ou seja, 2.215 municípios realizam a disposição adequada dos seus RSU, representando 63% da população brasileira, cerca de 129 milhões de habitantes. Em compensação, 3.346 municípios continuam encaminhando os RSU para aterros controlados e lixões, representando cerca de 76,5 milhões de habitantes destinando os RSU para áreas inadequadas (MMA, 2016).

Com relação aos Planos Estaduais, conforme dados do MMA, somente 11 estados já estão com os seus planos elaborados e 2.323 municípios declararam que possuem Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (MMA, 2016).

Os dados apresentados mostram a falta de conscientização do Poder Público, verificando o descumprimento da PNRS, uma vez que por meio de seu art. 16, combinado com o art. 55, estabeleceu que a elaboração dos Planos Estaduais de Resíduos Sólidos, até 02 de agosto de 2012, era condição para os Estados terem acesso a recursos da União, ou por ela

controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à gestão de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade.

5. Considerações Finais

Analisando os dados apresentados no presente trabalho, verificamos que houve melhorias na destinação final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil após a homologação da PNRS.

Apesar de muitos municípios ainda não apresentarem um sistema de coleta seletiva, observa-se um aumento de quase 138% de municípios que implantaram programas, comparando dados de 2010, ano que a PNRS foi instituída, e dados de 2016.

De acordo com o diagnóstico de RSU apresentado no PLANARES, constatou-se que a forma mais utilizada de destinação final dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos no país é por meio de aterros sanitários, que apesar de apresentar grandes impactos ambientais caso este não seja implantado, gerenciado e operado adequadamente, ainda é a forma mais simples e econômica de dispor os resíduos sólidos urbanos. Também foi possível verificar que 97% dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos são encaminhados para disposição em solo, considerando lixão, aterro controlado e aterro sanitário, porém a grande maioria destes resíduos, representando 60%, são dispostos de forma adequada nos aterros sanitários.

No diagnóstico de RSU apresentado pelo PERS-RS em 2014, verifica-se que 80% dos municípios gaúchos realizavam a disposição final adequada em aterros sanitários. Porém, dentre a disposição final inadequada, ainda apresentava 3 áreas classificadas como lixão, onde 4 municípios destinavam os seus RSU.

Analisando os dados obtidos juntamente com a FEPAM para disposição de RSU no Estado do RS no ano de 2015, verifica-se que houve uma redução na disposição final adequada entre os anos de 2014 e 2015, uma vez que neste ano 70,8% dos municípios do Estado encaminharam seus RSU para áreas classificadas como disposição final adequada. Isto se explica pelo fato de que a existência de licenciamento ambiental não caracteriza uma disposição final adequada, de maneira que muitos empreendimentos licenciados, devido à sua má operação, foram classificados como disposição final inadequada. Desta forma não atendem a Meta 11 do PERS-RS, que determinava a eliminação total das unidades de disposição final inadequadas até 2014. Por outro lado, observa-se que foi cumprida a Meta 1 estipulada pelo PLANARES, que definia a eliminação total dos lixões até 2014, uma vez que se observou através dos dados obtidos pela FEPAM que nenhum município gaúcho estava destinando seus RSU para áreas classificadas como lixão em 2015, ressaltando que não há conhecimento da destinação dos RSU de 1,5% da população gaúcha.

Com relação às formas de disposição final dos RSU no Estado do RS, sendo consideradas aterros sanitários próprios, consórcios públicos e centrais de recebimento, dos 51 (cinquenta e um) locais de disposição final de resíduos sólidos urbanos, observa-se que a grande

maioria das áreas classificadas como inadequadas são administradas pelos próprios municípios, isto se dá devido à falta de priorização dos recursos financeiros para gerenciar e operar um aterro sanitário.

