

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL -
PPGECEA

DÁRIO MAGALHÃES DIAS

**ELABORAÇÃO DE UMA MATRIZ PARA AVALIAÇÃO DE MODELOS
SIMPLIFICADOS DE ATERROS SANITÁRIOS APLICÁVEL A MUNICÍPIOS DE
PEQUENO PORTE**

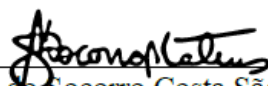
FEIRA DE SANTANA
SETEMBRO/2020

ELABORAÇÃO DE UMA MATRIZ PARA AVALIAÇÃO DE MODELOS
SIMPLIFICADOS DE ATERROS SANITÁRIOS APLICAVEL A MUNICÍPIOS DE
PEQUENO PORTE

Dário Magalhães Dias

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA
CIVIL E AMBIENTAL.

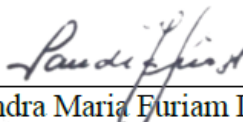
Aprovada por:



Prof. Maria de Socorro Costa São Mateus, D. Sc
Orientadora – Universidade Estadual de Feira de Santana

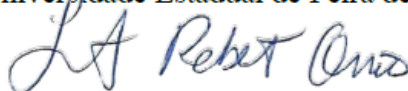


Carlos César Uchôa de Lima, D. Sc.
Coorientador – Universidade Estadual de Feira de Santana

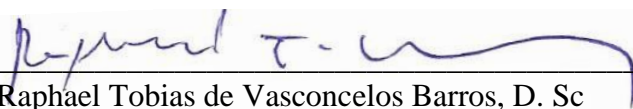


Sandra Maria Furiam Dias, D. Sc.

Universidade Estadual de Feira de Santana



Prof. Sílvio Roberto Magalhães Orrico, D. Sc
Universidade Estadual de Feira de Santana



Prof. Raphael Tobias de Vasconcelos Barros, D. Sc

Universidade Federal de Minas Gerais

FEIRA DE SANTANA

SETEMBRO/2020

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado – UEFS

Dias, Dário Magalhães

D531e Elaboração de uma matriz para avaliação de modelos simplificados de aterros sanitários aplicável a municípios de pequeno porte / Dário Magalhães Dias. – 2020.
104f. : il.

Orientadora: Maria do Socorro Costa São Mateus
Coorientador: Carlos César Uchôa de Lima

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Feira de Santana.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2020.

1. Resíduos sólidos urbanos - Gestão. 2. Aterro sanitário – Matriz de avaliação. 3. Aterros Sanitários de Pequeno Porte (ASPP). I. São Mateus, Maria do Socorro Costa, orient. II. Lima, Carlos César Uchôa de, coorient. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDU: 628.4

Rejane Maria Rosa Ribeiro – Bibliotecária CRB-5/695

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Eterno, pelo dom da vida e por me conduzir até aqui. Porque d'Ele, por Ele e para Ele, são todas as coisas! Aos meus pais, irmã, cunhado e sobrinhos por todo o apoio e incentivo e por serem sempre o meu porto seguro. A todos os meus amigos e colegas de mestrado, em especial a Maíra, Francys, Samuel e Vinícius pela amizade, companheirismo e suporte nas necessidades de me ausentar de Feira de Santana por motivos de trabalho. Aos meus irmãos que a Chapada Diamantina me deu e que foram importantes nesta fase da minha vida: Gabriela, Milena e Marcos Helfenstein.

Agradeço a minha orientadora, Prof.^a Socorro São Mateus, pela compreensão, atenção e cuidado de sempre e pelas contribuições dadas ao meu desenvolvimento acadêmico. Ao meu Coorientador Prof. Carlos Uchôa por todas as contribuições. A Prof.^a Sandra Furiam pelas valiosas contribuições para este trabalho e por se dispor a ajudar de maneira tão afável. À Universidade Estadual de Feira de Santana e ao PPGECEA pela oportunidade de realização do curso. A todos os docentes e funcionários do PPGECEA, em especial a Mari pelos valiosos conselhos, atenção e amizade. Ao Programa IFBA Saneando a Bahia - PISA e FUNASA pela compreensão e autorização do uso do banco de dados do programa e aos meus colegas da engenharia de campo pela amizade e incentivo.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram diretamente e indiretamente com a minha formação pessoal e profissional.

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGECEA/UEFS como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

ELABORAÇÃO DE UMA MATRIZ PARA AVALIAÇÃO DE MODELOS
SIMPLIFICADOS DE ATERROS SANITÁRIOS APLICÁVEL A MUNICÍPIOS DE
PEQUENO PORTE

Dário Magalhães Dias

Setembro/2020

Orientador: Maria do Socorro Costa São Mateus, D Sc:

Coorientador: Carlos César Uchôa de Lima, D Sc:

Programa: Engenharia Civil e Engenharia Ambiental

Os “lixões” são uma realidade em mais de 53,88% dos municípios brasileiros, em sua maioria de pequeno porte. Esta condição permite adotar técnicas simplificadas de aterros sanitários, para dispor os resíduos sólidos adequadamente. Embora existam diversas matrizes de avaliação, a escolha adequada da área de disposição encontra dificuldades, na definição das características técnicas requeridas pelos modelos. Este trabalho propõe uma matriz de avaliação, para escolha dos modelos de aterros sanitários de pequeno porte, considerando especificidades locais. Os modelos da CONDER, CEPIS/OPS, PROSAB e CETESB foram estudados e hierarquizados, atribuindo-se notas de acordo com May (2008) e pesos segundo Monteiro e Zveibil (2001). A versão inicial da matriz foi testada e, ajustada, detalhando os pesos, que resultou na matriz final. Os ajustes valorizaram características como balanço hídrico, profundidade do lençol freático, existência de coleta seletiva e cooperativa de catadores, alterando as indicações iniciais dos modelos para os três municípios estudados.

Palavras-Chave: Gestão de RSU; Matriz de avaliação; ASPP.

Abstract of Dissertation presented to PPGECEA/UEFS as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ELABORATION OF A MATRIX FOR EVALUATION OF SIMPLIFIED MODELS
OF LANDFILLS APPLICABLE TO SMALL MUNICIPALITIES

Dário Magalhães Dias

September/2020

Advisor: Maria do Socorro Costa São Mateus, D Sc:

Co-supervisor: Carlos César Uchôa de Lima, D Sc:

Program: Civil Engineering and Environmental Engineering

“Dumps” are a reality in more than 53.88% of Brazilian municipalities, mostly small ones. This condition makes it possible to adopt simplified landfill techniques to properly dispose solid waste. Although several evaluation matrices exist, some difficulties persist to define the technical characteristics required by the models to ensure the adequate choice of the disposal area. This work proposes an evaluation matrix for choosing small landfill models considering local characteristics. The CONDER, CEPIS / OPS, PROSAB and CETESB models were ranked, assigning grades according to May (2008) and weights according to Monteiro and Zveibil (2001). The initial version of the matrix was tested and adjusted, detailing the weights, which resulted in the final matrix. The adjustments pointed characteristics such as water balance, depth of the water table, existence of selective collection and collectors’ cooperative, changing the models initially indicated for the three studied municipalities.

Key words: MSW management; Evaluation matrix; Small landfill.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 DESAFIOS DA GESTÃO E MANEJO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS FRENTE A ATUAL SITUAÇÃO ECONÔMICA E FINANCEIRA DOS MUNICÍPIOS.....	15
2.2 ATERROS SANITÁRIOS DE PEQUENO PORTE: OPORTUNIDADE E DESAFIOS PARA O ENCERRAMENTO DE VAZADOUROS A CÉU ABERTO.....	28
2.2.1 Aterro em valas proposto pela CETESB.....	40
2.2.2 Aterro Sanitário Simplificado proposto pela CONDER	41
2.2.3 Aterro Sanitário Manual proposto pelo CEPIS/OPS.....	43
2.2.4 Aterro Sustentável proposto pelo PROSAB.....	45
2.2.5 Vantagens e desvantagens de cada método de ASPP analisado.....	47
3 METODOLOGIA	50
3.1 HIERARQUIZAÇÃO DOS MODELOS DE ASPP E DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE INTERESSE PARA ELABORAÇÃO DA MATRIZ	50
3.1.1 Categoria do meio físico e fatores ambientais.....	52
3.1.2 Categoria sanitária/operacional	57
3.1.3 Categoria social	61
3.2 SISTEMATIZAÇÃO DE PONTOS E PESOS DAS CARACTERÍSTICAS DE CADA CATEGORIA.....	64
3.2.1 Definição das notas	64
3.2.2 Abordagem metodológica para definição dos pesos de cada característica	66
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.1 HIERARQUIZAÇÃO DOS MODELOS DE ASPP.....	72
4.2 MATRIZ DE AVALIAÇÃO DE MODELOS DE ASPP	73
4.1.2 Versão Inicial da Matriz de Avaliação	73
4.3 APLICAÇÃO DA VERSÃO INICIAL DA MATRIZ	75
4.3.1 Características dos Municípios selecionados	75

4.3.2 Modelos de ASPP indicados aos Municípios Analisados	78
4.4 VERSÃO FINAL DA MATRIZ: NOVA PROPOSTA METODOLÓGICA	80
4.4.1 Inserção do método de Buarque (2003) na Matriz de avaliação de modelos de ASPP	83
4.4.2 Discussão dos resultados obtidos com o método de Buarque (2003) na Matriz de avaliação de modelos de ASPP	88
5 CONCLUSÕES.....	92
6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	95
REFERÊNCIAS	96
APÊNDICES	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Disposição final de resíduos sólidos do nordeste brasileiro	21
Figura 2 - Corte esquemático de aterro segmentado em células	29
Figura 3 - Municípios brasileiros por faixa de população	30
Figura 4 - Evolução dos custos de implantação de aterro sanitário por habitante de acordo com a população a ser atendida	30
Figura 5 - Modelo conceitual do aterro do Condado de Wallace - Kansas/EUA.....	38
Figura 6 - Modelo conceitual de aterros de RSU e migração de lixiviados através das zonas vadosas e aquíferas.....	38
Figura 7 – Aterro manual: diferentes métodos construtivos de célula	44
Figura 8 - Localização dos Municípios baianos selecionados: Cocos, Igaporã e Maraú	70
Figura 9 - Hierarquização dos modelos de ASPP e respectivas faixas de pontuação	72
Figura 10 - Versão inicial da Matriz elaborada para avaliação de modelos de ASPP	74
Figura 11 - Detalhe da caixa de listagem de múltipla escolha para a característica profundidade do lençol freático.....	75
Figura 12 - Balanço hídrico dos municípios baianos de Igaporã, Maraú e Cocos	76
Figura 13 - Pesos calculados para as características da categoria do meio físico e fatores ambientais segundo Buarque (2013).....	83
Figura 14 - Pesos calculados para as características da categoria sanitária/operacional segundo Buarque (2013).....	84
Figura 15 - Pesos calculados para as características da categoria social segundo Buarque (2013)	85
Figura 16 – Versão final da Matriz elaborada para avaliação de modelos de ASPP	87
Figura 17 - Perfil construtivo de uma célula em trincheira, proposto pelo PROSAB.....	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores vinculados à problemática do manejo dos resíduos sólidos	19
Quadro 2 - Limites máximos do excedente hídrico (EH, mm/ano) para a dispensa da impermeabilização complementar.....	34
Quadro 3 - Características do Método de ASPP proposto pela CETESB (1997)	40
Quadro 4 - Características do Método de ASPP proposto pela CONDER	42
Quadro 5 - Características do Método de ASPP proposto pelo CEPIS/OPS	44
Quadro 6 - Situações recomendadas para aterro manual e aterro convencional de resíduos sólidos	45
Quadro 7 - Características do Método de ASPP proposto pelo PROSAB	45
Quadro 8 - Vantagens e desvantagens de cada modelo de ASPP estudado	47
Quadro 9 - Principais elementos construtivos de um aterro sanitário: comparação dos modelos de ASPP	51
Quadro 10 - Características a serem observadas na escolha do método de ASPP	64
Quadro 11 – Classificação e composição das notas para as opções de resposta de cada característica: elaboração da matriz (continua).....	65
Quadro 12 - Características dos municípios selecionados: simulação na versão inicial da matriz	77
Quadro 13 – Adaptação da proposta de Buarque (2003) para utilização na versão final da matriz elaborada	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Prazos para o encerramento dos lixões de acordo com o novo marco regulatório do saneamento.....	18
Tabela 2- Massa coletada per capita de RSU e IDHM médio por região geográfica do Brasil ..	22
Tabela 3 - Geração per capita de resíduos sólidos em países desenvolvidos.....	23
Tabela 4 - Indicador médio de despesa com manejo de RSU sobre a despesa corrente total da Prefeitura.....	24
Tabela 5 - Recuperação de recicláveis secos em relação à massa total de resíduos domiciliares e públicos	25
Tabela 6 - Percentual de municípios por tipo de disposição final adotada	27
Tabela 7 - Investimentos necessários para extinção de lixões no Brasil – Quadriênio 2015-2019	27
Tabela 8 – Influência dos elementos de uma célula de ASPP no condado de Wallace, oeste do Kansas (EUA), na percolação de chorume para o lençol freático	36
Tabela 9 – Definição de Notas pelo método de AASAS	65
Tabela 10 - Hierarquização dos critérios e respectivos pesos	67
Tabela 11 - Peso percentual por tipo de atendimento	67
Tabela 12 - Classificação e Peso das Características de interesse.....	68
Tabela 13 - Características dos municípios selecionados no estado da Bahia	70
Tabela 14 - Resultados da versão inicial da matriz de avaliação: indicação de modelos de ASPP aos municípios selecionados	78
Tabela 15 – Análise das características físicas e ambientais aplicando a proposta de Buarque (2013).....	82
Tabela 16 – Representação percentual das densidades segundo a proposta de Buarque (2013). 82	
Tabela 17 – Densidade e respectivo peso percentual adotados de Buarque (2013) para as categorias.....	84
Tabela 18 - Indicação de modelos de ASPP aos municípios estudados: resultados da versão inicial e final da matriz de avaliação	88

LISTA DE SIGLAS

ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	–	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ASPP	–	Aterro Sanitário de Pequeno Porte
CEPIS/OPS	–	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente/Organización Panamericana de la Salud
CERB	–	Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia
CETESB	–	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	–	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONDER	–	Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia
COVID - 19	–	Coronavirus Disease 2019
CTC	–	Capacidade de Troca Catiônica
DBO	–	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	–	Demanda Química de Oxigênio
EH	–	Excedente Hídrico
CEAA	–	Contas Econômicas Ambientais da Água
CERB	–	Companhia de Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos da Bahia
CONAMA	–	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CP	–	Caixa de Passagem
CPRM	–	Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
DATASUS	–	Departamento de Informática do SUS
DBO	–	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EMBRAPA	–	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNASA	–	Fundação Nacional de Saúde
GAC	–	Gestão Ambiental Compartilhada
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	–	Instituto Nacional de Meteorologia
IPEA	–	Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas
MMA	–	Ministério do Meio Ambiente
NBR	–	Norma Técnica
OMS	–	Organização Mundial da Saúde
PEAD	–	Polietileno de Alta Densidade
PEV	–	Ponto de Entrega Voluntária
PISA	–	Programa IFBA Saneando a Bahia
PMGIRS	–	Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	–	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PROSAB	–	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
RSU	–	Resíduos Sólidos Urbanos

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, aliado à forma de consumo e de produção em larga escala, sobretudo após a Revolução Industrial, fez emergir um problema sanitário e ambiental: a geração, destinação e disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

A temática manejo de resíduos sólidos e demais componentes do saneamento básico vem ganhando maior destaque, desde que ocorreu a declaração de uma pandemia em escala global causada pelo novo coronavírus (Sars-CoV-2). A pauta do adequado manejo de resíduos sempre estabeleceu um debate entre as *interfaces* da saúde pública e das questões ambientais. No entanto, a característica epidemiológica da crise da COVID-19 evidenciou as carências e desigualdades sanitárias no Brasil, enfatizando a importância deste debate.

Neste contexto de pandemia, do ponto de vista da saúde pública, a destinação ambientalmente adequada é essencial no enfrentamento desta emergência sanitária. No entanto, a disposição inadequada de resíduos ainda é uma realidade em muitas cidades brasileiras.

Dados da ABRELPE (2019) mostram que no Brasil, no ano de 2018, cerca de 29,5 milhões de toneladas de RSU acabaram indo parar em lixões ou em outras formas inadequadas de disposição. Esta é a realidade em 53,88% dos municípios brasileiros, ou seja, 3.001 municípios do país despejam seus resíduos em locais inapropriados. Na Bahia, dados de 2018 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS apontam que os lixões são uma realidade em 77,37% dos municípios baianos que participaram da pesquisa (SNIS, 2019).

Os municípios, responsáveis legais pelos serviços de coleta e disposição final de diferentes tipos de resíduos sólidos, alegam falta de recursos e corpo técnico capacitado para a implantação de aterros sanitários. Esse contexto mostra a necessidade de se pensar em técnicas simplificadas de aterros com vistas a reduzir custos de instalação, manutenção e operação, visando atender aos municípios de pequeno porte.

Neste sentido, a adoção dessas técnicas simplificadas torna-se uma oportunidade de reverter o atual cenário de desigualdade na gestão e manejo dos resíduos sólidos, uma vez que promove a redução nos mecanismos operacionais e de projeto, com custos menores, enquanto mantém minimamente os requisitos de salubridade ambiental e sanitária.

Segundo a norma NBR-15.849 (ABNT, 2010), sempre que as condições físicas permitirem, os municípios brasileiros de pequena população poderão optar por implantar sistemas simplificados de disposição final, em razão das pequenas quantidades e das características dos resíduos gerados. Sem prejuízos do controle de impactos ambientais e sanitários, algumas estruturas ou sistemas comuns em aterros sanitários convencionais, podem, sob certas condições, ser facultadas nos chamados Aterros Sanitários de Pequeno Porte (ASPP).

No entanto, a norma não especifica a metodologia de construção e operação destes aterros, cabendo a cada município, com base em critérios técnicos, avaliar a melhor alternativa tecnológica de ASPP para implantar em seu território.

No gerenciamento e manejo dos resíduos sólidos, matrizes de avaliação são utilizadas em diversos trabalhos, como instrumentos de gestão, para subsidiar a escolha de áreas para a implantação de aterros sanitários (MONTEIRO & ZVEIBIL, 2001; GOMES & MARTINS, 2003; CORREIA & LANÇA, 2008; GOEZ, 2015). Matrizes também são utilizadas para avaliação de aterros em operação ou como ferramentas de análise da gestão dos RSU's, a partir de indicadores de sustentabilidade (MAY, 2008; SANTIAGO & DIAS, 2012). Os autores citados ratificam a pertinência do uso da matriz de avaliação, para o planejamento das ações de gestão dos resíduos.

Além de proporcionar o cumprimento da legislação ambiental, estas ferramentas de análise por meio de matrizes de avaliação, podem integrar os diversos mecanismos de planejamento, tais como planos municipais de saneamento, saúde e de bacias hidrográficas. Porém, em se tratando de modelos de ASPP, há carências de instrumentos e ferramentas de análise nesta área, que possam auxiliar os gestores e agentes tomadores de decisão, quanto à deliberação sobre o método operacional que melhor se adegue a realidade de seu município.

Neste estudo, foram considerados quatro modelos propostos para ASPP já amplamente utilizados: *Aterro Simplificado*, desenvolvido pela Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER, 2002); *Aterro Manual*, proposto pelo Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente/Organización Panamericana de la Salud (CEPIS/OPS, 2002); *Aterro Sustentável*, concebido pelo Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB, 2003) e ainda o *Aterro em Valas*, desenvolvido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2010). Esses modelos foram estudados e discutidos e, por fim,

elaborou-se uma matriz para auxiliar na escolha adequada de modelos de operação de aterros sanitários em municípios de pequeno porte.

1.1 OBJETIVO GERAL

A pesquisa tem como objetivo geral estruturar uma matriz de avaliação para ser aplicada como instrumento de decisão na escolha de modelos de ASPP – aterros sanitários de pequeno porte.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a adequação e pertinência das tecnologias simplificadas de aterros sanitários no cumprimento da legislação ambiental, em contraponto à realidade dos municípios de pequeno porte.
- Identificar e categorizar as características que interferem na escolha de um modelo de ASPP em detrimento de outro, classificando-as em categorias do meio físico e fatores ambientais, sanitários/operacionais e sociais e atribuindo notas e pesos a cada uma delas.
- Classificar os modelos de ASPP em função de suas restrições, hierarquizando-os do mais flexível ao mais rígido em comparação ao modelo de aterro sanitário do tipo convencional.
- Criar/propor uma Matriz de Avaliação aplicável à tomada de decisões e executar a matriz proposta em três municípios baianos com características distintas, para avaliação e validação da mesma.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DESAFIOS DA GESTÃO E MANEJO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS FRENTE A ATUAL SITUAÇÃO ECONÔMICA E FINANCEIRA DOS MUNICÍPIOS

O ano de 2020 marca uma década desde que a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/10 (Brasil, 2010), foi promulgada. E, desde então, por todo o país, o manejo dos resíduos sólidos ainda é marcado por limitados avanços e constantes discontinuidades na gestão.

Por outro lado, o ano de 2020 é cenário de uma pandemia causada pelo vírus Sars-CoV-2, que provoca uma síndrome respiratória aguda grave, também conhecida como COVID – 19 ou novo coronavírus. A Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou, no dia 11 de março de 2020, que a COVID – 19 havia se tornado uma pandemia em escala mundial.

Desde então, o enfrentamento à pandemia revela a complexidade do retorno à normalidade, com diversos serviços interrompidos e impactos na economia global. A definição do que é serviço prioritário demarca o que pode ou não ser ofertado à sociedade, principalmente aqueles que têm caráter de ser caracterizados como ações efetivas no combate à pandemia. Neste cenário, no Brasil, o Decreto Federal nº 10.282/2020 (Brasil, 2020) estabelece que o manejo dos resíduos sólidos é enquadrado como um serviço público e atividade essencial, por ser indispensável ao atendimento das necessidades inadiáveis da comunidade que, se não atendidas, representam um risco a saúde da população.

Segundo a ABRELPE (2020), durante o período de emergência sanitária decorrente da pandemia do novo coronavírus, e em função das medidas adotadas de quarentena, isolamento e distanciamento social, haverá um aumento considerável na quantidade gerada de resíduos. De acordo com esta associação, deverá ser observado um aumento entre 15% e 25% de resíduos sólidos domiciliares e um crescimento na geração de resíduos hospitalares de 10 a 20 vezes maior que o normal, nas unidades de atendimento à saúde.

Pugliese *et al.* (2020) ratificam que a prestação dos serviços de limpeza urbana é uma ação da saúde pública, essencial para a proteção do meio ambiente e da saúde humana, que não pode ser interrompida, mesmo durante crises epidêmicas. Por isso, é indispensável assegurar que tais serviços sejam diariamente executados, uma vez que

podem auxiliar no enfrentamento e na prevenção da transmissão do vírus. Os autores ressaltam ainda que a má gestão e acúmulo de resíduos podem contribuir para a infestação de outras doenças e endemias, afetando ainda mais a imunidade das pessoas e sobrecarregando o, já fragilizado, sistema público de saúde.

A crise provocada pelo novo coronavírus evidenciou a fragilidade estrutural e ressaltou as desigualdades sociais e do saneamento básico no Brasil. A prestação dos serviços públicos de coleta, tratamento dos resíduos e disposição final dos rejeitos não alcança a maior parte da população brasileira, que é privada da higiene básica e de poder cumprir os protocolos que reduzem o risco de contaminação. Apesar da coleta de resíduos cobrir 98,8% da população urbana da sede municipal (SNIS, 2019), nos povoados e comunidades da zona rural, no entanto, a universalização do serviço de coleta não é uma realidade. O último levantamento oficial, realizado em função do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, apontou que em 2012, os serviços de coleta na área rural cobriam apenas 31,6% dos domicílios, resultando em 5 milhões de toneladas/ano de resíduo sólido domiciliar rural sendo queimado, enterrado ou lançado a céu aberto.

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos da plataforma do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que é a fonte oficial de dados, publicados anualmente pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (antigo Ministério das Cidades). Ressalta-se, porém, que esses dados são provenientes de informações autodeclaratórias, repassadas pelos prestadores de serviços de saneamento, sem qualquer tipo de validação ou verificação externa. A análise da plataforma se restringe apenas à verificação de inconsistências nos campos preenchidos.

Os dados de diagnóstico anual publicados pelo SNIS têm sido discutidos por Farias (2011), Costa et al. (2013) e Maia (2016), que salientam a possibilidade de divergência desses dados com a realidade, sobretudo em municípios de pequeno porte devido a diversos motivos, como falta de corpo técnico capacitado para mensuração dos indicadores; falta de compromisso do prestador sobre as informações; dados obtidos de maneira equivocada, com pouca acurácia ou manipulados para atendimento de interesses diversos.

No entanto, apesar das indagações sobre o contexto em que foram obtidas as informações publicadas na plataforma do SNIS, este trabalho utilizou os dados como referência para diagnosticar a situação da gestão e manejo dos resíduos sólidos, devido à ausência de outras fontes oficiais de informações atualizadas sobre saneamento.

Municípios com altos índices de desigualdades sociais e precário sistema de saneamento básico são uma realidade, como é o caso do Brasil. A OMS tem mostrado preocupação com esses municípios, porque têm apresentado uma ampliação da força de contágio do novo coronavírus maior que municípios com melhores índices de universalização do saneamento. A pandemia reacende a polêmica sobre a não implementação da PNRS em todo o Brasil, em especial sobre a erradicação dos vazadouros a céu aberto, também conhecidos como lixões, que ainda continuam sendo um grande desafio para o país.

Do ponto de vista dos aspectos legais e normativos, o Brasil dispõe de diversos instrumentos legais (leis, decretos, portarias, etc.) sobre a matéria dos resíduos sólidos urbanos, todos visando a erradicação da disposição inadequada do lixo, quer seja por questões de saúde pública, quer seja almejando condições sanitárias e ambientais favoráveis para se alcançar um meio ambiente ecologicamente equilibrado.

O descarte inadequado dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é proibido no Brasil desde 1954, por meio da Lei Federal nº 2.312, de 3 de setembro de 1954, como um dos mecanismos necessários para a defesa e proteção da Saúde. Em 2007, ao instituir a Política Nacional de Saneamento Básico, a Lei Federal nº 11.445/07 sobre a temática de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, passa a integrar um dos quatro componentes que devem ser implementados para se efetivar um sistema de saneamento básico que alcance, dentre outros objetivos, a universalização e a salubridade ambiental.

No entanto, em 2010, com a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), é que, de forma clara, o lançamento *in natura* a céu aberto dos resíduos sólidos e rejeitos (excetuados os resíduos de mineração) se tornou proibido em todo território nacional. Esta legislação previa o encerramento dos lixões em agosto de 2014; no entanto, poucos foram os municípios que conseguiram se regularizar.

A Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020 (BRASIL, 2020), conhecida como novo marco regulatório do saneamento básico, altera o prazo para que os municípios façam a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e encerrem os vazadouros a céu aberto. Pela nova legislação, o prazo é estabelecido em função de condicionantes: possuir plano intermunicipal de resíduos sólidos ou Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), dispondo de mecanismos de cobrança pelos serviços de manejo de resíduos sólidos, de modo a garantir sua sustentabilidade

econômico-financeira. A Tabela 1 mostra o novo cronograma estabelecido, a partir da situação do município em função do porte populacional e gestão dos resíduos.

Tabela 1 -Prazos para o encerramento dos lixões de acordo com o novo marco regulatório do saneamento

Municípios por faixa populacional	Não Possui PMGIRS	Possui PMGIRS e mecanismos de cobrança pelos serviços de manejo de RS
Capitais, RM ¹ ou RIDE ¹	31 de dezembro de 2020	2 de agosto de 2021
> 100.000 habitantes		2 de agosto de 2022
50.000 ≤ habitantes ≤ 100.000		2 de agosto de 2023
<50.000 habitantes		2 de agosto de 2024

¹ Regiões Metropolitanas

² Região Integrada de Desenvolvimento

Fonte: BRASIL, 2020.

Em se tratando da PNRS, não apenas os municípios deixaram de cumprir com suas responsabilidades. Em 2017, um relatório de auditoria da Controladoria Geral da União (CGU, 2017) apontou as fragilidades referentes ao papel do Governo Federal, que não cumpriu seus deveres para alcançar a meta de erradicação dos lixões e aterros controlados. Dentre os pontos de fragilidade, apresentados neste relatório, destacam-se: inexistência de um Plano Nacional de Resíduos Sólidos aprovado, mesmo transcorridos 10 anos desta incumbência; implantação de um Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos, sem atender às exigências previstas na legislação e sem aplicação, e descontinuidade de aporte financeiro aos entes federados (Estados, Municípios).

De acordo com a Constituição Federal do Brasil (Brasil, 1988), a coleta e disposição final adequada do RSU são uma atribuição do município, por se enquadrarem como gestão dos serviços públicos de interesse local. No entanto, por várias razões, notadamente a escassez de recursos, as deficiências da gestão e administração pública, aliadas à falta de consciência ambiental, são consideradas pelos gestores os motivos pelos quais os municípios não conseguiram erradicar os lixões. Isto implica em degradação do solo, contaminação de mananciais hídricos, poluição do ar e proliferação de vetores que podem transmitir diversas doenças.

O Quadro 1 apresenta alguns dos principais fatores que interferem no adequado manejo de resíduos sólidos, na América Latina e no Caribe, divulgados pela Organização Pan-americana de Saúde (OPAS, 2005).

Quadro 1 - Fatores vinculados à problemática do manejo dos resíduos sólidos

FATORES	DESCRIÇÃO
Planejamento e compromisso das autoridades locais	Horizontes muito curtos dado o breve período das administrações municipais
Administração municipal	Volatilidade e descontinuidade política
Oneração do orçamento público Municipal	Falta de uma cultura de pagamento pelos serviços prestados, necessitando de subsídios públicos
Decisões e debate público	Partidarismo
Responsabilidade dos geradores	Falta de uma cultura de manejo dos resíduos gerados a nível individual
Controle e Aplicação de ordem jurídica	Ausências de fiscalização
Ausência de projetos, concessões e contratos de gestão para o manejo dos resíduos urbanos	Barreiras ideológicas
Investimento e fontes de financiamento	Incerteza para o investimento e falta de transparência nas decisões dos governos locais
Gestores do manejo de RSU	Baixo nível de competência e capacitação no serviço público
Intersetorialidade	Visão incompleta e distorcida da gestão ao assimilá-la fundamentalmente como um problema relativo ao serviço, esquecendo de seu componente ambiental, social, econômico e de saúde
Regulação	Ausência de organismos operadores autônomos sob regras claras de eficiência e de prestação de contas dos serviços ofertados
Instrumentos jurídicos de caráter técnico	Marco regulatório e normativo difuso, obsoleto, incompleto e carente de uma estrutura intersetorial
Ausência de Participação Social	Falta de instrumentos econômicos, jurídicos e de promoções que motivem e promovam a participação social em processos de separação e reciclagem dos resíduos.
Integralidade	Ausência de políticas e estratégias para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Municipais com as demais componentes do saneamento
Universalização	Ausência de acesso ou planejamento de ampliação progressiva da oferta dos serviços de manejo dos resíduos sólidos em todo território municipal (áreas urbanas e rurais)

Fonte: Adaptado de OPAS, 2005.

A partir dos fatores listados no Quadro 1, verifica-se que, decorrida mais de uma década desde que este estudo foi apresentado, os entraves continuam sendo os mesmos no que se refere ao correto manejo, destinação e disposição final dos resíduos sólidos.

No Brasil houve avanços nos instrumentos de planejamento, a exemplo dos planos de saneamento básico e Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). Concebidos com horizontes de 20 anos, estes instrumentos minimizam os problemas relacionados a planejamentos curtos ou a descontinuidades de ações. Dados do Ministério do Meio ambiente (MMA/SINIR, 2017) apontam que mais da metade dos municípios brasileiros (54,8%) já possuem Plano Integrado de Resíduos Sólidos, municipais ou intermunicipais. No entanto, há ainda muitas desigualdades regionais, pois, enquanto estados como Mato Grosso do Sul (86,1%) e Paraná (83,1%) alcançam índices elevados de elaboração dos planos, os estados da Bahia e do Piauí, por

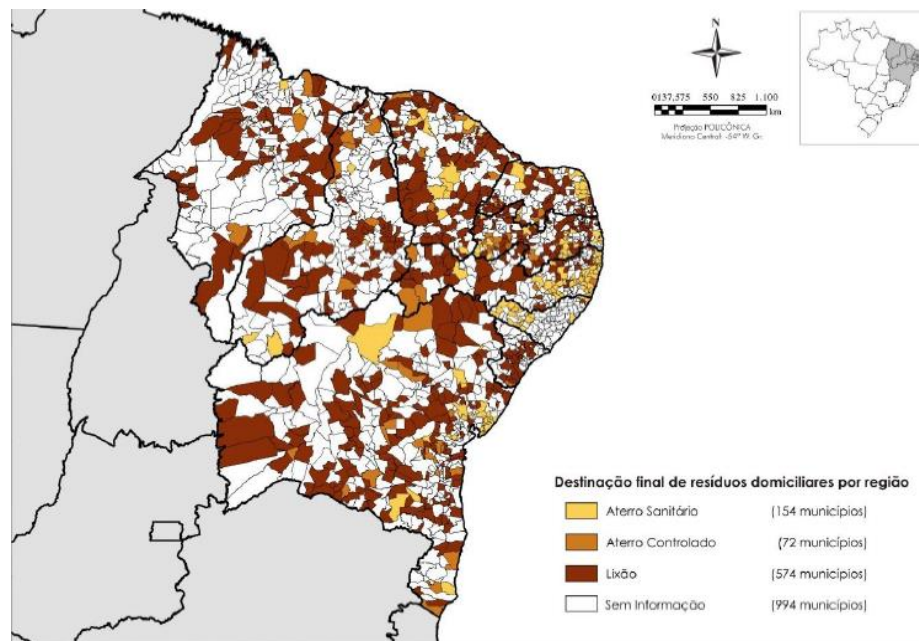
exemplo, só atingem 22,1% e 17,4%, respectivamente, de municípios em conformidade com a legislação.

É pertinente observar que muitos municípios têm elaborado seus respectivos PMSB's apenas no intuito de cumprir com a obrigação legal da legislação ambiental sem, contudo, se atentar para a qualidade técnica do documento ou sem qualquer planejamento, de fato, e participação social. Pereira & Heller (2015), ao analisarem 18 planos municipais de saneamento básico, em uma amostragem que abrangeu as 5 macrorregiões do país e 14 estados da federação, identificaram para a maioria destes planos fragilidades na instituição da política e na incorporação dos princípios fundamentais da Lei 11.445/2007, tais como: universalidade, equidade, integralidade, intersetorialidade e qualidade.

Se na elaboração dos planos muitos municípios estão defasados, na implementação destes a situação é ainda mais crítica. Dados do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos do ano de 2018 (SNIS, 2019) apontam que, de um universo de 5.570 municípios brasileiros, apenas 35,66% dispõem seus resíduos em aterros sanitários. É pertinente pontuar que, nestes municípios que conseguiram implantar aterros sanitários, os serviços de coleta se restringem à sede e áreas urbanas densas, não alcançando a universalização em todo o território municipal.

Na Bahia, a situação é ainda mais crítica: 39,33% dos municípios destinam seus resíduos sólidos urbanos de maneira inadequada, 54,44% dos municípios nem sequer responderam à coleta de informações e apenas 6,23% declararam possuir destino ambientalmente adequado, para o RSU das áreas urbanas (SNIS, 2019). A Figura 1 mostra a representação espacial do tipo de unidade de destinação final, utilizada pelos municípios da região Nordeste, que acompanha o padrão predominante de disposição final inadequada.

Figura 1 - Disposição final de resíduos sólidos do nordeste brasileiro



Fonte: SNIS, 2019.

A PNRS (2010) possui, como fundamentos para o adequado gerenciamento dos resíduos sólidos, os princípios da não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e, finalmente, a disposição final dos rejeitos. Sendo que, obedecendo esta ordem de prioridade, apenas o que não for possível recuperar, após exaurir todas as possibilidades de tratamento por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, é que deverá ser encaminhado a um aterro sanitário. Esta hierarquização, definida por esta legislação, segue um padrão observado em países desenvolvidos, como os da União Europeia (EU, 2008) e EUA (US-EPA, 2009). Entretanto, na prática, os municípios brasileiros não conseguiram implementar as ações de educação ambiental, para alcance dos princípios da não geração e redução. Tampouco implementaram políticas de destinação final de coleta seletiva, triagem, recuperação de recicláveis e compostagem orgânica, com vistas a atender a redução de material a ser encaminhado à disposição final.

Com isso, na maioria dos municípios, tudo o que é coletado é descartado em lixões ou aterros controlados. Dados sobre a quantidade de material coletado são pouco encontrados no Brasil, pois a disposição irregular, a coleta informal e a insuficiência do sistema de coleta pública impedem que parte dos resíduos sólidos gerados coletados possa ser contabilizada (IPEA, 2012). Além disso, a coleta de lixo não cobre a totalidade territorial dos municípios (JACOBI E BESEN, 2010; IPEA, 2013 e SNIS,

2019), de forma que diversas comunidades rurais, sobretudo as que se encontram dispersas no território, não são contempladas pelo serviço.

A Tabela 2 apresenta dados do SNIS (2019), segundo região geográfica, da massa coletada *per capita* dos municípios participantes em relação à população urbana e do IDH-M médio. Participaram da pesquisa cerca de 62,26% dos municípios do Brasil.

Tabela 2- Massa coletada *per capita* de RSU e IDHM médio por região geográfica do Brasil

Região	População (2010)	IDH-M médio (2010)	Massa coletada <i>per capita</i> (kg/hab./dia) Indicador médio
Norte	15.864.454	0,667	1,05
Nordeste	53.081.950	0,663	1,13
Sudeste	80.364.410	0,766	0,92
Sul	27.386.891	0,754	0,81
Centro-Oeste	14.058.094	0,757	1,05

Fonte: SNIS (2019), IBGE (2010) e PNUD:IPEA (2016)

De acordo com os dados apresentados na Tabela 2, o *per capita* da massa coletada tem apresentado maior indicador médio nas regiões com menor índice médio de desenvolvimento humano municipal, evidenciando que a massa total de resíduos é influenciada por aspectos sociais, econômicos e de acesso a serviços e informações. Salienta-se que o IDH-M é um indicador de três dimensões do desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda.

Por outro lado, segundo o SNIS (2019), a região nordeste que apresenta o maior *per capita* de massa de resíduos coletada é também a região que apresenta o menor índice de existência de coleta seletiva (4,52%). A região Sul, que apresenta o menor *per capita*, possui o maior percentual de serviço referente à coleta seletiva (47,36%). Isto evidencia que a existência da coleta seletiva reduz a quantidade de resíduo disponível para a coleta de RDO (Resíduos Domiciliares) e RPU (Resíduos Públicos). É necessário observar que o maior *per capita* de massa de RSU coletado acontece para a região Nordeste, onde provavelmente o serviço de coleta é deficitário. Este aspecto remete à necessidade de discutir possíveis inconsistências dos dados.

Ainda na análise comparativa entre a correlação do Índice de Desenvolvimento Humano e Geração *per capita* de RSU, a Tabela 3 apresenta dados de países desenvolvidos.

Tabela 3 - Geração per capita de resíduos sólidos em países desenvolvidos

País	População (2010)	IDH Global ² (2010)	Massa coletada <i>per capita</i> (kg/hab./dia) Indicador médio
Noruega	4.885.878	0,942	2,27
EUA	308.641.391	0,914	2,01
Japão	128.551.873	0,885	1,09
OECD ¹	-	-	1,53

Fonte: PNUD (2014), Campos (2012), IBGE (2018).

¹ Média *per capita*, registrada em 2009, da geração de resíduos nos 34 países membros da Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)

² Na tabela 2 foi utilizado o IDH-M, que é um ajuste metodológico do IDH adaptado ao Brasil. No entanto, avalia os dados de cada município nas mesmas dimensões de análise do IDH Global.

Em oposição ao verificado na Tabela 2, a Tabela 3 apresenta maior geração *per capita* em países com maior índice de desenvolvimento humano (IDH Global), onde o consumo de alguns tipos de embalagens e grandes quantidades de produtos poderá ocorrer. De acordo com Bidone & Povinelli (1999) e Campos (2012), isto reforça que, além das questões econômicas, a geração *per capita* de RSU também se altera em função de fatores culturais e sociais, este último expresso pelo hábito de consumo, padrão de vida e renda familiar dos habitantes.

Por agregar a maior população, as regiões Sudeste e Nordeste do Brasil são, consequentemente, as maiores geradoras de resíduos, produzindo juntas mais de 74% de todo o RSU gerado no país (NASCIMENTO *et al.*, 2015) e também são responsáveis por 70% do total de RSU, destinado de modo inadequado no Brasil (VITAL *et al.*, 2014).

Um dos grandes desafios da gestão dos resíduos sólidos no Brasil inclui a modificação de como a temática ainda é abordada nas agendas municipais, pois os resíduos devem ser considerados como recursos e oportunidades econômicas, e não como um problema a ser resolvido. Para isto, os municípios devem aprimorar a gestão dos resíduos, o que inclui investimentos no desenvolvimento de novas técnicas de reaproveitamento e recuperação de recicláveis, ampliação de instrumento e políticas municipais disponíveis, prestação de serviços de forma descentralizada e cobrança pelos serviços prestados.

A falta de investimentos no setor é um dos grandes entraves, para o correto manejo dos resíduos sólidos. A experiência internacional aponta que, em alguns municípios de outros países, a produção de resíduos chega a ser 20% maior em comparação ao quantitativo de resíduos em cidades brasileiras de grande porte, porém, investem até 5 vezes mais na gestão e manejo de RSU. De acordo com Gomes e Steinbrück (2012), Tóquio gerava um *per capita* de cerca de 1,09 kg/hab/dia, enquanto

que para São Paulo a média de geração era de 0,96 kg/hab/dia; porém, a capital japonesa investia cerca de 13 vezes mais, por habitante, no gerenciamento de seus resíduos do que a capital paulista. Ainda de acordo com os autores, a Cidade do México, que possui características de geração, população e dimensão territorial semelhantes à cidade de São Paulo, possuía um índice de despesa com manejo de RSU sete vezes maior que a cidade brasileira.

O indicador médio das despesas com manejo de RSU, na despesa total corrente das Prefeituras Municipais, é muito menor em cidades de pequeno porte do que nos grandes municípios. A Tabela 4 apresenta estes dados, divulgados no diagnóstico anual da componente resíduos sólidos, referente ao ano de 2017, do SNIS (2018), em função da população.

Tabela 4 - Indicador médio de despesa com manejo de RSU sobre a despesa corrente total da Prefeitura

Faixa populacional (hab)	Quantidade de Municípios participantes da pesquisa	Despesas com manejo de RS: percentual na despesa total corrente da Prefeitura
Até 30.000	2550	2,7%
De 30.001 a 100.000	550	3,4%
De 100.001 a 250.000	153	3,8%
De 250.001 a 1.000.000	83	4,8%
De 1.000.001 a 4.000.001	15	3,6%
Acima de 4.000.001	2	6,1%
Total	3.353 municípios	4,1%

Fonte: Adaptado do SNIS, 2018.

Conforme pode ser visto na Tabela 4, há uma tendência de acréscimo de gastos com manejo de RSU, em relação às despesas totais do município, à medida que se aumenta o porte populacional. Salienta-se, no entanto, que nem sempre um maior percentual de despesa com manejo de RSU, em comparação as demais despesas do município, implica, necessariamente, em maior eficiência ou melhor qualidade de serviços prestados com gestão e manejo dos resíduos sólidos.

A mesma pesquisa revela ainda que não há sustentabilidade econômica na gestão dos resíduos sólidos, mesmo nos municípios que já implementaram a cobrança pelos serviços prestados. Dos 3.556 municípios participantes da pesquisa, cerca de 46,34% instituíram a cobrança, através de taxas, para a população atendida com os serviços de coleta, transporte e destinação final de resíduos domiciliares. No entanto, os resultados do balanço financeiro de arrecadação e despesa indicam que, em cerca de 76% destes municípios, a receita arrecadada não atinge nem a metade de suas despesas totais com os serviços de manejo de resíduos sólidos e limpeza pública (SNIS, 2017). Na maioria

destes casos, o déficit é compensado com aplicação de recursos próprios do município, que deixam de ser investidos em outras áreas.

Alzamora (2019), ao estudar estratégias de equacionar financeiramente as contas públicas nos serviços de manejo de resíduos sólidos, propõe uma nova forma de cobrança. O autor pondera a necessidade de implantar um mecanismo proporcional de cobrança que, ao invés de tarifa fixa, inclua a divisão da taxa entre uma parcela fixa e uma variável considerando a área construída, uso do imóvel e o consumo de água e energia. Desse modo, espera-se que a nova forma de cobrança seja mais justa e em concordância com o princípio do poluidor-pagador, aumentando a arrecadação e dispensando a necessidade de constantes reajustes no valor da tarifa. Se por um lado as despesas superam a arrecadação, por outro lado, a baixa adesão à coleta seletiva, nos municípios onde é ofertado este serviço, também contribui para este desequilíbrio financeiro. A Tabela 5 apresenta, por quantidade de municípios e habitantes, o percentual de recuperação de material reciclado em relação à massa total de resíduos domiciliares e públicos, que foram coletados pelo serviço de coleta normal.