Avaliando os sistemas de tratamento de lixiviado implantado nas áreas de aterros sanitários do estado do RS, verifica-se que a maioria não possui um sistema implantado eficaz, de maneira que o lixiviado após tratado atinja os parâmetros estabelecidos na legislação para lançamento em recursos hídricos ou no solo. Observa-se que a maioria apenas apresenta lagoas de acumulo para posteriormente realizar o reciclo do lixiviado para o topo da célula, o que ocorre sem qualquer controle de vazão, teor de umidade da massa de resíduos já depositados na célula e estabilização do lixiviado, o que acaba sendo um grande problema em épocas de chuvas, devido ao aumento da vazão e possibilitando algumas vezes o transbordamento destas lagoas, podendo ocorrer a contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Nos empreendimentos que apresentam algum tipo de sistema de tratamento convencional (físico-químico e/ou biológico) do lixiviado, verifica-se que por meio deste não são atingidos os parâmetros estabelecidos pelas resoluções para lançamento. O mesmo foi constatado no ASMC localizado em Vila Franca de Xira – Portugal, onde foi possível verificar que com um tratamento implantado e sendo operado de maneira apropriada, não são atingidos todos os parâmetros estabelecidos pela lei portuguesa, sendo o efluente destinado para um tratamento externo juntamente ao esgoto doméstico.

Conforme dados apresentados na bibliografia, acredita-se que um tratamento combinado apresentando um tratamento avançado, como por exemplo a osmose reversa já implantada em dois aterros sanitários do Estado do RS, seja a forma mais adequada para tratamento deste efluente, devido à grande variabilidade nas características e complexidade do lixiviado.

Em comparação da legislação referente à gestão dos resíduos no Brasil e em Portugal, foi possível constatar que estas se assemelham. Porém na Europa começou a se propor a hierarquização dos resíduos, visando a redução de certos resíduos, reciclagem, recuperação, tratamento e/ou produção de energia a partir dos resíduos, e, enfim, a disposição em aterros, no ano de 1975. Em 1996, Portugal aprovou o PERSU, que estimulou, entre os principais pontos, o encerramento e recuperação ambiental dos lixões, alterações na gestão dos resíduos sólidos urbanos, o que posteriormente levou à redução, reutilização, reciclagem, separação na origem e minimização da disposição dos RSU em aterros. Já no Brasil somente em 2010, com a PNRS, foi definida a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos, incluindo a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético dos resíduos, e

estabelecida a disposição final somente dos rejeitos em aterros sanitários, determinando prazo para o encerramento dos lixões e implantação de planos de gestão dos resíduos sólidos estaduais e municipais.

Os critérios estabelecidos para implantação e operação de aterros sanitários em Portugal estão definidos no Decreto-Lei nº 183 de 2009. No Brasil existem normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, com parâmetros bastante semelhantes aos apresentados no decreto português, que são até mesmo anteriores ao decreto, porém por serem normas não apresentam força de lei, sendo recomendações. Estas servem, entretanto, de base no licenciamento e monitoramento dos aterros sanitários licenciados e fiscalizados pela FEPAM no estado do RS, uma vez que não existe legislação que regulamente a implantação e operação dos aterros sanitários no Brasil, tornando-se obrigatório o cumprimento destas normas por serem estabelecidas como condicionantes nas licenças ambientais emitidas pela FEPAM.

Com relação aos Planos, observa-se que em Portugal foi proposto um PERSU em 1996, onde houve grandes investimentos em infraestrutura visando o cumprimento dos objetivos propostos no plano. Através do monitoramento realizado em 2005 foi verificado um balanço positivo, uma vez que houve a extinção total dos lixões em um curto espaço de tempo e implantado e difundido o sistema de coleta seletiva, apesar de que nem todos os objetivos propostos foram alcançados, sendo desta forma elaborado o PERSU II, uma revisão do PERSU I e compreendendo o período de 2005 a 2016. Atualmente foi publicado o PERSU 2020, que compreende metas e objetivos a serem cumpridos no período de 2014 a 2020, apresentando dados de que em Portugal o sistema de gestão de RSU continua melhorando.

No Brasil foi apresentado o PLANARES em 2012, e o que se observa hoje é que não estão sendo cumpridas as metas estipuladas por este. Já com relação aos Planos Estaduais, verificou-se que nem todos foram apresentados até o presente momento, descumprindo desta forma a PNRS. Com relação ao PERS-RS, verifica-se que as metas também não estão sendo atendidas.

Analisando os dados apresentados neste trabalho, tanto com relação à coleta seletiva, como a disposição final dos resíduos sólidos, observa-se que a maioria dos municípios que não possuem um sistema de coleta seletiva no país, ou ainda que destinam os seus RSU para disposição final inadequada, se trata de municípios de pequeno porte, justamente pela falta de recursos humanos ou falta de priorização na contratação de profissional técnico habilitado e capacitado para realizar o gerenciamento dos RSU.