Tabela 5 - Recuperação de recicláveis secos em relação à massa total de resíduos domiciliares e públicos

Faixa populacional (hab)	Quantidades de municípios por faixa populacional	Quantidade de Municípios que possuem coleta seletiva	Percentual da massa recuperada em relação à massa total coletada
Até 30.000	4.411	970	7,5%
De 30.001 a 100.000	849	296	4,1%
De 100.001 a 250.000	199	113	2,3%
De 250.001 a 1.000.000	94	73	1,4%
De 1.000.001 a 4.000.001	15	14	1,1%
Acima de 4.000.001	2	2	1,1%
Total	5.570 municípios	1.468 municípios	2,1%

Fonte: Adaptado do SNIS, 2018.

De acordo com os dados da Tabela 5, o índice de recuperação dos recicláveis ainda é incipiente no Brasil. A existência de iniciativas de reciclagem nos municípios de menor porte, ainda que executadas por poucas associações e cooperativas, causam significativo impacto no percentual de massa recuperada em função do baixo volume total de massa coletada nestes municípios. Em cidades de maior porte, em decorrência do grande volume de resíduos produzidos e coletados, é necessária uma maior estrutura e rede de reciclagem integrada de modo a tornar o índice de recuperação de recicláveis relevante. Isto justifica o índice ser mais alto quanto menor for o município, conforme dados da Tabela 5. Cerca de 97,9% do que é coletado segue para a disposição final que, na maioria das vezes, é de forma inadequada. Segundo Gomes e Steinbrück (2012), enquanto a média brasileira para a recuperação de recicláveis alcança pouco mais de

2%, a meta estabelecida pela cidade de Barcelona, por exemplo, é de 60% de reciclagem de todo o lixo, orgânico e inorgânico, produzido na cidade, coletados porta a porta e/ou por pontos de entrega voluntária.

De acordo com Waldman (2012), a quantidade reaproveitada dos resíduos no país é insignificante. Dados do IPEA (2010), ao analisar os aspectos econômicos da reciclagem, indicam que o Brasil perde por ano cerca de R\$ 8 bilhões de reais, quando descarta os resíduos que poderiam ser reciclados, gerando emprego e renda, ao invés de serem enterrados.

Uma vez que não há recuperação dos materiais reaproveitáveis em usinas de triagem e de compostagem, há sobrecarga na disposição final em decorrência do aumento do volume de resíduos, que passam a ser considerados como sendo rejeitos. A lei nº 12.305/2010 estabelece que rejeitos são apenas os “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação possíveis, não apresentam outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010).

Para que haja elevação do índice de recuperação dos recicláveis, são necessárias mudanças de conscientização da população e de agentes políticos acerca do tema. Para isso, é necessária a realização de campanhas de educação ambiental com o objetivo de instruir a população quanto à maneira como os resíduos serão separados, diminuindo a contaminação e maximizando seu aproveitamento. Como resultado dessas atitudes, estima-se que apenas rejeito seria encaminhado para o aterro sanitário, com consequente aumento da sua vida útil. De acordo com Fiúza (2010), principalmente em municípios de pequeno porte, a cultura técnica do gestor municipal e de seu corpo técnico ainda é a de ter uma unidade de destinação final dos seus RSU sem, contudo, contemplar os princípios da não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento. E essa cultura ainda permanece latente nos municípios brasileiros.

A realidade brasileira mostra uma desigualdade regional na forma de disposição final praticada. Isso porque municípios em regiões como Norte e Nordeste apresentam condições financeiras, administrativas e de recursos técnicos mais escassas do que em regiões do Sul e Sudeste, onde as arrecadações são maiores e mais diversas. A Tabela 6, mostra dados divulgados pela ABRELPE, referentes ao ano de 2018/2019, evidenciando essa diferença regional no país em relação à disposição final dos resíduos sólidos.

Tabela 6 - Percentual de municípios por tipo de disposição final adotada

Regiões	Lixão (%)	Aterro Controlado (%)	Aterro Sanitário (%)
Norte	54,9	24,4	20,7
Nordeste	47,0	27,6	25,3
Centro-Oeste	32,8	32,5	34,7
Sudeste	12,4	38,4	49,2
Sul	3,5	9,2	87,3
BRASIL	26,8%	27,1%	46,1%

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2019).

Nota-se que as formas de disposição inadequadas, lixão e aterro controlado, são ainda predominantes em quase todas as regiões do país, mas, sobretudo nas regiões Norte e Nordeste. A região Sul é a única do país, cuja quantidade de municípios que dispõe o RSU em aterros sanitários supera a soma da disposição em lixão e aterro controlado. Avaliando este cenário de desigualdade e a necessidade de investimentos para o atendimento da meta da PNRS, Vital *et al.* (2014) estimaram os investimentos necessários para a implantação de aterros sanitários, de diferentes portes, para cumprimento da legislação até o final do ano de 2019 (Tabela 7).

Tabela 7 - Investimentos necessários para extinção de lixões no Brasil – Quadriênio 2015-2019

REGIÃO	INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS (milhões de R\$)
Nordeste	1.056,68
Sudeste	652,31
Centro-Oeste	342,14
Norte	247,50
Sul	188,40
TOTAL	2.487,04

Fonte: Vital *et al.*, 2014.

De acordo com o estudo e estimativa de orçamento, calculou-se a necessidade de investimentos de aproximadamente R\$ 2,5 bilhões, em implantação de aterros sanitários de diferentes portes, para que em 2020 todos os vazadouros a céu aberto estivessem erradicados no país (VITAL *et al.*, 2014).

A resolução desses problemas, contudo, envolve desafios do encerramento dos atuais vazadouros a céu aberto, implementação satisfatória de modelos de disposição final dos resíduos adequados ao porte do município, investimentos em destinação final e em educação ambiental. Para isso, são necessários a difusão de técnicas com maior sustentabilidade econômico-financeira, cobrança pelos serviços de manejo de resíduos, gestão compartilhada em consórcios e iniciativa privada, e ainda mudanças de perspectiva política e social sobre o tema.

2.2 ATERROS SANITÁRIOS DE PEQUENO PORTE: OPORTUNIDADE E DESAFIOS PARA O ENCERRAMENTO DE VAZADOUROS A CÉU ABERTO

Atualmente a forma mais eficiente e segura de disposição de resíduos sólidos ainda são os aterros sanitários, pois possibilitam um controle efetivo em todo o processo e quase sempre apresentam a melhor relação custo-benefício.

Entende-se por aterro sanitário, no modelo convencional, de acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), uma obra de engenharia destinada à disposição de vários tipos de resíduos, projetada com critérios técnicos para que atenda normas operacionais específicas, de modo a evitar danos à saúde pública e ao meio ambiente. Estes aterros são dotados de instrumentos de monitoramento hidrológico, geotécnico e ambiental, além da captação e tratamento dos efluentes gerados (gases e líquidos percolados).

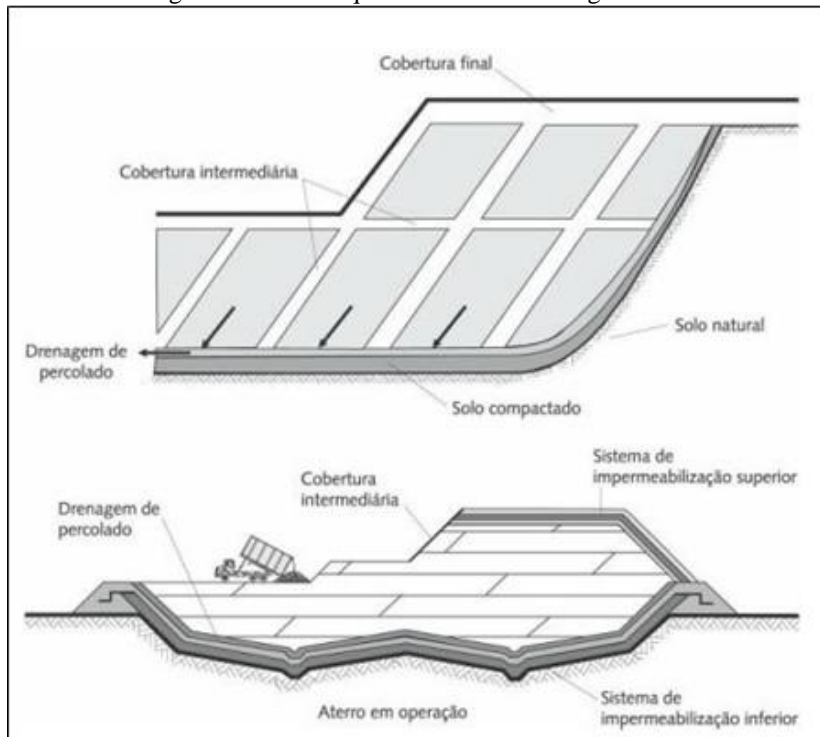
O Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos (CREA-PR, 2009), salienta que os aterros sanitários convencionais são aplicáveis a qualquer localidade, desde que a quantidade de resíduos gerados seja suficiente para justificar o custo com o uso de máquinas, para as operações que este modelo de aterro requer. Isto porque são utilizados máquinas e equipamentos na implantação e na operação destes aterros em suas diversas atividades: preparo do terreno e das valas, corte de material de cobertura, terraplenagens e ainda espalhamento, compactação e recobrimento do lixo.

São elementos básicos existentes em aterro sanitário convencional, segundo a NBR-8.419 (ABNT, 1992):

- ✓ Sistema de drenagem superficial.
- ✓ Sistema de drenagem e remoção de percolado (lixiviados).
- ✓ Sistema de tratamento do percolado.
- ✓ Impermeabilização inferior e/ou superior (material sintético).
- ✓ Sistemas de drenagem de gases (verticais).
- ✓ Cobertura intermediária dos resíduos ao final de cada jornada de trabalho, ou em intervalos menores.
- ✓ Cobertura final da célula.

A Figura 2 mostra um corte esquemático de aterro segmentado em células.

Figura 2 - Corte esquemático de aterro segmentado em células

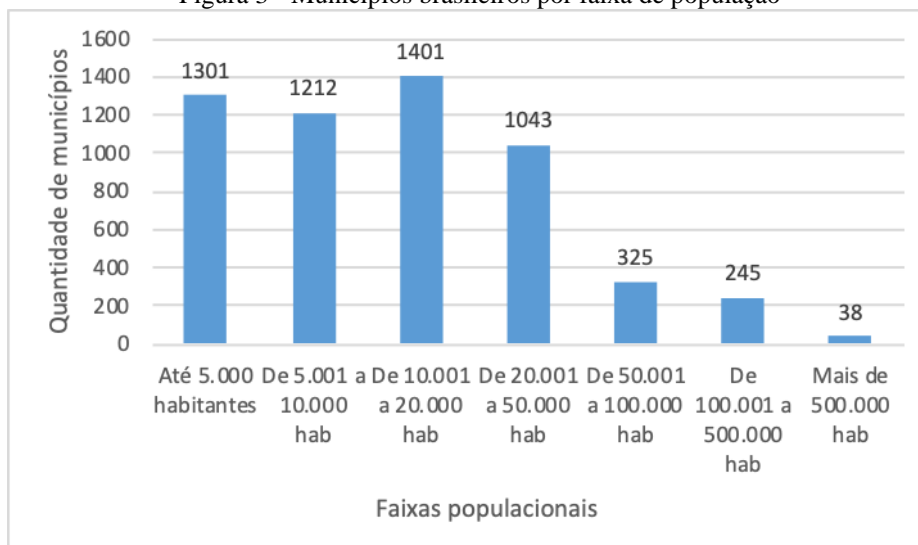


Fonte: Boscov, 2008.

Dentre as desvantagens do aterro sanitário convencional destaca-se: o alto custo de operação, necessidade de rigoroso controle geotécnico, burocracias de licenciamento ambiental, desvalorização imobiliária das áreas adjacentes, demandas por grandes áreas e, por fim, necessidade de sistemas de tratamento para os efluentes gerados (líquidos e gasosos). Para driblar estas desvantagens, municípios com baixa produção diária de resíduos podem optar por tecnologias simplificadas de aterros sanitários, que despendam menos recursos financeiros, tecnológicos e humanos. A legislação ambiental considera que, para se enquadrarem no conceito de municípios com geração de pequeno porte, a produção diária não deve ultrapassar o limite diário de até 20 toneladas de resíduos, de acordo com a NBR-15.849 (ABNT, 2010).

No Brasil, o censo demográfico do IBGE (2010) mostra que 70,33%, de um total de 5.565 municípios, estão enquadrados em uma faixa de população de até 20.000 habitantes (urbana e rural), o que os classificam como municípios de pequeno porte. A Figura 3 aponta, em números, essa distribuição de municípios por faixa de população.

Figura 3 - Municípios brasileiros por faixa de população

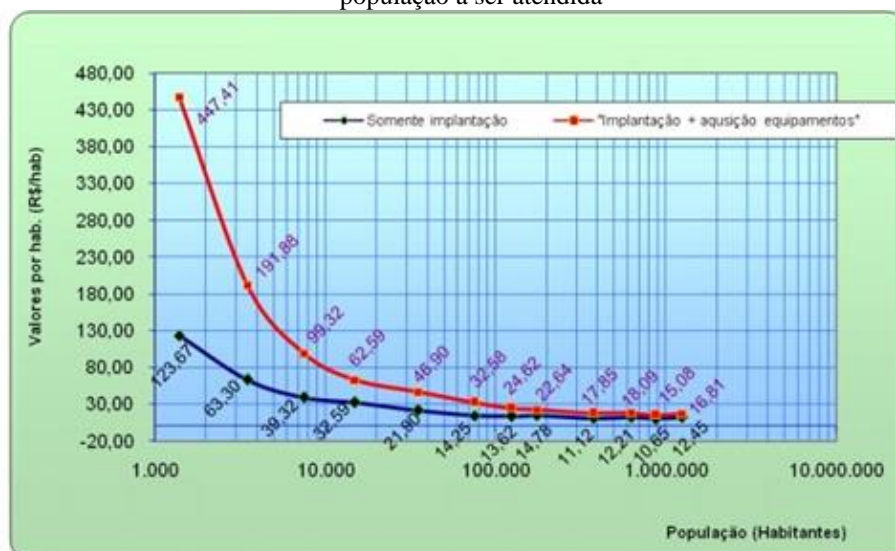


Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados obtidos junto ao IBGE, 2010.

Os dados apresentados na Figura 3 permitem observar que técnicas simplificadas de aterros sanitários podem ser aplicadas em 3.914 municípios brasileiros, onde se concentram aproximadamente 34% da população residente no país. De acordo com o SNIS (2019), a média *per capita* brasileira de produção de lixo é de 0,96 kg/hab.dia, por isso, municípios com até 20.000 habitantes podem atender o critério de produção máxima diária.

Um estudo desenvolvido pela Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano do Ministério do Meio Ambiente (2008) traz um levantamento dos custos de implantação de aterros sanitários, em escala logarítmica, considerando diferentes faixas populacionais, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Evolução dos custos de implantação de aterro sanitário por habitante de acordo com a população a ser atendida



Fonte: MMA/SRHU – 2008

O custo de implantação de aterros sanitários tende a ser maior em faixas populacionais menores, como observado na Figura 4. Havendo a necessidade de aquisição de equipamentos, o custo se eleva ainda mais, podendo contribuir para a inviabilidade financeira da construção e operação no modelo convencional em municípios de pequeno porte. O investimento necessário para a implantação das unidades de destinação final, segundo os dados apresentados pelo estudo, é inversamente proporcional ao porte populacional das cidades, e isto reforça a vantagem de adoção de tecnologias de menor complexidade financeira e técnica.

Ressalta-se que, não sendo possível a adoção de tecnologias de menor investimento, devido a peculiaridades ambientais locais, a formação de consórcios intermunicipais para rateio dos custos de operação de um aterro do tipo convencional pode ser uma alternativa viável.

Fica evidenciado que grande parte dos municípios brasileiros necessita de alternativas simplificadas de aterros sanitários, uma vez que as arrecadações próprias são baixas e seus principais recursos financeiros são advindos principalmente de repasses federais do Fundo de Participação dos Municípios (FPM). Nestes municípios, o investimento em técnicas convencionais de disposição final de resíduos se torna inviável.

Campos (2008), ao analisar a viabilidade econômico-financeira considerando aspectos ambientais, concluiu que a tecnologia de disposição final de RSU, no modelo de ASPP, é viável também do ponto de vista financeiro. Utilizando uma adaptação do método anteriormente proposto pela Fundação Gorceix, colocando valor econômico na dimensão ambiental como sendo elemento de despesa, obteve como resultado que municípios de pequeno porte podem gerenciar, de forma adequada, a operação do ASPP.

Diante deste cenário, a adoção de técnicas simplificadas de aterro, conhecidas como Aterros Sanitários de Pequeno Porte (ASPP), se torna a melhor possibilidade para os pequenos municípios cumprirem a legislação ambiental, que estabelece o fim dos lixões (vazadouros a céu aberto). De acordo com a NBR-15849 (ABNT, 2010), ASPP é entendido como uma solução aplicável aos municípios cuja “concepção do sistema possa ser simplificada, adequando os sistemas de proteção ambiental sem prejuízo da minimização dos impactos ao meio ambiente e à saúde pública”.

Atualmente existem diversos modelos de ASPP, com emprego de diferentes técnicas, que quando aplicados e operados corretamente, atendem satisfatoriamente aos critérios da NBR-15849 (ABNT, 2010).

Para Paiva (2014), as tecnologias simplificadas são uma alternativa adequada para a disposição dos resíduos sólidos em pequenas comunidades, por empregar técnicas que possuem, relativamente, baixo custo de implantação e operação. Isto porque, a depender das características ambientais locais e do modelo do ASPP adotado, alguns elementos do aterro convencional podem ser dispensados: uso da impermeabilização de fundo com geomembranas, uso de máquinas pesadas para compactação dos resíduos e a implantação de sistemas de drenagem e tratamento dos efluentes gerados.

Neste estudo abordamos quatro modelos de ASPP, difundidos na literatura e implantados em municípios do Brasil ou fora dele: Aterro em Valas (CETESB, 1997), Aterro Sanitário Simplificado (CONDER, 2002), Aterro Sanitário Manual (CEPIS/OPS, 2002) e Aterro Sustentável (PROSAB, 2003). Cada um desses modelos traz técnicas diferentes na construção, podendo variar com presença ou dispensa de impermeabilização de fundo da célula, coleta de líquidos percolados ou ainda drenagem de gases. Diferem ainda nas dimensões de cada célula, na vida útil e na operacionalização de cada uma delas. Por isso, a escolha do método de ASPP interfere diretamente na eficácia sanitária do aterro e deve ter critério técnico individualizado, para atender às especificidades de cada município onde se pretende instalá-lo.

Com vistas a facilitar e reduzir ainda mais os custos de concepção e implantação dos aterros de pequeno porte, o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, por meio da Resolução 404/2008, desobrigou a apresentação do Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) no processo de licenciamento, desde que limitado a uma única unidade de ASPP por município. O EIA/RIMA só será cobrado nos casos em que o órgão ambiental licenciador entender que o ASPP proposto é potencialmente causador de significativo impacto ao meio ambiente, o que, neste caso, torna a análise subjetiva.

Gaio *et al.* (2017), ao comentarem sobre a inconstitucionalidade da Resolução CONAMA nº 404/2008 e da Resolução CEMA/PR 094/2014, que também ratifica a dispensa de EIA/RIMA para esse tipo de empreendimento, expressam que tais legislações não possuem embasamento técnico e jurídico suficientes, para permitirem essa flexibilização. Isto porque este procedimento implica em retrocesso ambiental e

viola a Constituição da República. Os autores entendem que a técnica simplificada de aterro possui fragilidades e detém significativo potencial poluidor, não devendo ser, portanto, dispensada de apresentar tais estudos, conforme termos do artigo 2º, inciso X, da Resolução CONAMA 01/86.

Por outro lado, os benefícios operacionais do modelo simplificado mostram que a técnica dos aterros sanitários de pequeno porte ainda é a possibilidade mais promissora do encerramento dos vazadouros a céu aberto (FIUZA, 2004; PAIVA, 2004; MAY, 2008). O EIA/RIMA é um estudo complexo e, por este mesmo motivo, possui custo elevado, que compromete a viabilidade econômica dos projetos executivos de ASPP em vários municípios. Por vezes, os recursos municipais são tão limitados que já estão comprometidos com serviços básicos, ficando a disposição, ambientalmente correta, dos resíduos postergada para segundo plano.

Neste cenário político-econômico, é melhor proceder com um licenciamento ambiental mais flexível do que onerar o processo e desestimular a gestão pública a implantar o ASPP.

Municípios de pequeno porte, sobretudo aqueles localizados em países em desenvolvimento, são notavelmente carentes em termos de apoio governamental para a erradicação dos lixões e, por outro lado, não possuem recursos financeiros suficientes para operarem aterros sanitários da maneira como são propostos para grandes cidades. Ao estudar o ASPP de Villanueva em Honduras, Oakley e Jimenez (2012) puderam constatar que este tipo de técnica simplificada possui eficiência e viabilidade financeira, para dispor adequadamente os resíduos nestes municípios.

A adoção de materiais alternativos e de menor custo empregados no aterro em Villanueva, conforme recomendado por uma técnica de ASPP, não comprometeu o resultado esperado na salubridade ambiental da área. Resultados do balaço hídrico apontaram um volume de chorume (lixiviados) gerado neste aterro, de cerca de 700 m³/ano. Para efeitos de comparação, segundo os autores, caso os resíduos estivessem expostos, em um vazadouro a céu aberto, a estimativa seria de uma geração de lixiviados na ordem de 3.900 m³/ano e um escoamento de efluentes contaminados de 5.000 m³/ha/ano.

Os autores reforçam que a experiência do ASPP de Villanueva pode ser replicada, para projetar este mesmo modelo em outros municípios, desde que alguns critérios sejam observados. Estes critérios incluem, entre outras: boas condições hidrogeológicas e de características do solo; profundidade máxima da vala baseada nos

equipamentos empregados na escavação e/ou resistência ao cisalhamento do terreno; espaçamento mínimo entre as trincheiras e manutenção/operação da célula diariamente.

A ressalva das condições hidrogeológicas também integra os critérios, estabelecidos pela norma NBR-15.849 (ABNT, 2010), para a dispensa de geossintéticos como impermeabilização complementar, a partir da observação do excedente hídrico. De acordo com a referida norma, o excedente hídrico é o “valor resultante do balanço entre diversos parâmetros climáticos e hidrológicos locais, que incorpora características típicas de diferentes tipos de solo”. Neste caso, o excedente hídrico se torna um dos fatores limitantes para a dispensa da impermeabilização complementar. O limite máximo do excedente hídrico permitido é função de outros fatores: percentual de matéria orgânica, profundidade do lençol freático e permeabilidade do solo local, como pode ser visto no Quadro 2.

Quadro 2 - Limites máximos do excedente hídrico (EH, mm/ano) para a dispensa da impermeabilização complementar

Coeficiente de Permeabilidade do solo local k (cm/s)	Fração orgânica dos resíduos $\leq 30\%$				Fração orgânicas dos resíduos $\geq 30\%$			
	Profundidade do freático - n (metros)				Profundidade do freático - n (metros)			
	$1,50 < n \leq 3$	$3 < n < 6$	$6 \leq n < 9$	$n \geq 9$	$1,50 < n \leq 3$	$3 < n < 6$	$6 \leq n < 9$	$n \geq 9$
$k \leq 1 \times 10^{-6}$	250	500	1000	1500	188	375	750	1125
$1 \times 10^{-6} < k \leq 1 \times 10^{-5}$	200	400	800	1200	150	300	600	900
$1 \times 10^{-5} < k \leq 1 \times 10^{-4}$	150	300	600	900	113	225	450	675

Fonte: NBR-15.849 (ABNT/2010)

A norma flexibiliza os limites máximos do excedente hídrico, quando são favoráveis as características, tanto do ambiente (permeabilidade do solo e profundidade do lençol freático), quanto do resíduo (porcentagem de matéria orgânica da composição do RSU). Por exemplo, de acordo com o Quadro 2, um ASPP construído em uma área de solo argiloso, lençol freático a uma profundidade de 5 metros e o teor de matéria orgânica do resíduo sendo 35%, as células deste aterro poderão ser implantadas sem impermeabilização complementar, desde que o excedente hídrico da região seja no máximo 375 mm/ano. Exemplificando uma outra área com as mesmas condições do exemplo anterior, mas com a célula de ASPP em solo arenoso, só poderia ter a dispensa do uso do geossintéticos, caso o EH não fosse superior a 225 mm/ano. Isso representa uma diferença de 26,7% no limite máximo de EH permitido de um solo para o outro, em função de sua permeabilidade.

Os critérios técnicos apontados podem, portanto, inviabilizar a instalação de um ASPP em determinadas áreas, quando o modelo do aterro dispensa a impermeabilização

complementar. É importante salientar que a NBR-15.849 (ABNT, 2010) enfatiza ainda a necessidade de mudanças de cultura do descarte de resíduos, incentivando a adoção de compostagem, por exemplo. Isto porque, no Brasil, a média da porcentagem de matéria orgânica é muito superior a 30% da massa dos resíduos sólidos domésticos.

Em razão deste quadro apresentado, observou-se a necessidade de disponibilizar um banco de dados climatológicos para todo o território nacional, para propiciar segurança aos projetistas tanto no projeto de engenharia quanto na análise técnica para o licenciamento do empreendimento. A partir desta demanda, o Ministério do Meio Ambiente, em parceria com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019), desenvolveu uma plataforma digital em que é possível acessar o banco de dados sobre o clima, com estimativas do excedente hídrico de qualquer município que se deseja obter as informações. O aplicativo permite entrar com uma coordenada específica do ponto de interesse ou realizar buscas por um município específico. No entanto, é necessário o conhecimento prévio do tipo de solo local para informar, em campo específico, se é arenoso, argiloso ou siltoso.

Paiva e Zanta (2005), ao estudarem o potencial de aplicação de tecnologias simplificadas de ASPP na região do semiárido baiano, identificaram que 147 municípios deste recorte geográfico possuem alto potencial para o emprego da técnica, independente de qual modelo seja adotado. O estudo aponta ainda que, para essa mesma região, 57% dos municípios possuem potencial médio de aplicação da técnica. Os municípios, cuja aplicação da técnica foi considerada inadequada, apresentavam restrições ambientais do tipo: pluviosidade superior a 800 mm/ano; solos do tipo hidromórficos, arenosos, rasos, associados a afloramentos rochosos e próximo a eixos de drenagem; no aspecto da hidrogeologia eram associados a áreas cársticas e, quanto aos aspectos geológicos, possuíam áreas de depósitos aluvionares.

As técnicas simplificadas, no entanto, recebem críticas de alguns especialistas e ambientalistas. Para estes, a impermeabilização de fundo sem uso de geossintéticos, a não-coleta de lixiviados ou drenagem com recirculação como forma de tratamento, implicam em possíveis contaminações do solo e lençol freático. Em oposição a este posicionamento, existem estudos que mostram o potencial de alguns solos para promoverem a atenuação dos contaminantes de aterros de RSU.

Iwai (2012) buscou avaliar três aterros de pequeno porte no Estado de São Paulo, utilizando valas, sem impermeabilização de fundo. O estudo concluiu que, para os locais estudados, os solos possuem características ambientais capazes de promover a

atenuação natural dos contaminantes, uma vez que não foram verificadas alterações significativas na qualidade do solo e das águas subterrâneas.

Quatorze anos após a operação de uma célula convencional do Aterro de Resíduos Sólidos de Recife, Oliveira e Jucá (2004) determinaram o acúmulo de metais pesados e a contribuição da condutividade hidráulica como agente de impermeabilização do solo. Os resultados apresentados indicam que o solo foi hábil na retenção de metais pesados e da matéria orgânica provenientes do resíduo, não só devido à condutividade hidráulica, mas também pela presença de micro-organismos naturais do solo, além de outras substâncias orgânicas, que foram capazes de sorver estes contaminantes. O estudo aponta ainda que, por causa da capacidade natural de atenuação de contaminantes, aliada à baixa condutividade hidráulica à água, o solo deste local foi considerado adequado para impermeabilização de fundo da célula, podendo ser usado em substituição aos geossintéticos.

Sophocleous *et al.* (1996) estudaram a importância de variáveis relacionadas ao perfil construtivo de aterros de pequeno porte, localizados nos condados de Cheyenne, Greely, Rawlins e Wallace, no oeste do Kansas -EUA. Os autores analisaram a combinação de elementos de uma célula de aterro, tais como: cobertura final (cerca de 46 cm de silte ou argila compactada), impermeabilização de fundo com solo compactado e sistema de coleta de chorume, de modo a quantificar o impacto destas variáveis na redução da percolação do chorume para o lençol freático. Os resultados, baseados em simulações usando o modelo HELP, são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Influência dos elementos de uma célula de ASPP no condado de Wallace, oeste do Kansas (EUA), na percolação de chorume para o lençol freático

Simulação de elementos existentes em uma célula do aterro	Redução prevista do volume de lixiviado
Células com cobertura final (Silte/argilas) + Impermeabilização de fundo (solo compactado) + drenagem de chorume	56%
Células com cobertura final (Silte/argilas) + drenagem de chorume	40%
Células com cobertura final (Silte/argilas) + Impermeabilização de fundo (solo compactado)	37%
Células com apenas camada de cobertura final (Silte/argilas)	23%
Células com apenas sistema de drenagem de chorume	11%
Células com apenas Impermeabilização de fundo (solo compactado)	9%

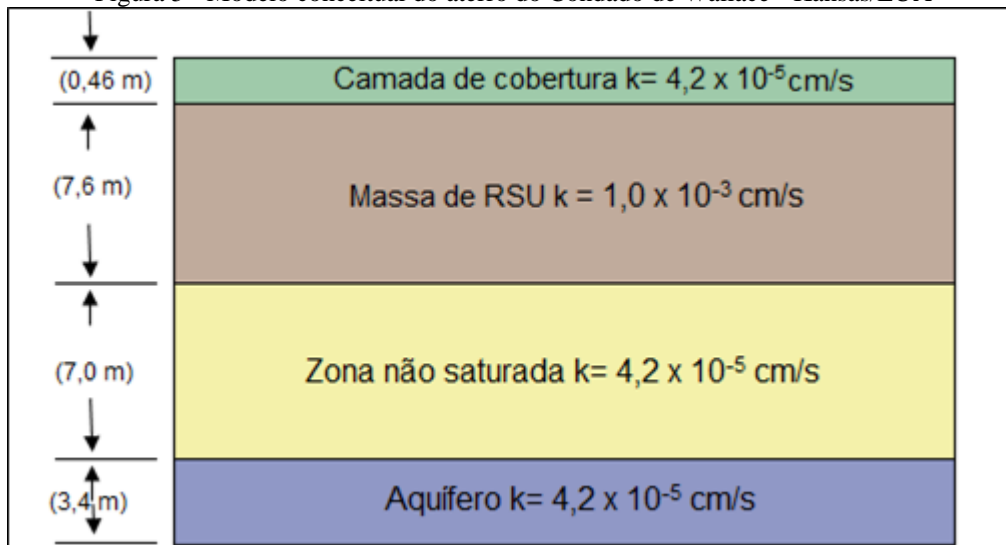
Fonte: Adaptado, pelo autor, de Sophocleous *et al.* (1996).

Salienta-se que as simulações ocorreram em células diferentes de um mesmo aterro, localizado no condado de Wallace. Para os autores, este aterro sanitário foi escolhido por representar bem todos os aterros do oeste do Kansas e por possuir informações mais detalhadas, e provavelmente mais confiáveis, para responder as questões colocadas

Extraí-se da Tabela 8 que a camada de cobertura final é o elemento de maior peso na redução da percolação de lixiviado que pode chegar ao lençol freático. Isto porque a camada serve como barreira, para a incidência direta da precipitação pluviométrica nos resíduos sólidos dispostos na célula. Observa-se também, que usar cobertura final e drenagem de chorume é mais eficiente na redução do volume de lixiviado, do que quando se utiliza cobertura final e impermeabilização de fundo.

Sophocleous (2001) alerta que nem todos os componentes de proteção dos ASPP podem ser dispensados. O autor chama a atenção que o conjunto de cobertura final com solo + Camada impermeabilizante de solo compactado no fundo da célula + sistema de coleta de chorume conseguem reduzir 56% no volume do lixiviado, que pode chegar ao subsolo e contaminar os aquíferos. Comparativamente, outra célula em um aterro projetado com a instalação de apenas uma cobertura final a redução de lixiviado cai para menos da metade. A depender das características locais, a dispensa de alguns desses elementos construtivos pode representar um risco ao meio ambiente, ainda que a legislação americana, tal qual a brasileira, permita isto quando se trata de técnicas de aterros de pequeno porte. A Figura 5 mostra, por exemplo, um sistema baseado nas condições geológicas do aterro de pequeno porte do Condado de Wallace, que possui uma cobertura de solo de média permeabilidade (areia argilosa) e que não possui impermeabilização de fundo.

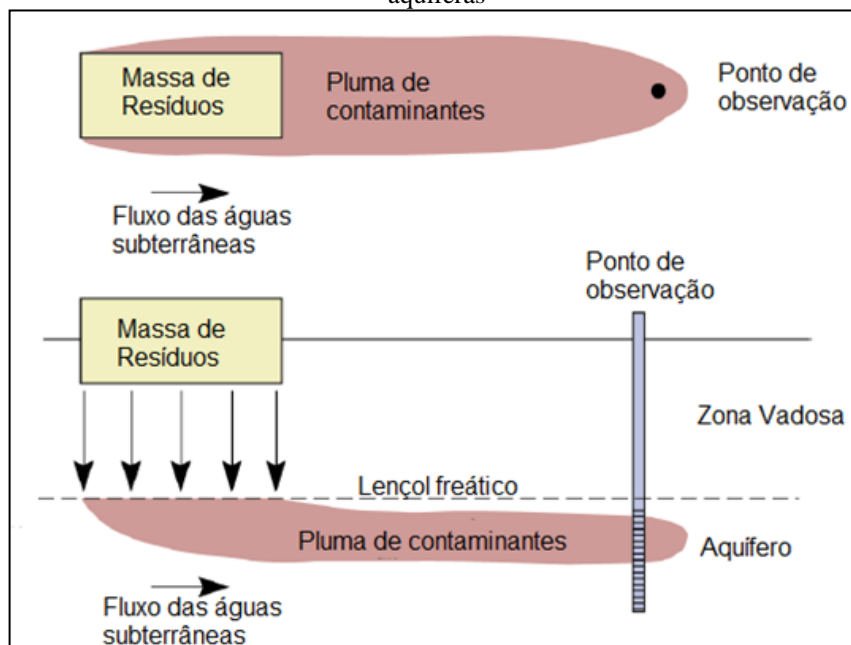
Figura 5 - Modelo conceitual do aterro do Condado de Wallace - Kansas/EUA



Fonte: Adaptado, pelo autor, de Sophocleous (2001).

Devido a uma condição geológica local, a área possui uma zona de aeração, ou zona vadosa, pouco espessa (7m) acima de um aquífero. O que se observou é que, apesar desta característica, o solo permite que o lixiviado penetre pela zona não saturada e alcance o aquífero abaixo. A pluma de contaminante, segundo o autor, estende-se para além do ponto de observação, como esquematizado na Figura 6.

Figura 6 - Modelo conceitual de aterros de RSU e migração de lixiviados através das zonas vadasas e aquíferas



Fonte: Adaptado, pelo autor, de Sophocleous (2001).

O estudo desenvolvido por Sophocleous (2001) mostrou que, para a região oeste do Kansas, os aterros simplificados mais vulneráveis do ponto de vista ambiental são aqueles que estão diretamente apoiados, sem revestimento de fundo, em zonas vadasas

permeáveis muito finas e aquíferas. Isto mostra que nem todos os modelos construtivos de ASPP podem ser aplicados a todos os lugares, ainda que as condicionantes de características populacionais e de produção de resíduos sejam atendidas.

Diante do exposto, podemos perceber que nem todos os modelos de aterros de pequeno porte, que dispensam alguns desses elementos construtivos, atendem a critérios sanitários e ambientais da área em que se pretende instalá-los. Isto porque o volume produzido de chorume precisa estar dentro da capacidade de suporte e autodepuração do solo, para que não haja prejuízos ambientais significativos.

Como em qualquer obra de engenharia, os estudos preliminares da área, com a caracterização geológico/geotécnica e de outros dados ambientais, são extremamente necessários para o embasamento do projeto e para a escolha do método construtivo do ASPP. Além disso, diversos autores (CASTILHOS JR, *et al.*, 2002; FIUZA, 2002 e SILVEIRA, 2008) salientam a importância, válida até os dias atuais, de primar por áreas com condições ambientais favoráveis à implantação do aterro, de criar planos de monitoramento e fiscalização e ainda de obter dados reais da caracterização populacional, dos resíduos e dos efluentes gerados. A observação destas condições pode evitar erros no projeto e na escolha do modelo de ASPP, viabilizando o tratamento das não conformidades e permitindo ajustes operacionais, que garantam o adequado funcionamento da estrutura do aterro.

É pertinente observar que os municípios de pequeno porte precisam investir em outras ações de manejo de resíduos, para além da implantação de seus aterros sanitários. Dentre elas destacam-se o investimento em educação ambiental para redução na geração de resíduos, a coleta seletiva e recuperação dos materiais recicláveis, a logística reversa e a compostagem orgânica. A valoração dos resíduos orgânicos pode auxiliar na resolução de graves problemas sanitários e de sustentabilidade econômica na gestão dos resíduos, além de contribuir significativamente com a redução da quantidade desses resíduos encaminhados para a disposição final.

Em contraponto aos aterros sanitários de pequeno porte está a gestão compartilhada dos resíduos, por meio dos Consórcios Intermunicipais de Resíduos Sólidos Urbanos. Trata-se de uma solução conjunta com a implantação de um único aterro sanitário comum aos municípios participantes, com os devidos rateios de custos de implantação e operação. No Brasil, a lei federal 11.107/2005 (BRASIL, 2007), que dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos, e sua respectiva norma regulamentadora, decreto 6.017/2007 (BRASIL, 2007), criam o arcabouço legal

para a celebração de consórcio público intermunicipal, de natureza jurídica, visando a destinação final adequada dos resíduos sólidos urbanos.

Os modelos de ASPP's escolhidos e estudados nesta pesquisa estão apresentados no item 2.2.1.

2.2.1 Aterro em valas proposto pela CETESB

O Aterro em valas foi proposto pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo no ano de 1997. Consiste em uma técnica para a disposição de resíduos urbanos no solo, em municípios de pequeno porte, onde a produção diária de lixo não deve ultrapassar 10 (dez) toneladas.

Por ser uma técnica de disposição de resíduos abaixo do nível natural do terreno, o órgão ressalta que a área ideal para a implantação desse tipo de empreendimento é em terreno de relevo plano, de modo a facilitar a operação e abertura de novas células. A CETESB (1997) ressalta ainda que a implantação deve seguir critérios técnicos com escolhas de áreas favoráveis, do ponto de vista geológico e geotécnico, em decorrência da dispensa da impermeabilização complementar das valas com uso de mantas de PEAD.

O Quadro 3 apresenta as características construtivas e operacionais deste método de aterro sanitário de pequeno porte.

Quadro 3 - Características do Método de ASPP proposto pela CETESB (1997)

Características construtivas e operacionais	Método do Aterro em Valas (CETESB)
Produção diária de resíduos	Até 10 t/dia
Perfil construtivo	Valas escavadas abaixo do nível do terreno em áreas planas
Impermeabilização de fundo	Dispensada para áreas com baixa permeabilidade ($k < 10^{-5}$ cm/s)
Vida útil de cada célula/trincheira	1 Mês
Aproveitamento da área acima do nível do terreno	Não
Resíduos não permitidos	RCC, RSS, entre outros resíduos perigosos
Dimensões (Profundidade x largura da base x Largura do topo)	3 m x 3 m x 3 m
Distância entre o fundo da vala e nível freático	≥ 3 m. Em solos argilosos é permitido a partir de 1,5m
Operação	A caçamba descarrega em um único ponto até seu preenchimento (cota superior da vala) avançando para a outra extremidade.
Cobertura operacional/intermediária	Diária, 20 cm de espessura.
Cobertura final	Nivelamento final em cota superior ao terreno, 60 cm de espessura com declividade de 7%
Compactação dos RSU's	Não Há. Existe apenas um nivelamento manual dos RSU
Drenagem de Gases	Não Há

Características construtivas e operacionais	Método do Aterro em Valas (CETESB)
Drenagem de Lixiviado	Não Há

Fonte: Adaptado CETESB (1997).

Iwai (2012) estudou e constatou a eficácia de aterros construídos com a metodologia da CETESB, em três locais com balanço hídrico positivo, no estado de São Paulo.

Neppi *et al.* (2010), ao proporem um plano de fechamento de um Aterro em Valas no município de Santo Antônio do Jardim/SP, baseando nas análises do solo, da água subterrânea e no levantamento planialtimétrico da área, observaram que o solo apresentava metais pesados como bário, cádmio e cobalto acima dos valores permitidos. Neste caso, devido à característica ambiental hidrogeológica da área e do nível da água subterrânea, o estudo apontou que a contaminação ficou restrita a área de influência do aterro. Os autores constataram a inexistência de concentração de metano e de Compostos Orgânicos Voláteis (COV) nas amostras analisadas. Apesar de não tecerem críticas ao modelo proposto pela CETESB, salientaram para a necessidade de o poder público local proceder com monitoramentos em todo o processo de descomissionamento do aterro.

Garcia (2018), ao estudar um aterro concebido nesta mesma metodologia proposta pela CETESB em um município no interior do Estado de São Paulo, apontou que os resultados para metais potencialmente tóxicos e hidrocarbonetos aromáticos presentes no solo do aterro estavam abaixo dos valores máximos permitidos, expressos na Resolução do CONAMA nº 420. A autora aponta que a conformidade legal encontrada pode ter sido em decorrência do tempo de atividade do aterro sanitário ou do perfil de geração de resíduos da população do município, que ajudou na atenuação dos contaminantes e na biodegradação natural.

2.2.2 Aterro Sanitário Simplificado proposto pela CONDER

O Aterro Simplificado foi proposto pela Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER) no ano de 2002. Consiste em uma técnica para a disposição de resíduos urbanos no solo, em municípios com população total de até 20.000 habitantes, que gerem entre 10 e 15 toneladas de resíduos diariamente.

A concepção geral do aterro proposto consiste no aterramento manual dos resíduos ou utilizando equipamento compactador (rolo, trator esteira), dentro de valas do tipo trincheiras. As trincheiras, em forma trapezoidal, são escavadas a partir da

superfície do terreno e, em princípio, o método dispensa a utilização de manta de PEAD (polietileno de alta densidade), salvo em casos específicos.

O Quadro 4 apresenta as características construtivas e operacionais deste método de aterro sanitário de pequeno porte.

Quadro 4 - Características do Método de ASPP proposto pela CONDER

Características construtivas e operacionais	Método do Aterro Simplificado (CONDER)
Produção diária de resíduos	10 a 15 t/dia
Perfil construtivo	Trincheiras em formato trapezoidal
Impermeabilização de fundo	50 cm de camada de argila
Vida útil de cada célula/trincheira	1 ano
Aproveitamento da área acima do nível do terreno	De 1 a 1,5 m acima do nível do solo
Resíduos não permitidos	RSS
Dimensões (Profundidade x largura da base x Largura do topo)	4 m x 5 m x (6 a 10) m
Distância entre o fundo da vala e nível freático	Não informa
Operação	A caçamba tem acesso ao interior da trincheira, onde descarrega preenchendo de uma extremidade a outra e recobre com uma camada de solo
Cobertura operacional/intermediária	Diária, camada de 20 cm de espessura de solo não removível (ou lona plástica removível) em camadas intercaladas de RSU
Cobertura final	Selagem com 60 cm de cobertura final compactada
Compactação dos RSU's	Compactação poderá ser feita por rolo compactador manual ou com trator esteira
Drenagem de Gases	Não Há
Drenagem de Lixiviado	Não Há

Fonte: Adaptado CONDER (2002)

Silveira (2008), ao estudar sobre o gerenciamento de ASPP construídos pelo método proposto pela CONDER (Aterro Simplificado), salienta a efetividade na implantação destes, relativa ao baixo custo. No entanto, aponta diversos problemas operacionais nos aterros implantados pelo próprio órgão estadual em alguns municípios baianos: inexistência de mecanismos efetivos de controle e estrutura, tanto por parte do governo do Estado da Bahia, que implantou os aterros simplificados, quanto pelos municípios que receberam a obra; ausência de contratos de repasse e concessão, deixando claras as responsabilidades de cada ente; ausência de caracterização individual dos RSU nos municípios contemplados. A ausência de caracterização dos resíduos nos municípios contemplados gerou dados subestimados, que comprometeram a operacionalização em alguns casos. Silveira aponta ainda a inexistência de participação social em todas as etapas de planejamento e execução do projeto.

No entanto, o insucesso dos aterros implementados, neste contexto, está mais relacionado a problemas de gestão e operação do que do modelo proposto propriamente dito. As recomendações propostas por Silveira (2008), para os futuros aterros simplificados, são que se considere uma geração de resíduos entre 5 e 10 t/dia (ao invés

de 10 a 15 t/dia, como propõe o método), devido à capacidade gerencial de um município de pequeno porte. Além disso, salienta que deve ser construído galpão de triagem apenas em municípios que já desenvolvem programas de coleta seletiva ou que tenham sociedade civil organizada, atuando com recuperação e reciclagem. Salienta ainda que se deve implementar captação de água de chuva nas estruturas a serem construídas (Guarita, galpão de triagem), quando houver impossibilidade de o aterro funcionar em um único turno (preferencialmente).