6. Conclusões

A PNRS no Brasil tem influenciado positivamente, uma vez que se observa o aumento de municípios que implantaram coleta seletiva no País. Outro ponto positivo da PNRS observado é que no estado do RS desde 2015 não há áreas classificadas como lixões em operação, porém ainda existe grande quantidade de resíduos sólidos urbanos sendo encaminhados para áreas de destinação final inadequadas.

Também é observado que grande quantidade de RSU é destinada para aterros sanitários, sem haver tratamento destes resíduos, tal como reciclagem ou compostagem.

Estes fatores negativos são evidenciados devido à falta de investimentos nesta área, contrariamente ao constatado em Portugal para que houvesse o atendimento do PERSU e a melhora na destinação dos RSU do país.

Através dos dados apresentados no presente trabalho, verifica-se que falta no Brasil a conscientização do Poder Público, afim de que sejam atendidos os objetivos propostos pela PNRS, para que haja uma destinação final adequada para todos os RSU gerados no país.

7. Sugestões para trabalhos futuros

Tendo em vista a continuidade dos estudos sobre a gestão dos resíduos sólidos urbanos são apresentadas aqui algumas recomendações:

- Realizar trabalho junto às Prefeituras do Estado do Rio Grande do Sul para que todas procurem se adequar a PNRS da seguinte forma:
 1. Implantando coleta seletiva, naquelas que ainda não possuem;
 2. Construindo centrais de triagem de forma a segregar os resíduos secos passíveis de reciclagem e o resíduo orgânico, que muitas vezes pode ser processado por compostagem, e desta forma encaminhando somente o rejeito para aterros sanitários, reduzindo desta forma a quantidade de resíduos dispostos nos aterros sanitários e os custos com disposição final;
 3. Propor realização de consórcio entre os municípios pequenos a fim de reduzir os custos de implantação e operação dos aterros sanitários para uma única Prefeitura;
 4. Intensificar a educação ambiental.

8. Referências bibliográficas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2012. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>. Acesso em julho de 2016.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2014. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>. Acesso em julho 2016.

ADLAN, M.N. et al. Optimization of coagulation and dissolved air flotation (DAF) treatment of semi-aerobic landfill leachate using response surface methodology (RSM). *Desalination* 277 (2011) 74–82.

APA – Agência Portuguesa do Ambiente. Disponível em: <http://apambiente.pt/>. Acesso em julho de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.157: aterros de resíduos perigosos – critérios para projetos, construção e operação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8.419: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13896: aterros de resíduos não-perigosos – critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.006: procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.007: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.849: resíduos sólidos urbanos – aterros sanitários de pequeno porte – diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro, 2010.

BARROS, R. M. Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Ed. Interciência Ltda, 2012.

BIDONE, R. F. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por um sistema composto por filtros anaeróbios seguidos por filtros anaeróbios seguidos de banhados construídos: estudo de caso – central de resíduos do recreio, em Minas do Leão/RS. 2007. 168 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Hidráulica e Saneamento. São Carlos, 2007.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que 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 República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicada no DOU nº 053, de 18 de março de 2005, págs. 58-63.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 404, de 11 de novembro de 2008, que estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. Publicada no DOU nº 220, de 11 de novembro de 2008, Seção 1, páginas 93.

CHEN, P. H. Assessment of leachates from sanitary landfills: impact of age, rainfall, and treatment. Environment International, vol. 22, nº 2, p. 225-237, 1996.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. Pesquisa Ciclosoft. Disponível em: <http://cempre.org.br/>. Acesso em julho 2016.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. 2 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

CEWEP - Confederation of European Waste-to-Energy Plants. Gráfico do gerenciamento de resíduos na Europa em 2014. Disponível em: <http://cewep.eu/about/cewep/index.html>. Acesso em julho de 2016.

CUCCHIELLA, F.; D'ADAMO, I.; GASTALDI, M. Strategic municipal solid waste management: a quantitative model for Italian regions. *Energy Conversion and Management*, vol. 77, p. 709-720, 2014.

DACANAL, M. Tratamento de lixiviado por meio de filtro anaeróbio associado a membrana de microfiltração. 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de Caxias do Sul. Programa de Pós-Graduação em Materiais. Caxias do Sul, 2006.