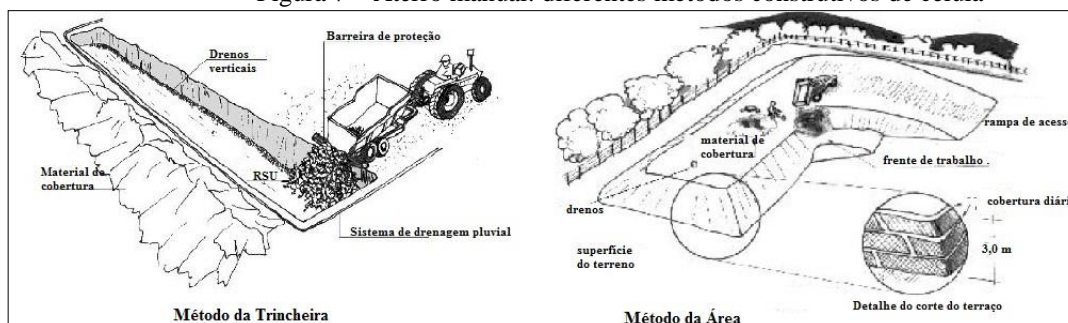
Um levantamento realizado pelo Ministério Público Estadual da Bahia, entre 2006 e 2007, detectou que, dos ASPP construídos pelo governo do Estado da Bahia, por meio da CONDER, 23,3% deles encontravam-se em péssimo estado, 70,0% apresentavam situação regular e apenas 6,7% destes, estavam em condições operacionais aceitáveis. Além destes, outros aterros implantados no mesmo modelo, por outras iniciativas distintas, também possuem situações semelhantes: 40,0% encontram-se em péssimo estado, 35,0% em condição regular e 25% em situação aceitável.

Por ser um método simples e que contou com pouco ou nenhum acompanhamento técnico por parte da CONDER, pode ter sido a causa de tantos problemas. Salienta ainda que este órgão não possui atribuições de fiscalização e normatização nas áreas de meio ambiente e saneamento.

2.2.3 Aterro Sanitário Manual proposto pelo CEPIS/OPS

O Aterro Manual foi proposto pelo Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente (CEPIS/OPS) no ano de 2002. O Aterro consiste em uma técnica de disposição final de até 15 toneladas diárias e possui dois métodos construtivos de células: trincheira e área. Esta também é a única proposta de ASPP, que permite o aproveitamento de depressões naturais do terreno ou cavas desativadas de mineração, existentes no município, para implantar o aterro com células no método de área. A Figura 7 mostra células construídas nos dois métodos.

Figura 7 – Aterro manual: diferentes métodos construtivos de célula



Fonte: Adaptado de CEPIS, 2002.

O termo manual refere-se à operação de compactação e confinamento dos resíduos, por trabalho braçal e emprego de algumas ferramentas. A impermeabilização de fundo é dispensada, quando o índice pluviométrico é baixo, não superando 300mm/ano (regiões desérticas) ou em lugares onde é possível encontrar um ambiente seco com alta incidência solar (balanço hídrico negativo). Nestes locais, haverá alta taxa de evaporação e, quando associado a característica de baixa umidade do resíduo, não será necessário colocar a impermeabilização da base.

O Quadro 5 apresenta as características construtivas e operacionais deste método de aterro sanitário de pequeno porte.

Quadro 5 - Características do Método de ASPP proposto pelo CEPIS/OPS

Características construtivas e operacionais	Método do Aterro Manual (CEPIS/OPS)
Produção diária de resíduos	15 t/dia
Perfis construtivos	Método da área e método de trincheiras
Impermeabilização de fundo	Argila impermeável e liner sintético
Vida útil de cada célula/trincheira	1 ano
Aproveitamento da área acima do nível do terreno	Há aproveitamento, desde que se integre o método da trincheira com o método de área
Resíduos não permitidos	Não há
Dimensões (Profundidade x largura da base x Largura do topo)	Método da área: Até 1,5m x (2 a 3) m x (3 a 6) m Método da trincheira: (2 a 4) m x (2 a 3) m x (3 a 6) m
Distância entre o fundo da vala e nível freático	$\geq 1m$
Operação	Lançamento dos resíduos espalhados no fundo da vala, para facilitar a compactação (em camadas)
Cobertura operacional/intermediária	Diária, camada de 10 a 15 cm de espessura de solo.
Cobertura final	30 a 60 cm de argila compactada realizada em duas etapas.
Compactação dos RSU's	Manual
Drenagem de Gases	Sim
Drenagem de Lixiviado	Sim

Fonte: Adaptado CEPIS/OPS, 2002.

RÖBEN (2002) apresenta algumas recomendações, indicando quando se deve optar por aterros construídos pelo método proposto pelo CEPIS/OPS ou quando o aterro sanitário convencional é o mais indicado. Recomenda-se, porém, que cada município

deve fazer um estudo de viabilidade técnica, comparando as vantagens e desvantagens das duas tecnologias para cada caso específico. Ou seja, a análise deve considerar todas as características locais e não somente critérios de volume de resíduos. As recomendações propostas pela autora são apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Situações recomendadas para aterro manual e aterro convencional de resíduos sólidos

Situação	Aterro Manual (CEPIS/OPS)	Aterro Convencional
Município com população muito pequena (< 5000 habitantes)	Sempre se recomenda	Não
População pequena (< 50 000 habitantes)	Geralmente se recomenda	Recomenda em casos de consórcios intermunicipais
Município ou distrito muito isolados	Sempre se recomenda	Apenas em caso de ser aglomerado urbano de médio porte
Terreno muito caro ou limitado	Somente em casos de municípios muito pequenos	Não recomendado para municípios de grande porte
Áreas com alta pluviosidade	Aplicável em cidades de pequeno porte, desde que se tome precauções que incluam drenagem e cobertura	Método mais recomendado nestes casos
Não dispõe de obra qualificada	Aceitável	Não recomendado para grandes cidades
Mão de obra barata	Preferencialmente	Geralmente é aceitável, excetuando nos casos de grande porte.

Fonte: Adaptado de RÖBEN, 2002.

2.2.4 Aterro Sustentável proposto pelo PROSAB

O Aterro Sustentável foi proposto pelo Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) no ano de 2003. Constitui-se em um método baseado em procedimentos científicos, que aliam a simplicidade operacional com a flexibilização de adequação do projeto, rotinas operacionais e requisitos ambientais, em função das limitações e potencialidades de municípios de pequeno porte.

O método desenvolvido pelo PROSAB se divide em etapas, ainda que simplificadas em comparação aos critérios de aterros convencionais. Nestas etapas há a análise e estudos preliminares do município, seleção de áreas favoráveis e definição clara de cada fase de projeto: implantação, operação e monitoramento.

O Quadro 7 apresenta as características construtivas e operacionais deste método de aterro sanitário de pequeno porte.

Quadro 7 - Características do Método de ASPP proposto pelo PROSAB

Características construtivas e operacionais	Método do Aterro Sustentável (PROSAB)
Produção diária de resíduos	Até 10 t/dia
Perfil construtivo	Trincheiras em formato prismático ou trapezoidal
Dimensões (Profundidade x largura da base x Largura do topo)	(2 a 3) m x 3 m x (2 a 3) m

Características construtivas e operacionais	Método do Aterro Sustentável (PROSAB)
Distância entre o fundo da vala e nível freático	$\geq 2\text{m}$
Impermeabilização de fundo	Solo local compactado no fundo e nas laterais. Características adversas podem requerer impermeabilização com manta sintética
Vida útil de cada célula/trincheira	2 a 4 meses
Aproveitamento da área acima do nível do terreno	Não
Resíduos não permitidos	Não menciona
Operação	Descarga do caminhão diretamente na vala ou em uma superfície na lateral da trincheira, para posterior espalhamento
Cobertura operacional/intermediária	10 a 20 cm de solo local. Possui telhado sobre a trincheira, para reduzir a incidência direta da chuva
Cobertura final	Utilização de solo argilo-arenoso
Compactação dos RSU's	Manual
Drenagem de Gases	Sim, mas pode ser dispensável se a geração for baixa
Drenagem de Lixiviado	Sim

Fonte: Adaptado PROSAB, 2003.

Lange *et al.* (2003) analisaram a experiência de um aterro construído no modelo proposto pelo PROSAB (Aterro Sustentável) no município de Catas Altas, MG. Ao longo de dois anos e meio de estudos, o aterro foi monitorado e apresentou resultados satisfatórios tais como: redução dos parâmetros DBO e DQO, resultados de amostras do solo indicando que não houve infiltração de lixiviado na base da trincheira e ausência de indicadores de que o lençol freático estivesse sofrendo alguma contaminação.

De acordo com os autores, o sucesso da experiência de Catas Altas foi função da capacitação da mão de obra, da operacionalização de acordo com as diretrizes pré-definidas e da cooperação técnica entre poder público municipal e universidade, responsável pelo treinamento e transferência de tecnologia. Neste sentido, apontam que um dos motivos do insucesso de outras experiências de ASPP foi a falta de técnicos capacitados no município, para continuarem a operar de forma independente do órgão executor do projeto e a não sustentabilidade técnica e econômica. Com base em custos operacionais trimestrais, para o ano de 2003, foi estimada uma despesa média de R\$ 3.269,31, incluindo a abertura, operação e fechamento de uma trincheira. Já para o custo de investimento em obras de infraestrutura e equipamentos do aterro, estimou-se um desembolso total de R\$ 13.860,32 (treze mil, oitocentos e sessenta reais e trinta e dois centavos).

Utilizando o *software* de Calculadora do Cidadão do Banco Central do Brasil, podemos atualizar este valor para qualquer ano por meio do uso do índice de correção IPCA-E (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo Especial). Assim, a despesa

média de construção e operação da célula do ASPP atualizada para o ano de 2020, com base no ajuste inflacionário, é de R\$ 8.616,3. No que concerne ao custo de investimento em obras de infraestrutura e equipamentos do aterro, o desembolso total atualizado para o ano de 2020 é estimado em R\$ 36.609,51.

A experiência obtida em Catas Altas, com o modelo de ASPP do PROSAB, permitiu aos autores inferirem sobre a possibilidade de extrapolação e replicação do método a outros municípios de mesmo porte, desde que considerações técnicas sejam consideradas. Dentre as restrições que devem ser consideradas, os autores destacam os limites máximos do contingente populacional, as características socioeconômicas e culturais locais, as tecnologias e os equipamentos disponíveis e as condições climáticas, dentre outras características físicas do município.

Os métodos descritos apresentam diferenças sutis. Cada um possui vantagens e desvantagens em sua aplicação, que são apresentadas no item 2.2.5.

2.2.5 Vantagens e desvantagens de cada método de ASPP analisado

Como vantagens comuns a todas as propostas, se destacam a facilidade de operação e o uso de valas, por serem de fácil escavação e manutenção. As desvantagens que todos os métodos possuem em comum, estão relacionadas ao modo de compactação dos resíduos na célula, uma vez que o operador fica em contato direto com a massa de resíduos sólidos, compactando manualmente os resíduos com o auxílio de soquetes ou rolos adaptados. Este contato manual e direto com os resíduos, para a compactação, não foi bem compreendido ou talvez não tenha sido benquisto pelos operadores, como destacou Silveira (2008) ao analisar alguns aterros simplificados no Estado da Bahia. O Quadro 8 apresenta uma análise dos pontos positivos e negativos de cada método.

Quadro 8 - Vantagens e desvantagens de cada modelo de ASPP estudado

Modelo do Aterro	Principais vantagens	Principais Desvantagens
Aterros em Valas (CETESB)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Facilidade operacional ✓ Não há compactação dos RSU 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Possui o menor volume máximo permitido ✓ Vida útil com horizonte curto ✓ Custos elevados com abertura de novas valas, constantemente
Aterros Sustentáveis (PROSAB)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Modelo que aceita maior volume de resíduos ✓ Método que emprega mais dispositivos de controle ambiental e sanitário ✓ Possui telhado para proteger da chuva 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Telhado da trincheira impede aproximação de veículos ✓ Necessidade de descarga fora da célula ✓ Requer tratamento do lixiviado
Aterro Sanitário Simplificado (CONDER)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A vida útil de cada célula pode chegar a 1 ano ✓ Acesso de equipamentos na célula ✓ É possível a compactação com trator esteira 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Risco de contaminação ambiental ✓ Necessita de atividades de apoio de destinação final (reciclagem, etc.)

Modelo do Aterro	Principais vantagens	Principais Desvantagens
	✓ Aproveitamento da área acima do nível do terreno	
Aterro Manual (CEPIS/OMS)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Permite aproveitamento de áreas com depressões e cavas de mineração ✓ Aproveitamento da área acima do terreno ✓ Vida útil de cada célula de 1 ano 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ O método de área é de difícil operação ✓ Necessita de acompanhamento técnico constante ✓ O uso de cavas de mineração deve ser precedido de investigação geotécnica ✓ Requer tratamento do lixiviado

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Analisando os modelos, conclui-se que a escolha pela implantação de um deles deverá ser baseada em critérios técnicos, utilizando uma série de informações ambientais, que contemple a particularidade e fragilidade do meio ambiente em que se encontra.

Além disto, a participação social deverá ser contemplada não apenas para cumprimento das prerrogativas legais das Políticas Nacionais de Saneamento Básico e de Resíduos Sólidos, como também para garantir o bom funcionamento do ASPP, independentemente da técnica a ser adotada. Destacam-se, neste contexto, as ações integradas da limpeza urbana, contemplando todas as etapas do manejo de resíduos sólidos. Deste modo, os instrumentos de planejamento de saneamento e de resíduos precisam ser elaborados de modo a pensar, planejar e construir com participação social os rumos do gerenciamento e manejo de resíduos sólidos no âmbito municipal.

Já Paiva (2004), ao analisar e comparar os modelos de ASPP com as características ambientais da região semiárida do Estado da Bahia, desenvolveu um instrumento de análise para avaliar o potencial de aplicação das tecnologias simplificadas. Como resultado, o estudo obteve uma carta contendo as indicações das áreas favoráveis e áreas com restrição ou inadequadas para implantação do ASPP. No entanto, o instrumento de análise se limita apenas a um recorte geográfico de interesse e sem distinção de qual modelo de ASPP se deve adotar nestes locais.

A matriz proposta por May (2008), por outro lado, traz uma ferramenta de análise considerando aspectos técnico-ambientais fundamentados em princípios de sustentabilidade, objetivando a avaliação de aterros simplificados que já se encontram na fase de operação. Neste caso, a matriz só pode ser utilizada como ferramenta de ações de monitoramento ou fiscalização, como as exercidas pelos órgãos de controle ambiental, em aterros de pequeno porte que já se estão implantados.

A adoção de ferramentas de análise, para avaliação de áreas potenciais para implantação de aterros sanitários, considerando critérios técnicos, é bastante utilizada. A

Matriz de Leopold, por exemplo, projetada para avaliação de impactos ambientais, comumente é adaptada para a temática de resíduos sólidos. Autores como Fiuza e Oliveira (1997), Monteiro e Zveibil (2001), Gomes e Martins (2003), Correia e Lança (2008) e Goez (2015) utilizaram desta ferramenta, também conhecida como Matriz de Interação, para subsidiar a escolha de terrenos para implantação de aterros, independente do porte.

3 METODOLOGIA

O método utilizado, para alcance dos objetivos propostos nesta pesquisa, foi dividido em três etapas.

Na primeira etapa, realizou-se o estudo de modelos existentes de aterros sanitários de pequeno porte e suas principais características, selecionando 4 (quatro) modelos operacionais de ASPP. A partir disso, foram identificadas as fragilidades/dificuldades de cada modelo escolhido, considerando as experiências nacionais e internacionais de ASPP implantados.

Considerando essas informações, a segunda etapa constituiu-se em identificar as características que interferem na implantação e funcionamento adequado dos aterros de pequeno porte e que, por isso mesmo, se constituem como fatores limitantes para aplicação deste ou daquele método. Após a definição destas características de interesse, as mesmas foram organizadas em 03 (três) categorias: do meio físico e ambientais, sanitárias/operacionais e sociais. Em seguida, cada característica teve sua respectiva pontuação definida a partir da metodologia proposta por May (2008) e o respectivos pesos definidos pela metodologia proposta por Monteiro e Zveibil (2001), conforme detalhado no item 3.2.

Os modelos de ASPP foram hierarquizados segundo o grau de exigência operacional, indo do mais flexível ao mais rígido em comparação ao modelo de aterro sanitário do tipo convencional.

A terceira etapa tratou da construção da matriz interativa, utilizando o Microsoft Excel, em uma linguagem simples e adaptada, de modo a ser operacionalizada pela gestão municipal. Nessa etapa, para fins práticos e de validação, a matriz foi aplicada em três municípios baianos de características ambientais e territoriais distintas e, com os resultados, realizou-se o ajuste para resultar na matriz final.

A matriz poderá ser aplicada como um instrumento de planejamento e tomada de decisão, na escolha de um modelo de ASPP em detrimento de outro, considerando as características do território e suas especificidades.

3.1 HIERARQUIZAÇÃO DOS MODELOS DE ASPP E DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE INTERESSE PARA ELABORAÇÃO DA MATRIZ

No Referencial Teórico foram apresentados casos de municípios que implantaram aterros de pequeno porte, com os modelos propostos pela CETESB,

CONDER, PROSAB e CEPIS/OPS, mostrando as exigências de cada um. Tendo essas informações e analisando-se os manuais operacionais de cada método de ASPP, foi possível elaborar o Quadro 9 com um comparativo entre os modelos, tomando como base os principais elementos de um aterro sanitário.

Quadro 9 - Principais elementos construtivos de um aterro sanitário: comparação dos modelos de ASPP

Componentes e rotinas operacionais	Aterro em valas (CETESB, 2010)	Aterro Sanitário Simplificado (CONDER, 2002)	Aterro Manual (CEPIS/OPS, 2002)	Aterro Sustentável (PROSAB, 2003)
Método construtivo para o confinamento dos resíduos	Valas	Células e trincheira	Áreas e trincheiras	Trincheiras
Dimensões (m) – Prof. x Larg. (base) x Larg. (topo) ¹	3 x 3 x 3	4 x 5 x (6 a 10)	Área: Até 1,5 x (2 a 3) x (3 a 6) Trincheira: (2 a 4) x (2 a 3) x (3 a 6)	(2 a 3) x 3 x (2 a 3)
Impermeabilização - Base	Dispensada para áreas com solos siltosos e argilosos	50 cm de solo argiloso compactado no fundo	Solo argiloso ou Manta sintética	Manta sintética ou Solo compactado (fundo e laterais)
Drenos - Biogás	Não previsto	Não previsto	Previsto	Previsto
Drenos - Lixiviados	Não previsto	Não previsto	Previsto	Previsto
Acesso de equipamentos	Não é possível	Possível	Área: Possível Trincheira: Não é possível	Não é possível
Compactação do RSU	Apenas nivelamento	Manual ou com trator esteira	Manual	Manual
Cobertura Diária	20 cm de solo local	20 cm de solo local	10 a 15 cm de solo local	10 a 20 cm de solo local
Cobertura da área de confinamento do RSU	Não há	Lona plástica removível	Não há	Telhado fixo
Vida útil da célula ²	1 mês	1 ano	1 ano	2 a 4 meses

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

¹ O comprimento da célula varia de acordo com a quantidade de resíduos e com a vida útil a ser adotada.

² A estimativa da vida útil é função das dimensões adotadas para cada célula, podendo sofrer variações a depender do projeto

Observa-se que os modelos propostos pelo CEPIS/OPS e CONDER usam critérios para 1 (um) ano de recebimento de RSU, enquanto os demais modelos estudados fazem previsão para células com, no máximo, 4 meses de vida útil, recebendo um volume muito menor de resíduos. Maior vida útil justifica também uma maior quantidade de requisitos como, por exemplo, a necessidade de drenos de lixiviados e biogás. O modelo previsto pela CONDER, no entanto, não prevê os sistemas de drenagem. Para o estabelecimento de uma ordem de classificação dos modelos estudados, foram adotados os seguintes critérios de construção e operação:

- Modelos de ASPP com maior quantidade de elementos construtivos que visem a proteção aos recursos naturais, além de similaridade técnica com a engenharia de aterros sanitários convencionais.

- Facilidades operacionais tais como: acesso de equipamentos para descarga de resíduos e compactação dos mesmos.
- Rotina operacional que possibilite compactação da massa de resíduos e, conseqüente, aumento da vida útil da célula.
- Integração/Associação com outras iniciativas/projetos de destinação final, precedente à disposição final, como treinamento de pessoal e participação social.

Salienta-se que a aplicação da matriz é uma etapa anterior à escolha da área para implantação do ASPP e, neste caso, foram excluídos os critérios e características que são específicos do terreno a ser escolhido. Isso porque, para obtenção destes dados e informações, só seria possível após estudos geotécnicos do local. Assim sendo, apenas foram consideradas características genéricas do território municipal, para conduzir à indicação do método que melhor se adequa à realidade municipal. A matriz, além de indicar o método de ASPP, que é possível de ser implantado, traz também informações e pré-requisitos, necessários para a adequada operação do aterro, para subsidiar a escolha do terreno.

Após seleção das características de interesse para a elaboração da matriz, as mesmas foram agrupadas em 03 categorias: características do meio físico e ambientais, sanitárias/operacionais e sociais do município.

3.1.1 Categoria do meio físico e fatores ambientais

Na categoria do meio físico e fatores ambientais, foram reunidas as seguintes características: tipo de solo predominante, parâmetros físico-químicos do solo, balanço hídrico do município, profundidade do lençol freático, classificação climática, ocorrência de solos cársticos.

- *Tipo de solo predominante*

Esta característica tem por objetivo indicar a permeabilidade do solo, através de informações generalizadas sobre o predomínio de determinado solo do município: argiloso, silteoso ou arenoso. Quanto menor a permeabilidade, menor será a possibilidade de contaminação do subsolo pelo lixiviado do RSU. Esse parâmetro é um dos fatores limitantes, para o tipo e forma de impermeabilização das células dos aterros

sanitários, incluindo a possibilidade ou não da dispensa de revestimento de fundo com mantas sintéticas.

Em solos arenosos, por exemplo, determinados modelos de ASPP são desaconselhados. Isto porque aterros que dispensam impermeabilização complementar ou que exigem escavações profundas, para construção de suas trincheiras, não são adequados a solos arenosos devido a sua alta permeabilidade e instabilidade geotécnica nos taludes.

Para obtenção destas informações, o operador da matriz pode recorrer aos Mapas de Geodiversidade dos Estados Brasileiros, elaborados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM do Ministério de Minas e Energia. Informações sobre o predomínio dos solos podem ser extraídas das tabelas de adequabilidades e limitações presentes nos mapas de cada estado. Nestas tabelas, são apresentadas a influência das unidades geológico-ambientais frente ao uso e ocupação do solo por obras de engenharia, as atividades potencialmente poluidoras e os recursos hídricos subterrâneos.

Na matriz elaborada, há três opções de resposta ao tipo de solo predominante no município (arenoso, siltooso e argiloso), que representam, respectivamente, uma condição desfavorável, neutra e favorável em se tratando de operação de ASPP e cumprimento da legislação ambiental.