DOLAR, D.; Košutić, K.; Strmecky, T. Hybrid processes for treatment of landfill leachate: Coagulation/UF/NF-RO and adsorption/UF/NF-RO. *Separation and Purification Technology* 168 (2016) 39–46.

El-Fadel, M.; Bou-Zeid, E.; Chahine, W.; Alayli, B. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Management* 22 (2002) 269–282.

EPA - Environmental Protection Agency. Informações sobre aterros sanitários. Disponível em: <https://www.epa.gov/landfills/bioreactor-landfills>. Acesso em julho de 2016.

EUROPA. Conselho da União Europeia. Diretiva 75/442/CEE do Conselho, de 15 de julho de 1975, relativa aos resíduos. Publicada no JO L 194, de 25 de julho de 1975.

EUROPA. Conselho da União Europeia. Diretiva 91/689/CEE do Conselho, de 12 de dezembro de 1991, relativa aos resíduos perigosos. Publicada no JO L 377, de 31 de dezembro de 1991.

EUROPA. Conselho da União Europeia. Diretiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de abril de 1999, relativa à deposição de resíduos em aterros. Publicada no JO L 182, de 16 de julho de 1999.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Rossler. Portaria Nº. 12/1995 – SSMA: Aprova a Norma Técnica Nº 03/95 – FEPAM, que dispõe sobre a classificação dos empreendimentos de processamento e disposição final no solo, de resíduos sólidos urbanos, quanto à exigibilidade de estudo de impacto ambiental e relatório de impacto ambiental (EIA/RIMA) no licenciamento ambiental no estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil. Disponível em: www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/leg0000000025.rtf.

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Rossler. Informações sobre licenciamento ambiental. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br>. Acesso em julho de 2016.

GOMES, L. P. Estudos de Caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Projeto PROSAB, ABES, Rio de Janeiro, 2009. 362 p.

GUÉRIN, R.; MUNOZ, M.L.; ARAN, C.; LAPERRELLE, C.; HIDRA, M.; DROUART, E.; GRELLIER, S. Leachate recirculation: moisture content assessment by means of a geophysical technique. *Waste Management* 24 (2004) 785–794.

HASAR, H.; UNSAL, S.A.; IPEK, U.; KARATAS, S.; CINAR, O.; YAMAN, C.; KINACI, C. Stripping/flocculation/membrane bioreactor/reverse osmosis treatment of municipal landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials* 171 (2009) 309–317.

HUANG, W.; WANG, Z.; GUO, Q.; WANG, H.; ZHOU, Y.; NG, W.J. Pilot-scale landfill with leachate recirculation for enhanced stabilization. *Biochemical Engineering Journal* 105 (2016) 437–445.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativa da População 2015. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2015/estimativa_2015_TCU_2_0160211.pdf. Acesso em fevereiro de 2016.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diagnostico dos resíduos sólidos urbanos. Relatório de pesquisa, 2012. http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf. Acesso em julho 2016.

JUSTIN, M.Z.; ZUPANCIC, M. Combined purification and reuse of landfill leachate by constructed wetland and irrigation of grass and willows. *Desalination* 24 (2009) 15 –168.

LI, X. Z. ZHAO, Q.L.; HAO, X.D. Ammonium removal from landfill leachate by chemical precipitation. *Waste Management*, vol. 19, p. 409-415, 1999.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Informações sobre os planos de resíduos sólidos. <http://www.mma.gov.br/>. Acesso em julho de 2016.

MORATELLI, L. Estudo da evaporação como tecnologia ao pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários. 2013. 270 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2013.

MORAVIA, W.G.; AMARAL, M.C.S.; LANGE, L.C. Evaluation of landfill leachate treatment by advanced oxidative process by Fenton's reagent combined with membrane separation system. *Waste Management* 33 (2013) 89–101.

MÜLLER, G.T.; GIACOBBO, A.; CHIARAMONTE, E.A.S.; RODRIGUES, M.A.S; MENEGUZZI, A.; BERNARDES, A.M. The effect of sanitary landfill leachate aging on the biological treatment and assessment of photoelectrooxidation as a pre-treatment process. *Waste Management* 36 (2015) 177–183.

PEJON, O. J.; RODRIGUES, V.G.S; ZUQUETTE, L.V. Impactos ambientais sobre o solo. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. (Org.). *Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão*. Rio de Janeiro: Ed. Elsevier Editora Ltda., 2013. p. 317 – 343.