- *Parâmetro físico-químico do solo (Capacidade de troca catiônica), baseado na classe do solo segundo classificação da Embrapa*

Esta característica tem por objetivo orientar sobre a capacidade de atenuação do lixiviado no solo. A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) indica a quantidade total de cátions, que o solo pode adsorver e/ou trocar; sendo assim, solos com menor CTC possuem menor capacidade de absorção de metais (KORF *et al.*, 2008).

Em se tratando de escolha de métodos de ASPP, esse parâmetro tem a função de também definir se o método adotado poderá ou não ser do tipo que dispensa a impermeabilização complementar da célula. Considerando que os ensaios de laboratório, para fornecerem a CTC da área escolhida para implantação do aterro, não foram realizados devido à matriz ser usada em fase anterior a esta, a CTC está baseada na classe do solo do município, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS - EMBRAPA).

A consulta de informações do município, relacionada a esta característica, pode ser obtida por meio do mapa de solos do Brasil, disponível na plataforma GEOINFO da EMBRAPA.

Para cada classe de solo, há a indicação da variação de CTC, como sendo baixa, média e alta capacidade de troca catiônica, podendo também ter para uma mesma classe de solos combinações de baixa a alta ou de média a alta CTC (EMBRAPA, 1999). Neste trabalho, optou-se por desconsiderar solos que podem apresentar ampla faixa de CTC, variando de baixa a alta, pelo fato de ir de um extremo ao outro, não fornecendo segurança quanto ao comportamento desse parâmetro, mesmo que o solo apresente outras vantagens em outros quesitos (baixa permeabilidade, por exemplo). Desta forma, para efeito de preenchimento da matriz, serão considerados favoráveis apenas os solos com alta CTC, ou solos com variação de média a alta, sendo que as demais variações serão classificadas como desfavoráveis (baixa ou variação de baixa a alta CTC).

Na matriz elaborada, há duas opções de resposta ao parâmetro físico-químico CTC do Município, baseado em dados de variação da EMBRAPA (1999). Opção 01 (condição favorável): *Chernosolo, Luvisolo ou Planossolo*, e Opção 02 (condição desfavorável): *Vertissolo, Neossolo, Cambissolo, Argissolo, Nitossolo, Latossolo, Espodossolo, Plintossolo, Gleissolo ou Organossolo*.

- *Balanço Hídrico do Município*

Esta característica ambiental tem por objetivo monitorar o armazenamento de água no solo, registrando o volume de água que entra e que sai, seguindo em princípio a metodologia proposta por Thornthwaite & Mather (1955). Em se tratando de operação de ASPP, municípios cujo balanço hídrico seja positivo, ou seja, volume precipitado maior que a evapotranspiração potencial, requer modelos de ASPP que contemplem sistemas de drenagem de lixiviados e cobertura diária dos resíduos, por exemplo.

Esta informação do balanço hídrico no município pode ser obtida através de cálculos, utilizando as séries históricas de dados como chuva, evapotranspiração, temperatura e umidade relativa do ar, insolação, velocidade dos ventos, do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET).

Outra opção é utilizar a plataforma desenvolvida pelo Ministério do Meio Ambiente, para apoio aos municípios que podem implantar ASPP. A plataforma pode calcular o Balanço Hídrico pelo método de Thornthwaite & Mather (1955), e oferece o

valor do Excedente ou do *Déficit* Hídrico, entre outros parâmetros, para qualquer ponto do território nacional. Os dados de entrada são as coordenadas geográficas do local de interesse ou o nome do município e o tipo predominante do solo.

Outra opção, um pouco mais simples e sugerida neste trabalho como uma alternativa, é a informação da quantidade de meses do período chuvoso no ano. Para Municípios cujo período de chuvas excede a 5 (cinco) meses, por exemplo, a matriz proposta poderá ser alimentada, considerando que o balanço hídrico será positivo.

Na matriz elaborada, há duas opções de resposta ao balanço hídrico do Município: positivo e negativo, representando uma condição desfavorável e favorável, respectivamente.

- *Profundidade do lençol freático*

Esta característica tem por objetivo indicar a distância entre a superfície do terreno e a cota máxima que as águas subterrâneas atingem dentro do terreno. No caso da escolha do método de ASPP, a profundidade do lençol indica também a necessidade ou dispensa de impermeabilização de fundo da célula.

A faixa de profundidade considerada neste trabalho, para a elaboração da matriz, será a referenciada pela norma NBR 15.849 (ABNT, 2010). Os dados para esta característica podem ser obtidos por meio da menor profundidade dos poços tubulares perfurados no município ou ainda da profundidade média das cisternas rasas, conhecidas também no Estado da Bahia como poços amazonas ou poços caipira.

A informação com os dados de profundidade de poços pode ser obtida nos mapas temáticos do IBGE ou em empresas do ramo, que atuam no município. No Estado da Bahia, a CERB executa perfuração de poços em áreas rurais, para implantação de sistemas simplificados de abastecimento de água. O referido órgão mantém um banco de dados dos poços executados, incluindo dados da geologia local e profundidade alcançada na perfuração.

Na matriz, há três opções de resposta ao quesito profundidade do lençol freático, com base em valores apresentados na norma NBR-15.849 (ABNT/2010). Profundidade do lençol freático: maior que 9 m (favorável), entre 6 e 9 m (neutro) e menor que 6 m (condição desfavorável).

- *Classificação Climática*

Esta característica tem por objetivo indicar o clima local e sua influência na geração de líquidos percolados. No caso da escolha do método de ASPP, a classificação climática indica também a necessidade ou dispensa de drenos de lixiviados e camada de cobertura intermediária (ou diária).

A tipologia climática, calculada pelo método de Thornthwaite & Mather (1955), pode ser obtida em mapas temáticos dos Estados brasileiros. Na Bahia, o mapa de tipologia climática foi produzido pela Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia – SEI no ano de 2014 e se encontra disponível para *download* no endereço eletrônico do referido órgão.

Na matriz proposta, há três opções de resposta ao quesito classificação climática: super-úmido ou úmido (condição desfavorável); sub-úmido ou sub-úmido seco (neutro) e árido e semiárido (favorável).

- *Ocorrência de solos cársticos*

Esta característica ambiental tem por objetivo indicar se existem ocorrências de ambientes cársticos no município, sob diferentes formas: cavernas, grutas, dolinas, condutos freáticos, etc. Ambientes cársticos são caracterizados pela dissolução química das rochas calcárias, na presença de água e possuem a característica de ter alta infiltração e baixa filtração. Ou seja, em se tratando de uma atividade potencialmente poluidora, como são os aterros sanitários, o lixiviado resultante da degradação microbiológica dos resíduos pode rapidamente infiltrar no solo e atingir o lençol freático sem, contudo, reduzir a carga orgânica em função da incapacidade em filtrar estes poluentes.

No caso de ocorrência de fenômenos cársticos, são desaconselháveis métodos de ASPP que dispensam elementos de proteção das células, tais como impermeabilização de fundo, drenagem e tratamento do lixiviado.

As informações sobre esta característica, para o município de interesse, podem ser obtidas nos Mapas de Geodiversidade dos Estados Brasileiros, elaborados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM do Ministério de Minas e Energia. Outra fonte de informações é o banco de dados do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE) do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBIO/CECAV, onde é possível pesquisar a ocorrência de ambientes cársticos em todos os municípios da federação.

Na matriz, há duas opções de resposta ao quesito existência de solos cársticos: existente (condição desfavorável) e não existente (favorável).

É importante destacar que as características reunidas nesta pesquisa, para comporem a categoria do meio físico e fatores ambientais, são características que independem da vontade humana, ou seja, são referentes à natureza e nem sempre poderão ser modificadas. Ao passo que as outras duas categorias, propostas neste trabalho, reúnem características que poderão ser mais facilmente adaptadas ou modificadas.

3.1.2 Categoria sanitária/operacional

Essa categoria reúne as características: quantidade média de resíduos produzidos diariamente, fração Orgânica dos resíduos/percentual de matéria orgânica, existência de coleta seletiva implantada no município, disponibilidade de trator esteira (equipamento próprio da Prefeitura) e nível de licenciamento ambiental do município.

- *Quantidade média de resíduos produzidos diariamente*

Esta característica sanitária/operacional tem por objetivo indicar a quantidade média diária de resíduos produzidos no município. Esse dado está relacionado com o método de ASPP a ser adotado, portanto, indica a máxima quantidade de resíduos que cada método poderá receber em função das dimensões das células.

Os dados sobre a quantidade de resíduos produzidos no Município podem ser encontrados nos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) ou nos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). Se o Município for participante da coleta de informações solicitadas pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, o dado estará disponível para consulta na Plataforma do SNIS do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR).

Outra forma é mensurar a massa de resíduos, a partir do levantamento de informações de campo. A partir de dados como o número de viagens, realizadas pelos veículos de coleta de lixo domiciliar, para descarga de resíduos no vazadouro a céu aberto e em sua capacidade volumétrica, é possível estimar a quantidade média de resíduos produzidos diariamente.

Para isso, a Equação 1 pode ser utilizada para obter a estimativa da Quantidade de Resíduos Sólidos Domiciliares – QRSD (BRASIL, 2012).

$$QRSD \text{ (kg/dia)} = CVV \times \gamma_{\text{m\u00e9dio}} \times n^{\circ} \text{ de viagens/dia} \times FC \times FU \quad \text{Equa\u00e7\u00e3o (1)}$$

Onde:

CVV: Capacidade volum\u00e9trica (m³) do ve\u00edculo, ca\u00e7amba ou caminh\u00e3o compactador utilizado na coleta.

$\gamma_{\text{m\u00e9dio}}$: Peso espec\u00edfico m\u00e9dio – Adota-se um peso espec\u00edfico aparente dos res\u00edduos domiciliares soltos de 250 kg/m³ (BRASIL, 2012).

N\u00b0 de viagens/dia: Quantidade m\u00e9dia de viagens que o ve\u00edculo de coleta faz carregado; neste caso, n\u00e3o contabiliza a volta do ve\u00edculo sem carga.

FC: Fator de compacta\u00e7\u00e3o – \u00cdndice de redu\u00e7\u00e3o volum\u00e9trica em raz\u00e3o do efeito de compacta\u00e7\u00e3o provocado pelo ve\u00edculo compactador, considerado igual a 2,5, embora o \u00cdndice admitido pelos fabricantes seja de 3 a 4, mas s\u00f3 para ve\u00edculos mantidos em \u00f3timas condi\u00e7\u00f5es e novos.

FU: Fator de utiliza\u00e7\u00e3o – \u00cdndice de utiliza\u00e7\u00e3o da carroceria do ve\u00edculo adotado para o munic\u00edpio; caso a carga di\u00e1ria de lixo n\u00e3o preencha 100% da capacidade do ve\u00edculo, dever\u00e1 ser adotado outro percentual de utiliza\u00e7\u00e3o conforme a realidade local.

Na matriz elaborada, h\u00e1 tr\u00eas op\u00e7\u00f5es de resposta ao quesito quantidade m\u00e9dia de res\u00edduos produzidos diariamente no munic\u00edpio: de 16 a 20 t/dia (condi\u00e7\u00e3o desfavor\u00e1vel), de 6 a 15 t/dia (neutra) e at\u00e9 5 t/dia (favor\u00e1vel). Neste caso, as tr\u00eas faixas cumprem o requisito de produ\u00e7\u00e3o di\u00e1ria de at\u00e9 20 toneladas/dia, conforme definido pela legisla\u00e7\u00e3o ambiental. As tr\u00eas op\u00e7\u00f5es de resposta foram determinadas com base em recomenda\u00e7\u00f5es operacionais encontradas na literatura (SILVEIRA, 2008; LANGE *et al.*, 2003).

- *Fra\u00e7\u00e3o Org\u00e2nica dos Res\u00edduos/Percentual de Mat\u00e9ria Org\u00e2nica*

Esta caracter\u00edstica sanit\u00e1ria/operacional tem por objetivo indicar o percentual de fra\u00e7\u00e3o org\u00e2nica do res\u00edduo. A fra\u00e7\u00e3o org\u00e2nica \u00e9 composta, em sua maioria, por mat\u00e9ria org\u00e2nica, a qual pode ser identificada por meio de ensaios de STV (s\u00f3lidos totais vol\u00e1teis) e influencia diretamente na forma\u00e7\u00e3o do biog\u00e1s e de l\u00edquidos no interior da c\u00e9lula decorrente da degrada\u00e7\u00e3o microbiol\u00f3gica, sendo respons\u00e1vel tamb\u00e9m pelos odores dos res\u00edduos.

Para este parâmetro serão adotados os dois percentuais de matéria orgânica, que constam na tabela de critérios para dispensa de impermeabilização complementar da NBR 15.849 (ABNT, 2010): menor que 30% (<30%) e igual ou maior que 30% ($\geq 30\%$).

Estes dados podem ser obtidos através da composição gravimétrica dos resíduos e podem estar contidos no PMSB ou PMGIRS do Município, ou ainda na plataforma do SNIS, do Ministério do Desenvolvimento Regional.

Se o município não possuir esta informação ou se não existirem estudos de caracterização recentes do RSU (em torno de 4 anos), o Termo de Referência para elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico (FUNASA, 2018) orienta que poderão ser utilizadas fontes de dados secundários de outros municípios. A ressalva é que, nestes casos, os dados usados sejam de municípios com características semelhantes, minimamente, em termos de porte populacional, região geográfica e nível de desenvolvimento econômico (comparar o IDH—índice de desenvolvimento humano).

Na matriz, há duas opções de resposta ao quesito percentual de Matéria Orgânica, com base em valores apresentados na norma NBR-15.849 (ABNT/2010): menor que 30% (condição favorável) e igual ou maior que 30% (condição desfavorável).

- *Existência de coleta seletiva implantada no município*

Esta característica sanitária/operacional tem por objetivo indicar a existência de coleta seletiva institucionalizada porta-a-porta, exercida diretamente pelo poder público local ou por sociedade civil organizada. Aqui não são consideradas as iniciativas, individuais ou coletivas através de cooperativas/associações de catadores, que coletam o material reciclado diretamente no lixão ou aterro controlado.

Municípios que já possuam coleta seletiva em funcionamento podem adotar técnicas de ASPP mais simplificadas ainda, uma vez que há aumento gradativo do percentual de recuperação dos recicláveis à medida que, também, se aumenta o índice de cobertura da coleta seletiva. Esta informação pode ser obtida diretamente com os operadores municipais dos serviços de limpeza urbana da prefeitura ou empresa terceirizada, contratada pelo Município.

Na matriz elaborada, há duas opções de resposta ao quesito existência de coleta seletiva implantada: existente (condição favorável) ou não existente (condição desfavorável).

Considera-se que o município possui coleta seletiva, quando o índice de cobertura do serviço cobre, no mínimo, 50% da malha urbana e está em funcionamento há pelo menos 02 (dois) anos. De acordo com Santiago & Dias (2012), para considerar a existência da coleta seletiva, deve-se ponderar se a população contribui adequadamente com a coleta seletiva. Na hipótese de não atender a estes requisitos, considera-se não existente (condição desfavorável), para a característica existência de coleta seletiva implantada no município.

- *Disponibilidade de trator esteira (equipamento próprio da Prefeitura)*

Esta característica sanitária/operacional tem por objetivo indicar a existência de trator esteira, que seja próprio da prefeitura e que poderá ser usado na compactação do RSU na célula do ASPP.

No caso de inexistência do veículo, é preferível a adoção de método de ASPP cuja compactação dos resíduos possa ser realizada de forma manual. Esta informação também poderá ser obtida diretamente com os operadores municipais dos serviços de limpeza urbana da prefeitura ou empresa terceirizada contratada pelo Município.

Na matriz elaborada, há duas opções de resposta ao quesito disponibilidade de trator esteira: disponível (condição favorável) ou não disponível (condição desfavorável).

- *Nível de licenciamento ambiental do Município*

A lei complementar Nº 140/2011 (BRASIL, 2011) estabeleceu normas para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios no licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras.

Cada ente da federação pode solicitar apoio técnico um ao outro, para cumprir suas competências (atuação subsidiária) ou até mesmo ser totalmente substituído por um deles (atuação supletiva). Cada Estado do país tem definido como são as regras, para estas atuações supletivas ou subsidiárias. Compete ao Município definir se possui capacidade técnica para assumir suas atribuições, no licenciamento ambiental de atividades de impacto local, ou se necessitará de atuação supletiva ou subsidiária do Estado ou mesmo da União.

Em se tratando de ASPP, esta característica sanitária/operacional tem por objetivo indicar se o município poderá realizar o licenciamento ambiental do aterro ou

se será competência do Estado assumir este tipo de licenciamento. Caso seja o próprio Município, os custos e o tempo de tramitação do processo serão drasticamente reduzidos.

No caso do Estado da Bahia, a competência em licenciamento se encontra classificada por nível de atuação. O Programa de Gestão Ambiental Compartilhada – GAC, do governo estadual, classifica o Município em: não apto a licenciar ou apto nos níveis I, II ou III. Apenas municípios aptos no nível III são habilitados a licenciar aterros de pequeno porte.

A classificação do município pode ser consultada nos sistemas estaduais de informações ambientais, ou similar, e nas próprias secretarias de meio ambiente do município. No Estado da Bahia, a consulta pode ser feita por meio da Plataforma da GAC da Secretaria Estadual de Meio Ambiente – SEMA.

Na matriz elaborada, há duas opções de resposta ao quesito nível de licenciamento ambiental no município: apto a Licenciar (condição favorável) ou o Município não é apto ao licenciamento (condição desfavorável).

3.1.3 Categoria social

Na categoria social, foram agrupadas as seguintes características: participação da sociedade civil em conselhos e/ou outras instâncias de controle social, existência de catadores de materiais recicláveis organizados (cooperativas/associações), existência de capacitação continuada de agentes da limpeza pública e coleta de lixo e ações de educação ambiental implantadas no município na temática Resíduos Sólidos.

- *Participação da sociedade civil em conselhos e/ou outras instâncias de controle social*

Esta característica social tem por objetivo indicar se já existe uma cultura de participação popular efetiva nos diversos conselhos (de saúde, meio ambiente/desenvolvimento sustentável, comitê de bacias, etc.) ou se há resistência da sociedade civil em participar destas instâncias de participação e controle social.

Algumas experiências exitosas de ASPP tiveram forte influência da participação popular. Um exemplo é a experiência do aterro de Catas Altas, implantado pelo PROSAB, que contou com controle social efetivo na operacionalização e projetos paralelos de destinação dos RSU (reciclagem, compostagem, viveiro), sendo atribuído a este fato um dos motivos pelo sucesso deste ASPP.

Esta informação pode ser obtida junto aos conselhos municipais, comprovada por meio do quórum das reuniões ordinárias destas instâncias. Santiago & Dias (2012) estabelecem como princípio chave para validação da participação da sociedade civil, a participação de todos na tomada de decisões sobre a gestão de resíduos sólidos, fato este que mostra o controle social conforme proposto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Para efeito de preenchimento da matriz, será considerado como tendo alto grau de envolvimento e participação social, os conselhos que possuem quórum acima de 70% de presença dos membros titulares ou seus suplentes nas reuniões ordinárias e que tenham caráter consultivo e deliberativo.

Na matriz elaborada, há duas opções de resposta para este quesito no município: alto grau de envolvimento e participação social (condição favorável) ou baixo grau de envolvimento e participação social (condição desfavorável).

- *Existência de catadores de materiais recicláveis organizados (cooperativas/associações)*

Esta característica social tem por objetivo indicar se já existem ações de triagem e reciclagem de resíduos, por parte de cooperativas e associações, que estejam em funcionamento no município, ainda que de forma pontual. Todos os modelos de disposição final de pequeno porte têm maior efetividade na operação (e, em alguns, é um pré-requisito), caso existam em paralelo atividades de destinação final, para garantir maior vida útil da célula.

Serão consideradas neste quesito as Cooperativas/Associações que estejam ativas, mesmo que não funcionem como prestadoras de serviço ao poder público municipal. Esta informação pode ser obtida diretamente com os operadores municipais dos serviços de limpeza urbana da prefeitura ou empresa terceirizada contratada pelo Município.

Na matriz elaborada, há duas opções de resposta para este quesito no município: existência de catadores de materiais recicláveis (condição favorável) ou inexistência de catadores de materiais recicláveis (condição desfavorável).

- *Existência de capacitação continuada de agentes da limpeza pública e coleta de lixo*

O objetivo desta característica social é indicar se já existe uma rotina de capacitação da equipe responsável pela coleta, destinação e disposição final dos RSU sobre o correto manejo dos resíduos sólidos. Quanto mais treinada for a equipe, mais fácil será implantar e operar modelos mais robustos de ASPP.

Esta informação pode ser obtida diretamente com os operadores municipais dos serviços de limpeza urbana da prefeitura ou empresa terceirizada contratada pelo Município.

Na matriz elaborada, há duas opções de resposta para este quesito no município: existência de capacitação continuada (condição favorável) ou inexistência de capacitação continuada (condição desfavorável).

A existência de capacitação continuada é compreendida como a oferta periódica de cursos de aperfeiçoamento, programadas dentro do planejamento de ações contínuas da gestão e manejo de resíduos nos Planos de Saneamento e/ou de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

- *Ações de educação ambiental implantadas no município (Escolas, prestadores de serviço, poder público municipal) na temática Resíduos Sólidos*

Esta característica social tem por objetivo indicar se já existem ações de educação ambiental institucionalizadas, com projetos político-pedagógicos, sendo executados na temática dos resíduos sólidos e/ou saneamento no município. Esta característica influencia diretamente na forma da geração de resíduos, na aceitação da técnica de ASPP e suas extensões (triagem, PEV's, compostagem, por exemplo).

A informação pode ser obtida nas Secretarias Municipais de Meio Ambiente ou de Educação, operadores municipais dos serviços de limpeza urbana da prefeitura ou empresa terceirizada contratada pelo Município.

Seguindo o princípio de validação das ações de educação ambiental propostas por Santiago & Dias (2012), serão consideradas como efetivas apenas as ações de EA que estejam em consonância com a Política Nacional de Educação Ambiental e Programa Nacional de Educação Ambiental. O projeto político-pedagógico deve priorizar a promoção da autonomia da população na condução das ações de educação ambiental.

Na matriz elaborada, há duas opções de resposta para este quesito no município: existência de ações de educação ambiental na temática de RS (condição favorável) ou inexistência de ações de educação ambiental na temática de RS (condição desfavorável).

O Quadro 10 apresenta a síntese do conjunto de características de interesse, utilizadas na elaboração da matriz.