PERSU II, Plano estratégico para os resíduos sólidos urbanos 2007-2016. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional de Portugal. Portaria nº 187 de 12 de fevereiro de 2007. Publicada em: *Diário da República*, 1.a série — N.º 30 —

12 de fevereiro de 2007. Disponível em: http://apambiente.pt/zdata/Políticas/Resíduos/Planeamento/PERSU_II/Portaria_187_2007_PERSU_II.pdf. Acesso em julho 2016.

PERSU 2020, Plano estratégico para os resíduos sólidos urbanos 2014-2020. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional de Portugal. Portaria nº 187-A de 17 de setembro de 2014. Publicada em: Diário da República, 1.ª série — N.º 179 — 17 de setembro de 2014. Disponível em: http://apambiente.pt/zdata/DESTAQUES/2014/Portaria_PlanoEstrategico_PERSU2020_fina1.pdf. Acesso em julho 2016.

PERTILE, C. Avaliação de processos de separação por membranas como alternativa no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. 2013. 127 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Porto Alegre, 2013.

PLANARES – Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, agosto de 2012. Disponível em: http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PLANARES_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657. Acesso em julho 2016.

PERS-RS – Plano Nacional de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul. Dezembro de 2014. Disponível em: <http://www.pers.rs.gov.br/>. Acesso em julho 2016.

PORDATA – Base de Dados Portugal Contemporâneo. Informações sobre a coleta e destinação de resíduos sólidos urbanos em Portugal. Disponível em: <http://www.pordata.pt/portugal>. Acesso em setembro 2016.

PORTUGAL. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Decreto-Lei nº 183, de 10 de agosto de 2009. Publicado no Diário da República, 1ª série – N.º 153 de 10 de agosto de 2009.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual de Meio Ambiente – CONSEMA. Resolução nº 128, de 24 de novembro de 2006, que dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes

líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Publicado no DOE do dia 07 de dezembro de 2006.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual de Meio Ambiente – CONSEMA. Resolução nº 129, de 24 de novembro de 2006, que dispõe sobre a definição de critérios e padrões de emissão para toxicidade de efluentes líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul. Publicado no DOE do dia 07 de dezembro de 2006.

RODRIGUES, M. C. Tratamento eletrolítico de lixiviado de aterro sanitário. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2007.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials* 150 (2008) 468-493.

SILVAL, S.W. Fotoeletrooxidação na degradação de nonilfenol etoxilado em águas residuárias. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. Porto Alegre, 2013.

SINIR – Sistema Nacional de Informação sobre a Gestão de Resíduos Sólidos. Informações sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos no País. <http://www.sinir.gov.br/>. Acesso em julho de 2016.

SOUTO, G. D. B. Lixiviado de aterros sanitários brasileiros – estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”). 2009. 371 f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2009.

SOUTO, G. D. B.; POVINELLI, J. Resíduos sólidos. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. (Org.). *Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão*. Rio de Janeiro: Ed. Elsevier Editora Ltda., 2013. p. 565 – 588.

SYZDEK, A. C.; AHLERT, R. C. Separation of landfill leachate with polymeric ultrafiltration membranes. *Journal of Hazard Mater* 9 (1984) 209-220.

TATSI, A. A.; ZOUBOULIS, A. I. A field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal solid waste landfill in a Mediterranean climate (Thessaloniki, Greece). *Advances in Environmental Research* 6 (2002) 207 – 219.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. *Wasterwater Engineering, Treatment and reuse*. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 2004.

TROTTA, P. A gestão de resíduos sólidos urbanos em Portugal. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 7, 2011, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.inovarse.org/filebrowser/download/8537>. Acesso em julho 2016.

VALORSUL - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e do Oeste, S.A. Deposição em Aterros. <http://www.valorsul.pt/>. Acesso em julho 2016.

VERMA, M.; KUMAR, R.N. Can coagulation—flocculation be na effective pre-treatment option for landfill leachate and municipal wastewater co-treatment? *Perspectives in Science* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.pisc.2016.05.005>.

ZOUBOULIS, A. I.; Wu, J.; KATSOYIANNIS, I. A. Removal of humic acids by flotation. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 231 (2003) 181–193.