Quadro 10 - Características a serem observadas na escolha do método de ASPP

Categoria do meio físico e fatores ambientais
Tipo de solo predominante
Parâmetro físico-químico do solo (Capacidade de troca catiônica), baseado na classe dos solos
Balanco hídrico do Município
Profundidade do lençol freático
Classificação climática
Ocorrência de solos cársticos
Categoria sanitária/operacional
Quantidade média de resíduos produzidos diariamente
Fração orgânica dos resíduos/Percentual de matéria orgânica
Existência de coleta seletiva implantada no município
Disponibilidade de trator esteira (equipamento próprio da Prefeitura)
Nível de licenciamento ambiental do Município
Categoria social
Participação da sociedade civil em conselhos e/ou outras instâncias de controle social
Existência de catadores de materiais recicláveis organizados (Cooperativas/Associações)
Existência de capacitação continuada de agentes da limpeza pública e coleta de resíduos
Ações de educação ambiental implementadas no município (Escolas, prestadores de serviço, poder público municipal) na temática Resíduos Sólidos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

3.2 SISTEMATIZAÇÃO DE PONTOS E PESOS DAS CARACTERÍSTICAS DE CADA CATEGORIA

Neste tópico, são abordadas as metodologias utilizadas para definição das notas atribuídas a cada característica, bem como o peso de cada uma delas. A média ponderada entre a nota e seu respectivo peso compõe a nota final de cada categoria.

3.2.1 Definição das notas

May (2008) propõe um método de Análise e Avaliação da Tendência à Sustentabilidade de Aterros Simplificados (AASAS). O método AASAS foi escolhido por ser bastante similar ao método do IQR Valas, adotado e referenciado pela CETESB desde 1997.

Nele, cada resposta dada às características (conforme explicado no item 3.1), é classificada por sua condição em Desfavorável (D), Neutra (N) ou Favorável (F), em relação à instalação e operação do ASPP. Nas componentes em que existem apenas duas opções de avaliação, a classificação varia apenas em condições D ou F.

Após classificação, a condição desfavorável, neutra e favorável recebe as notas 1, 5 e 10, respectivamente, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 – Definição de Notas pelo método de AASAS

Classificação da condição	Nota
Favorável (F)	10
Neutra (N)	5
Desfavorável (D)	1

Fonte: May (2008)

O Quadro 11 apresenta o conjunto de características de cada categoria e suas opções de respostas, a classificação para cada resposta e suas respectivas notas.

Quadro 11 – Classificação e composição das notas para as opções de resposta de cada característica: elaboração da matriz (continua)

CATEGORIA DO MEIO FÍSICO E FATORES AMBIENTAIS			
Características	Opções de resposta	Classificação	Nota Atribuída
Tipo de Solo Predominante	Argiloso	F	10
	Siltoso	N	5
	Arenoso	D	1
Parâmetro físico-químico do solo (Capacidade de troca catiônica), baseado na classificação dos solos segundo Embrapa	Chernosolo, Luvisolo ou Planossolo	F	10
	Vertissolo, Neossolo, Cambissolo, Argissolo, Nitossolo, Latossolo, Espodossolo, Plintossolo, Gleissolo ou Organossolo	D	1
Balanço Hídrico do Município	Negativo	F	10
	Positivo	D	1
Profundidade do lençol freático (P) - (NBR 15.849, ABNT/ 2010)	P > 9,0m	F	10
	6 m < P < 9 m	N	5
	P < 6m	D	1
Classificação Climática	Árido ou semi-árido	F	10
	Sub-úmido ou sub-úmido seco	N	5
	Super-úmido ou úmido	D	1
Ocorrência de solos cársticos	Inexistente	F	10
	Existente	D	1
CATEGORIA SANITÁRIA/OPERACIONAL			
Características	Opções de resposta	Classificação	Nota Atribuída
Quantidade média de resíduos produzidos diariamente	Até 5 t/dia	F	10
	De 06 a 15 t/dia	N	5
	16 a 20 t/dia	D	1
Fração orgânica dos municípios/Percentual de matéria orgânica (MO)	MO < 30%	F	10
	MO ≥ 30%	D	1
Existência de coleta seletiva implantada no município	Existente	F	10
	Inexistente	D	1
Disponibilidade de trator esteira (equipamento próprio da Prefeitura)	Possui trator esteira	F	10
	Não possui	D	1
Nível de Licenciamento Ambiental do Município	Apto a licenciar	F	10
	Inapto ao licenciamento	D	1

Quadro 11 - Classificação e composição das notas para as opções de resposta de cada característica: elaboração da matriz (conclusão)

CATEGORIA SOCIAL			
Características	Opções de resposta	Classificação	Nota Atribuída
Participação da sociedade civil em conselhos e/ou outras instâncias de participação social	Alto grau de participação social	F	10
	Baixo grau de participação social	D	1
Existência de Catadores de materiais recicláveis organizados (Cooperativas/Associações)	Existência de cooperativas/associações	F	10
	Inexistência de cooperativas/associações	D	1
Existência de capacitação continuada de agentes da limpeza pública e coleta de RSU	Existência de capacitação	F	10
	Inexistência ou baixa frequência de capacitação	D	1
Ações de educação ambiental implantadas no município na temática Resíduos Sólidos	Existente	F	10
	Inexistente	D	1

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

3.2.2 Abordagem metodológica para definição dos pesos de cada característica

A ponderação dos critérios em termos de importância e peso, através de uma matriz, é de fundamental importância em processos decisórios que envolvem diferentes variáveis. De acordo com Fiúza (1997), o emprego deste tipo de ferramenta é interessante, visto que normalmente os técnicos envolvidos nestes processos decisórios possuem uma formação essencialmente matemática, necessitando, portanto, de algum mecanismo cartesiano para auxiliá-los nas suas tomadas de decisões, uma vez que o julgamento das variáveis está bastante relacionado a uma percepção abstrata. Nascimento (2017) reforça esta ideia ao dizer que estas ferramentas de apoio a processos decisórios conseguem, por sua abordagem cartesiana e quantitativa, mensurar as variáveis e vencer a “complexidade de parametrizar a importância e impacto das variáveis qualitativas.”

Assim, as características estudadas devem ser avaliadas quanto a sua importância, definindo, para isso, a prioridade e o peso que cada uma representa na escolha do método de ASPP.

Para definir o peso de cada característica, foi utilizada a metodologia proposta por Monteiro e Zveibil (2001), que está no Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, publicado pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal –

IBAM. Por ser desenvolvida por instituição de reconhecimento nacional, a metodologia é referendada por instituições federais de fomento à gestão de resíduos sólidos, justificando assim sua escolha. Os autores propõem que cada característica seja classificada em critérios e que cada critério, seja hierarquizado de acordo com a prioridade, pela importância que possui. Por sua vez, cada prioridade recebe um peso, que mensura esse grau de importância de cada critério avaliado (Tabela 10).

Tabela 10 - Hierarquização dos critérios e respectivos pesos

Crítérios	Descrição	Prioridade	Peso
Atendimento ao SLAP ¹ e à legislação ambiental em vigor	Relaciona-se às exigências impostas pelas normas e pela legislação pertinente (distância de cursos d'água, permeabilidade, etc.)	1	10
Atendimento aos condicionantes político-sociais	Condicionantes que visam reduzir eventuais conflitos sociais, desvalorização imobiliária e existência de catadores clandestinos	2	6
Atendimento aos principais condicionantes econômicos	Refere-se a todas as características que implicam em custos, para a implantação e/ou operação do aterro	3	4
Atendimento aos principais condicionantes técnicos	Incluem características técnicas, que interferem na operacionalização do aterro, porém não estão contempladas nas exigências da legislação ambiental	4	3

Fonte: Adaptado de Monteiro e Zveibil (2001)

¹ Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras

Os autores também definiram um peso percentual pelo tipo de atendimento do critério avaliado, que representa o grau de conformidade do terreno em relação aos critérios avaliados (Tabela 11). Assim, uma área poderá ser avaliada a partir da valoração, se atende aos critérios de forma integral, parcial ou se não cumpre os requisitos estabelecidos.

Tabela 11 - Peso percentual por tipo de atendimento

Tipo de Atendimento	Peso
Total	100%
Parcial ou com obras	50%
Não atendido	0%

Fonte: Monteiro e Zveibil (2001)

Como a proposta deste trabalho é criar uma matriz para escolha de um método construtivo e operacional para ASPP, em fase anterior à escolha do terreno para a implantação do aterro, os pesos percentuais apresentados na Tabela 11 não serão considerados. Isso porque os pesos por tipo de atendimento se aplicam aos casos nos quais há necessidade de avaliação de diferentes áreas, para subsidiar a escolha do local de implantação do aterro.

As características de interesse deste trabalho, apresentadas no Quadro 11, foram enquadradas nos critérios da Tabela 10, de acordo com a proposta de Monteiro e Zveibil (2001), definindo assim a prioridade e o respectivo peso de cada uma delas, conforme mostra a Tabela 12.

Tabela 12 - Classificação e Peso das Características de interesse

Categoria do meio físico e fatores ambientais: características	Classificação de acordo com os critérios	Prioridade	Peso
Tipo de Solo Predominante	Atendimento a legislação ambiental em vigor	1	10
Parâmetro físico-químico do solo (Capacidade de troca catiônica), baseado na Embrapa	Atendimento a legislação ambiental em vigor	1	10
Balço Hídrico do Município	Atendimento a legislação ambiental em vigor	1	10
Profundidade do lençol freático	Atendimento a legislação ambiental em vigor	1	10
Classificação Climática	Atendimento a legislação ambiental em vigor	1	10
Ocorrência de solos cársticos	Atendimento a legislação ambiental em vigor	1	10
Categoria sanitária/operacional: características	Classificação f (critérios)	Prioridade	Peso
Quantidade média de resíduos produzidos diariamente	Atendimento a condicionantes técnicos	4	3
Fração orgânica dos municípios/Percentual de matéria orgânica	Atendimento a condicionantes técnicos	4	3
Existência de coleta seletiva implantada no município	Atendimento a condicionantes econômicos	3	4
Disponibilidade de trator esteira (equipamento próprio da Prefeitura)	Atendimento a condicionantes econômicos	3	4
Nível de Licenciamento Ambiental do Município	Atendimento a condicionantes econômicos	3	4
Categoria social: características	Classificação f (critérios)	Prioridade	Peso
Participação da sociedade civil em conselhos e/ou outras instâncias de controle social	Atendimento a condicionantes político-sociais	2	6
Existência de Catadores de materiais recicláveis organizados (Cooperativas/Associações)	Atendimento a condicionantes político-sociais	2	6
Existência de capacitação continuada de agentes da limpeza pública e coleta de lixo	Atendimento a condicionantes político-sociais	2	6
Ações de educação ambiental implementadas no município na temática Resíduos Sólidos	Atendimento a condicionantes político-sociais	2	6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A matriz foi então montada, adotando as notas definidas na Tabela 9 e usando os pesos de cada característica conforme apresentado na Tabela 12. A Equação (2) foi utilizada no cálculo da nota parcial das 03 categorias de características:

$$NC = \frac{N_1 \cdot P_1 + N_2 \cdot P_2 + \dots + N_n \cdot P_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde,

NC: Nota da Categoria

N_1, N_2, \dots, N_n : Nota atribuída pelo método de May (2008) a cada característica Quadro 11.

P_1, P_2, \dots, P_n : Peso Atribuído pelo método de Monteiro e Zveibil (2001) a cada característica (Tabela 12).

Por fim, utilizando a média aritmética entre as notas (NC) obtidas por cada uma das 03 categorias de características estudadas, a Nota Final do Município (NFM) é calculada e, então, comparada com a escala de hierarquização dos modelos de ASPP, definidos na primeira etapa metodológica deste trabalho.

Essa nota, confrontada com a faixa de valores de cada método, indicará a melhor técnica de ASPP que atenda minimamente às especificidades e fragilidades locais, sem prejuízo das boas práticas sanitárias e de proteção ao meio ambiente.

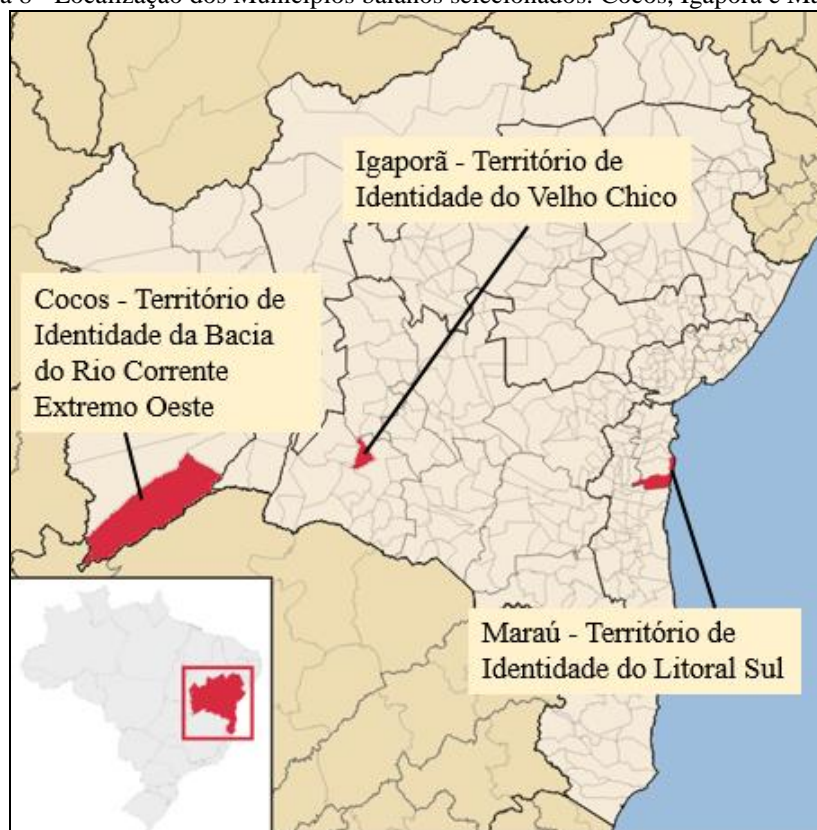
A matriz foi adaptada ao Microsoft Excel com caixas de listagem, conhecidas também como caixas de combinação, para torná-la acessível e interativa. Apenas as células de inserção de dados relativos ao município ficam destravadas, para realização de modificações, por parte do usuário, controladas pelas opções da listagem, não sendo possível alterar fórmulas, notas e pesos.

Para validação, a matriz foi aplicada em três municípios de pequeno porte de diferentes regiões do Estado da Bahia, após a realização da caracterização física de cada um deles. Os dados de campo foram utilizados como dados de entrada para alimentar a matriz, de modo a classificar o município com uma nota variando de 0 a 10. Quanto maior for a fragilidade ambiental do município, menor será a sua pontuação. A pontuação do município indicará, dentre as técnicas de ASPP propostas pela CETESB, CONDER, CEPIS/OPS e PROSAB, o modelo que garanta maior salubridade ambiental e que cumpra minimamente os requisitos técnicos.

Para a escolha dos municípios, foi utilizado o PISA, que é um programa que tem como objetivo o desenvolvimento de módulos para capacitação e apoio técnico à elaboração de minuta de Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) em 50 municípios do Estado da Bahia. O programa é uma parceria firmada entre a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, conforme Termo de Execução Descentralizada nº 4/2017.

Assim, foram analisados os seguintes critérios: municípios atendidos pelo PISA para elaboração do PMSB com população total (urbana e rural) inferior a 20.000 habitantes; IDH-M semelhantes e disposição final de resíduos consideradas inadequadas pela PNRS. Além desses critérios, foram escolhidos municípios que cumulativamente possuíssem fitofisionomia, condições climatológicas e territórios de identidade diferentes, buscando abranger os extremos (litoral e limítrofes com outros Estados) e interior da Bahia. A Figura 8 apresenta a localização dos municípios selecionados e seus respectivos territórios de identidade.

Figura 8 - Localização dos Municípios baianos selecionados: Cocos, Igaporã e Maraú



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A Tabela 13 apresenta as características consideradas e que subsidiaram a escolha dos municípios selecionados, conforme critérios supracitados.

Tabela 13 - Características dos municípios selecionados no estado da Bahia

Município	População	IDH-M	Território de Identidade	Vegetação predominante	Disposição final de RSU
Igaporã	15.205	0,614	Velho Chico	Caatinga	Aterro controlado
Maraú	19.101	0,593	Litoral Sul	Mata Atlântica/Manguezal	Lixão
Cocos	18.777	0,596	Bacia do Rio Corrente	Cerrado	Lixão

Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados do IBGE (2010); PNUD (2010); SNIS (2019); EMBRAPA (2001).

Salienta-se que a matriz é uma ferramenta de avaliação para decisão, com fundamento técnico, quanto ao modelo do aterro, sendo uma etapa preliminar à escolha das áreas disponíveis para implantação do ASPP. Ficará a cargo das secretarias municipais de meio ambiente e de infraestrutura, ou ainda qualquer secretaria municipal responsável pela fiscalização, execução e gestão dos serviços de resíduos sólidos no município, aplicar a matriz para subsidiar o planejamento do adequado manejo dos RSU's. A matriz poderá ser usada também como cumprimento de metas dos Termos de Ajuste de Conduta (TAC), estabelecidos entre municípios e Ministério Público para a área de resíduos sólidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

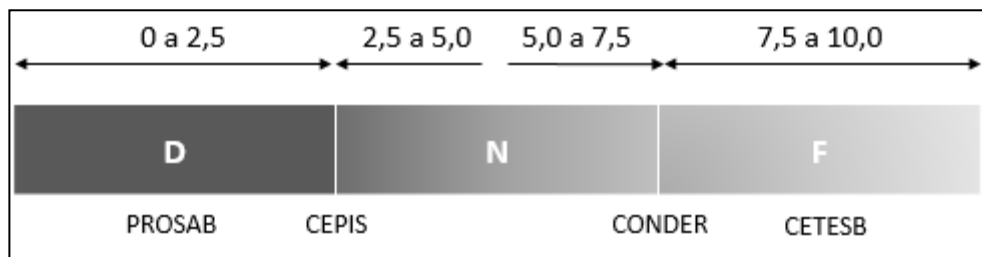
Neste capítulo, são apresentados os resultados deste trabalho, estruturados de acordo com a ordem das etapas definidas na metodologia.

4.1 HIERARQUIZAÇÃO DOS MODELOS DE ASPP

Com base na rotina operacional de cada método, nas ações complementares visando o aumento de vida útil e com os dados apresentados no Quadro 8 e Quadro 9, ficou evidenciado que o aterro manual proposto pelo PROSAB é o que apresenta maior grau de exigência, quando comparado com os métodos do CEPIS/OPS, CETESB e CONDER. Assim sendo, se constitui como o modelo de aterro mais indicado para áreas com maior fragilidade ambiental, cujas condições locais apresentam maior risco de contaminação ao meio ambiente e à saúde da população.

A Figura 9 apresenta o resultado desta análise de hierarquização, com a classificação dos modelos estudados dentro da faixa de pontuação de cada método. Se as características das categorias meio físico e fatores ambientais, sanitários/operacionais e sociais forem desfavoráveis (D), neutras (N) ou favoráveis (F), os modelos de aterros indicados serão aqueles, respectivamente, com maior, médio e menor grau de exigência do modelo, em uma escala do mais rígido para o mais flexível.

Figura 9 - Hierarquização dos modelos de ASPP e respectivas faixas de pontuação



Fonte: Adaptado de May, 2008.

Favorável ou desfavorável é a classificação que cada característica recebe por cumprir ou não, respectivamente, os critérios estabelecidos pela legislação ambiental e rotinas operacionais definidas por cada método de ASPP. A classificação será neutra em casos específicos, quando uma característica local não interferir positivamente ou negativamente na operacionalização do aterro, ou se encontrar em uma situação intermediária entre a classificação D e F.

O valor do intervalo correspondente à pontuação de cada método varia a cada 2,5 pontos. O limite do intervalo foi estabelecido após uma simulação de caso na matriz, com as

notas e pesos definidos para cada característica das categorias selecionadas e utilizando a equação (2). Nesta simulação, foi realizada uma análise paramétrica considerando como sendo desfavoráveis todos os aspectos e fatores ambientais exigidos pelas normas NBR-13.896 (ABNT/1997) e NBR-15.849 (ABNT/2010) e que são pré-requisitos para dispensa de elementos construtivos de um aterro sanitário.

Neste sentido, o tipo de solo, o balanço hídrico, a tipologia climática e a profundidade do lençol freático foram simulados como sendo desfavoráveis, mesmo em condições ótimas para as demais características das categorias sanitárias/operacionais e sociais. A nota obtida nesta simulação embasou o critério de intervalo de pontos, variando a cada 2,5 pontos.

Assim sendo, como margem de segurança, a matriz de avaliação não recomendará um método de ASPP com poucos elementos construtivos a municípios de características ambientais desfavoráveis. Com isso há garantias de cumprimento mínimo da legislação ambiental, sem prejuízos da salubridade sanitária e do meio ambiente.

4.2 MATRIZ DE AVALIAÇÃO DE MODELOS DE ASPP

Na primeira aba da matriz, são inseridos os dados de entrada, por meio das opções disponíveis na caixa de listagem de múltipla escolha, de acordo com a resposta que mais condiz com a realidade do município.

Salienta-se que, quanto maior for a fragilidade ambiental do município, mais restritiva e rígida, com maior grau de exigência e com maior grau de conformidade ambiental e sanitária, será a técnica de ASPP apontada como a possível de ser implantada.

Nas abas seguintes são apresentadas orientações acerca dos modelos de ASPP com indicações das características de cada um deles. Entre as indicações estão: as dimensões das células, a rotina operacional do aterro e ainda orientações técnicas para auxiliar na escolha de áreas, que atendam aos requisitos mínimos do modelo definido na primeira aba.

4.1.2 Versão Inicial da Matriz de Avaliação

A Figura 10 apresenta a versão inicial da matriz utilizando o Microsoft Excel, com as características de interesse, as notas e pesos inseridos nas respectivas células. A Figura 11 apresenta um recorte, para exemplificar como funciona a inserção de dados, a partir da opção de caixa de listagem de múltipla escolha.

Figura 10 - Versão inicial da Matriz elaborada para avaliação de modelos de ASPP

MATRIZ PARA AVALIAÇÃO DE MODELOS SIMPLIFICADOS DE ATERROS SANITÁRIOS APLICAVEL A MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE				
	Preencher dados apenas nas células amarelas			
CATEGORIA AMBIENTAL: CARACTERÍSTICAS	RESPOSTA	NOTA*	PESO**	Nota Final da categoria
Tipo de Solo predominante	Selecione	-	10	-----
Classe dos solos do Municípios, segundo a EMBRAPA	Selecione	-	10	
Balanço hídrico do Município	Selecione	-	10	
Profundidade do lençol freático	Selecione	-	10	
Classificação tipologia Climática	Selecione	-	10	
Existência de solos cársticos no município	Selecione	-	10	
CATEGORIA SANITÁRIA/OPERACIONAL: CARACTERÍSTICAS	RESPOSTA	NOTA	PESO	Nota Final da categoria
Quantidade média de resíduos produzidos por dia	Selecione	-	3	-----
Fração orgânica dos resíduos	Selecione	-	3	
Existe de coleta seletiva implantada	Selecione	-	4	
Disponibilidade de trator-esteira (equipamento próprio da prefeitura)	Selecione	-	4	
Nível de Licenciamento Ambiental do Município	Selecione	-	4	
CATEGORIA SOCIAL: CARACTERÍSTICAS	RESPOSTA	NOTA	PESO	Nota Final da categoria
Grau de envolvimento e participação da sociedade civil em conselhos ou outras instâncias de participação social	Selecione	-	6	-----
Existência de Catadores de materiais recicláveis organizados (Cooperativas/Associações)	Selecione	-	6	
Existência de capacitação continuada de agentes da limpeza pública e coleta de lixo	Selecione	-	6	
Ações de educação ambiental implementadas no município	Selecione	-	6	
		Média Final		-----
O modelo de ASPP mais indicado para o Município é: -----				

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Figura 11 - Detalhe da caixa de listagem de múltipla escolha para a característica profundidade do lençol freático

CATEGORIA AMBIENTAL: CARACTERÍSTICAS	SELECIONE	NOTA*
Tipo de Solo predominante	Arenoso	1
Classe dos solos do Municípios, segundo a EMBRAPA	Vertissolo, Neossolo, Argissolo ou Outros	1
Balanco hídrico do Município	Negativo	10
Profundidade do lençol freático	Profundidade maior ou igual a 9 m	10
Classificação tipologia Climática	Profundidade menor que 6 m	5
Existência de solos cársticos no município	Profundidade entre 6 e 9 metros	1
	Profundidade maior ou igual a 9 m	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

4.3 APLICAÇÃO DA VERSÃO INICIAL DA MATRIZ

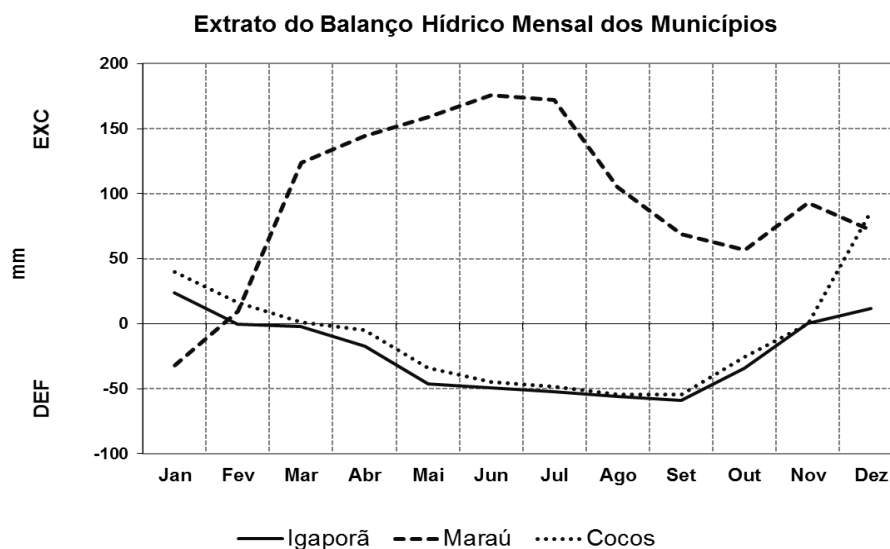
Uma vez finalizada a versão inicial, a matriz foi utilizada para simular a indicação do método de ASPP mais recomendado para os Municípios de Cocos, Igaporã e Maraú, localizados no Estado da Bahia. A maior parte das informações sobre as características do meio físico e fatores ambientais, sanitárias/operacionais e sociais dos Municípios, foi obtida através de um banco de dados e diagnósticos dos serviços de saneamento do Programa IFBA Saneando a Bahia (PISA).

4.3.1 Características dos Municípios selecionados

Para o cálculo do Balanço Hídrico (BH) dos municípios selecionados, foram utilizados dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil – INMET, no período de 1961 a 1990. Optou-se por este intervalo de tempo, pois o mesmo não apresentava lacunas de dados para os três municípios, garantindo assim uma base de dados uniforme. A partir da série histórica de precipitação pluviométrica e de temperatura média do ar, calculou-se o balanço hídrico climático mensal dos três municípios, usando o método proposto por Thornthwaite & Mather (1955), com o auxílio de um programa elaborado por Rolim *et al.* (1998).

A Figura 12 apresenta o resultado obtido para o extrato do balanço hídrico. O município de Maraú apresenta o extrato do BH positivo, ou seja, excedente, enquanto para os demais o BH é negativo (deficiente) na maior parte do tempo.

Figura 12 - Balanço hídrico dos municípios baianos de Igaporã, Maraú e Cocos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

As demais características de interesse desta pesquisa, para os municípios selecionados, foram obtidas em base de dados secundários de diferentes fontes, como mostra o Quadro 12.

No Quadro 12 são apresentadas também, entre parênteses, as respectivas notas atribuídas aos municípios selecionados, de acordo com as opções de resposta apresentadas no Quadro 11. Esta nota, acompanhada do peso da característica apresentado na Tabela 12, será usada para calcular a NFM (Nota Final do Município).

Quadro 12 - Características dos municípios selecionados: simulação na versão inicial da matriz

Categoria do meio físico e fatores ambientais: características	Igaporã	Maraú	Cocos	Fonte dos dados
Tipo de Solo Predominante	Argiloso (10)	Arenoso (1)	Arenoso (1)	CPRM (2008)
Parâmetro físico-químico do solo (CTC), baseado na classificação dos solos da Embrapa	Predomínio de Argissolo (1)	Predomínio de Latossolo (1)	Predomínio de Neossolo (1)	PISA, 2019
Balanco Hídrico do Município	Negativo (10)	Positivo (1)	Negativo (10)	INMET e Rolim <i>et al.</i> (1998)
Profundidade do lençol freático (menor profundidade registrada de poço)	30 m (10)	3,75 m ¹ (1)	20 m (10)	PISA, 2019
Classificação Climática	Semiárido (10)	Úmido (1)	Sub-úmido (5)	SEI (2014)
Ocorrência de solos cársticos	Negativo (10)	Negativo (10)	Positivo (1)	CPRM (2008)
Categoria sanitária/operacional: características	Igaporã	Maraú	Cocos	Fonte dos dados
Quantidade média de resíduos produzidos diariamente	5,0 t/dia (CDSAS, 2015) (10)	11,52 t/dia (CONDER, 2012) (5)	9,23 t/dia (PISA, 2019) (5)	-
Fração orgânica dos municípios/Percentual de matéria orgânica	Maior que 30% (1)	Maior que 30% (1)	Maior que 30% (1)	PISA, 2019
Existência de coleta seletiva implantada no município	Possui (10)	Não Possui (1)	Não Possui (1)	PISA, 2019
Disponibilidade de trator esteira (equipamento próprio da Prefeitura)	Não dispõe (1)	Dispõe (10)	Não dispõe (1)	PISA, 2019
Nível de Licenciamento Ambiental do Município	Apto a licenciar (10)	Não Apto (1)	Apto a licenciar (10)	SEMA, 2019
Categoria social: características	Igaporã	Maraú	Cocos	Fonte dos dados
Grau de envolvimento e participação da sociedade civil	Alto (10)	Alto (10)	Alto (10)	PISA, 2019
Existência de Catadores de materiais recicláveis organizados	Existente (10)	Inexistente (1)	Inexistente (1)	PISA, 2019
Existência de capacitação continuada de agentes da limpeza pública	Inexistência (1)	Inexistência (1)	Inexistência (1)	PISA, 2019
Ações de educação ambiental na temática Resíduos Sólidos	Inexistência (1)	Inexistência (1)	Inexistência (1)	PISA, 2019

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

¹ Poço raso, conhecido também como poço caipira ou amazonas.

4.3.2 Modelos de ASPP indicados aos Municípios Analisados

Após o preenchimento da matriz com os dados do Quadro 12, obtiveram-se as indicações de modelos de ASPP's que mais atendem às especificidades ambientais e sanitárias dos municípios selecionados. A Tabela 14 apresenta estes resultados, baseados na hierarquização dos modelos de aterro de pequeno porte, variando do mais rígido ao mais flexível quanto ao grau de exigência, conforme Figura 9.

Tabela 14 - Resultados da versão inicial da matriz de avaliação: indicação de modelos de ASPP aos municípios selecionados

Município	Nota final obtida	Modelo de ASPP indicado
Igaporã	6,83	Aterro Simplificado (CONDER)
Cocos	4,36	Aterro Manual (CEPIS)
Maraú	3,36	Aterro Manual (CEPIS)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Ao município de Igaporã, a versão inicial da matriz elaborada sugeriu a adoção do modelo proposto pela CONDER que, dentre outras características, dispensa a impermeabilização e os drenos de biogás e lixiviados. Quanto maior a nota, mais simplificada poderá ser a técnica utilizada no aterro sanitário. Neste caso, a recomendação de uma técnica simplificada de ASPP é coerente a realidade do município, tendo em vista que Igaporã possui diversas características sociais, operacionais e ambientais que o favorecem neste sentido. Desde 2019, o município conseguiu implantar um Programa de Coleta Seletiva na sede municipal, através de cooperativa de catadores, e possui baixa produção diária de resíduos. Além disso, possui excelentes condições ambientais, em se tratando de operação de aterros sanitários: se encontra em uma região do semiárido, com balanço hídrico negativo, lençol freático profundo e solos com baixa permeabilidade.

Por haver predominância de solos argilosos, com pouca pluviosidade, há considerável estabilidade de taludes, permitindo escavações de trincheiras com boa profundidade e largura. Com essa vantagem, e pela rotina operacional do método proposto pela CONDER, as células permitem o acesso de veículos para descarga e compactação dos resíduos, facilitando a operação no dia-a-dia.

Para o Município de Cocos, o modelo recomendado foi o Aterro Manual desenvolvido pelo CEPIS, que adota vários elementos construtivos visando contenção dos efluentes gerados

pela massa de resíduos, agregando elementos de proteção ambiental. O município de Cocos, localizado na região Oeste da Bahia, possui diversas fragilidades ambientais que requerem cuidados e planejamento na disposição final dos resíduos sólidos.

Dentre estas fragilidades, podemos destacar a existência de ambientes cársticos, presença de aquífero de alta porosidade e solos com alta permeabilidade, o que pode favorecer a contaminação do lençol freático. O Município possui abundância de recursos hídricos, com afloramento de diversas nascentes e rios que são afluentes do Rio São Francisco. A técnica apontada pela versão inicial da matriz para o Município de Cocos, Aterro Manual (CEPIS), atende bem às particularidades ambientais do município ao agregar elementos de proteção ambiental neste sentido: impermeabilização complementar com geossintéticos e drenagem dos efluentes gerados (biogás e chorume).

No entanto, para o município de Maraú, quanto melhor e mais rígida for a técnica de ASPP, menor será o risco de contaminação ambiental. Maraú se encontra na região litorânea da Bahia, em uma das áreas que possui a maior pluviosidade do Estado e consequente balanço hídrico positivo, ocorrência de grandes faixas de manguezais e ainda lençol freático de pouca profundidade. Por isso, a técnica apontada para o município de Maraú, Aterro Manual (CEPIS), pode não ter sido a mais indicada. Neste contexto, a técnica do PROSAB seria a mais recomendada, porque reduz o risco de aumento de umidade na base e, com dimensões menores para a trincheira, reduz a possibilidade de instabilidade nos taludes do terreno e do RSU. Por possuir telhado fixo, elimina a incidência direta da água da chuva sobre o aterro.

A recomendação do método de ASPP mais flexível a municípios com características ambientais desfavoráveis, inicialmente indica uma fragilidade da matriz mostrando a necessidade de ajustes. A causa dessa fragilidade pode estar relacionada ao peso adotado para as características selecionadas, porque quando as características são enquadradas dentro de um mesmo critério, não existe variação no peso atribuído pela classificação, conforme apresentado na Tabela 12. Por exemplo, a disponibilidade de trator esteira e a existência de coleta seletiva são características que possuem pesos iguais, mas a segunda possui influência direta sobre a possibilidade de contaminação ambiental em detrimento da primeira. Além disso, a disponibilidade ou não de trator esteira é uma característica que pode ser facilmente modificada.

Por isso, o mais adequado seria a adoção de pesos diferentes para as características que compõem uma mesma categoria, aumentando a prioridade e, conseqüentemente, o peso atribuído, das características que mais impactam no desempenho do ASPP. Neste caso, a

característica não receberia um peso genérico de acordo com a classificação dos critérios, mas seria analisada individualmente em função do grau de importância/peso que possui.

Neste sentido, o presente trabalho realizou ajustes na versão inicial da matriz elaborada, introduzindo uma nova proposta metodológica, que prioriza a análise individualizada da importância de cada característica, do meio físico e fatores ambientais, social e sanitária/operacional e que resultou na versão final da matriz.

4.4 VERSÃO FINAL DA MATRIZ: NOVA PROPOSTA METODOLÓGICA

Visando ponderar a importância de cada característica de forma individualizada, priorizando os aspectos que mais interferem na operação do aterro, um novo método foi desenvolvido para definição dos pesos das características analisadas.

Na metodologia proposta por Monteiro e Zveibil (2001), adotada por este trabalho, todas as características com classificações semelhantes receberam o mesmo peso. Assim, todas as características classificadas como de “Atendimento a legislação ambiental em vigor” e “Atendimento a condicionantes político-sociais” receberam peso 10 e 6, respectivamente. No entanto, mesmo possuindo uma mesma classificação, as características nem sempre possuem a mesma importância, nem tampouco interferem na operação do aterro com a mesma intensidade.

Visando contornar esta limitação, a nova metodologia proposta atribui diferentes pesos para as características enquadradas em uma mesma classificação, analisando cada característica de forma individual.

A versão final da matriz resultou, portanto, do ajuste que inclui a redefinição dos pesos de cada característica considerada neste estudo, fazendo uma análise individualizada e priorizando os aspectos que mais interferem na operação do aterro. Para a redefinição dos pesos, realizou-se uma adaptação do método desenvolvido por Buarque (2003), que considera uma análise personalizada em termos de densidade de cada característica. Esta densidade é mensurada pelo peso atribuído ao Impacto (I), Incerteza (I) e Intensidade (I) que cada característica possui individualmente.

Buarque (2003) publicou, por meio do Programa Rede do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), um produto do trabalho de Pesquisa “Cenários para o Planejamento Econômico e Social”. O trabalho não é específico da área de gestão de resíduos sólidos, mas pode ser usado sempre que for necessária a construção de cenários de análise para a tomada de decisões.

Este produto apresenta metodologias e técnicas de construção de cenários globais e regionais, por meio de diferentes modelos. Em um destes modelos, os cenários são definidos pelo produto de diferentes escalas em termos da análise de Impacto, Incerteza e intensidade que cada característica possui, cujos pesos são: 1 para baixo, 3 para médio e 5 para alto. O Quadro 13 apresenta a definição das variáveis de análise, com conceitos já adaptados ao tema desta pesquisa, em cenários classificatórios de alto, médio e baixo.

Quadro 13 – Adaptação da proposta de Buarque (2003) para utilização na versão final da matriz elaborada

Variáveis	Escala Baixa: peso 1	Escala Média: peso 3	Escala Alta: peso 5
Impacto	Baixa relevância/influência da característica analisada no desempenho do ASPP	Média relevância/influência da característica analisada no desempenho do ASPP	Alta relevância/influência da característica analisada no desempenho do ASPP
Incerteza	Baixa indefinição sobre o desempenho futuro da característica analisada	Média indefinição sobre o desempenho futuro da característica analisada	Alta indefinição sobre o desempenho futuro da característica analisada
Intensidade	Baixa evidência e visibilidade da característica analisada	Média evidência e visibilidade da característica analisada	Alta evidência e visibilidade da característica analisada

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado do método de Buarque (2003)

Reforça-se aqui que, uma característica é considerada de maior **Impacto** quanto maior for o seu efeito no desempenho e operação do ASPP. Neste contexto, possuem maior impacto as características que podem representar a fragilidade do município e limitar a adoção de modelos mais flexíveis: existência de manancial subterrâneo próximo da superfície, balanço hídrico positivo, solos com alta permeabilidade, ou seja, características do meio físico sobre as quais não exercemos controle.

Já a **Incerteza**, aspecto relacionado a indefinição sobre desempenho futuro, depende da existência de ações concretas e instrumentos jurídicos implantados no município, acerca da característica analisada. Nesse caso, a existência de leis, projetos, obras, financiamentos e afins, relacionados com cada característica analisada, diminui, gradativamente, a incerteza, sobretudo nos aspectos sanitários/operacionais e sociais.

Quanto à **Intensidade**, relaciona-se com a evidência e a visibilidade do evento, sua capacidade de acelerar o desenrolar dos fatos, e a percepção sobre o problema, na perspectiva dos diferentes atores envolvidos (BUARQUE, 2003). A característica será mais intensa, quando sua influência for contínua em todas as fases do aterro, podendo interferir na operacionalização e vida útil.

O peso final da característica, denominado densidade, é dado pela multiplicação dos pesos atribuídos (1, 3 ou 5), para representar as escalas baixa, média e alta, às variáveis de

Impacto, Incerteza e Intensidade (I x I x I). Em uma matriz, as características de interesse são dispostas em linhas. Em seguida, de forma subsequente, são inseridas 3 colunas referentes aos campos onde serão preenchidos com os pesos atribuídos para o Impacto, Incerteza e Intensidade. Por último, para expressar a densidade e importância de cada atributo, há uma coluna que indica o resultado do produto das três avaliações.

A Tabela 15 mostra o resultado da análise para a categoria do meio físico e fatores ambientais de interesse deste estudo, conforme metodologia proposta por Buarque (2013).

Tabela 15 – Análise das características físicas e ambientais aplicando a proposta de Buarque (2013)

Categoria do meio físico e fatores ambientais: características	Impacto	Incerteza	Intensidade	Densidade
Tipo de solo	5	3	3	45
Classe dos solos (EMBRAPA)	3	3	3	27
Balanco hídrico	5	5	5	125
Profundidade do lençol freático	5	3	5	75
Classificação tipologia climática	5	3	3	45
Ocorrência de solos cársticos	5	1	5	25

Fonte: Adaptado de Buarque, 2003.

Salienta-se que a atribuição do peso 1, 3 ou 5 para cada característica teve como critério a importância de cada uma delas com base em rotinas operacionais de aterro sanitário, requisitos de normas e registros na literatura acerca dos aspectos que mais influenciam, positiva e negativamente, a disposição final dos resíduos sólidos, apresentados por autores como Castilhos Jr. *et al.* (2002); Fiuza (2002); Boscov (2008); Silveira (2008); Lealdini & Zaine (2008); Zanon (2016).

Dando prosseguimento à análise das características e fatores ambientais mostrada na Tabela 15, a Tabela 16 apresenta os pesos em percentual, para representarem a densidade.

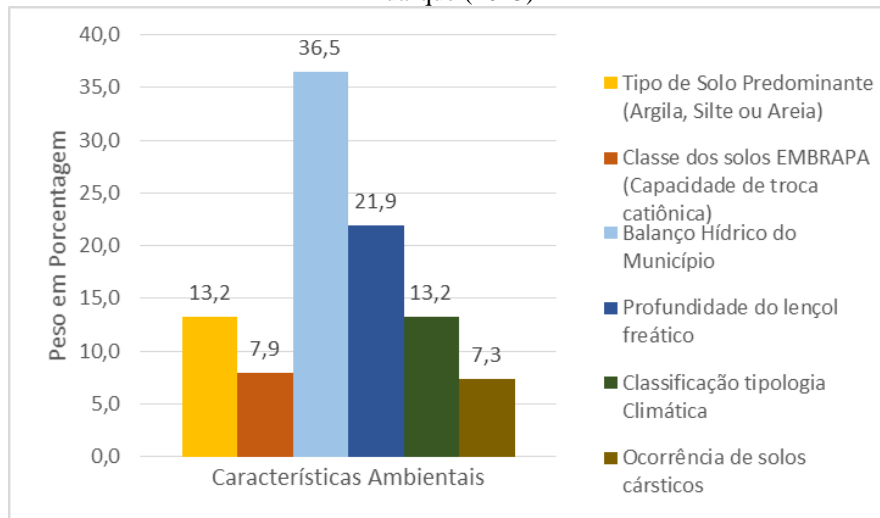
Tabela 16 – Representação percentual das densidades segundo a proposta de Buarque (2013)

Categoria do meio físico e fatores ambientais: características	Densidade	Pesos (%) – PnB
Tipo de solo	45	13
Classe dos solos (EMBRAPA)	27	8
Balanco hídrico	125	37
Profundidade do lençol freático	75	22
Classificação tipologia climática	45	13
Ocorrência de solos cársticos	25	7
TOTAL	342	100 %

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Observa-se na Tabela 16, que no conjunto de características do meio físico e fatores ambientais, o balanço hídrico é a característica que possui o maior peso (37%) na composição da densidade. A Figura 13 mostra, graficamente, os resultados da Tabela 16.

Figura 13 - Pesos calculados para as características da categoria do meio físico e fatores ambientais segundo Buarque (2013)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Na Figura 13 e Tabela 16, ficou evidenciado que a característica ambiental de maior peso é o balanço hídrico, seguido da profundidade do lençol freático. Isso porque em se tratando de ASPP, estas são características importantes na decisão, quanto à dispensa de alguns elementos construtivos do aterro: camada de cobertura, drenagem de lixiviados e impermeabilização com geossintéticos. Em seguida, em escala de importância, estão a permeabilidade do solo, representada pelo tipo de solo predominante, e a classificação climática do município. Estas características são importantes na decisão entre uma técnica de ASPP mais rígida, do ponto de vista ambiental, e uma técnica mais simplificada.

4.4.1 Inserção do método de Buarque (2003) na Matriz de avaliação de modelos de ASPP

Na versão final da matriz, foi mantida a proposta de May (2008) para definição das notas, por meio da análise dos aspectos favoráveis, neutro e desfavoráveis. A alteração em relação à primeira versão está na utilização do método de Buarque (2003), para definição dos pesos. Como na primeira versão, as notas das categorias referentes às características analisadas são obtidas pela média ponderada, conforme a Equação 03:

$$NC = \frac{N_1 \cdot P_1B + N_2 \cdot P_2B \dots N_n \cdot P_nB}{P_1B + P_2B + \dots P_nB} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde,

NC: Nota da Categoria.

N_1, N_2, \dots, N_n : Nota atribuída pelo método de May (2008)

P_1B, P_2B, \dots, P_nB : Peso Atribuído pelo método de Buarque (2003), em percentual, a cada característica

Diferente da versão inicial da matriz, que adotou média aritmética para definição da Nota Final do Município (NFM), na versão final a NFM foi obtida por média ponderada (Equação 04). Essa média considera a importância que cada característica analisada, dentro da respectiva categoria, possui na implantação e operação do ASPP. A Tabela 17 apresenta a densidade total de cada categoria, calculada conforme mostrado na Tabela 15 e, o peso percentual obtido de acordo com a Tabela 16.

Tabela 17 – Densidade e respectivo peso percentual adotados de Buarque (2013) para as categorias

Categorias	Densidade (NC _n)	Pesos (P _n CB)
Meio físico e fatores ambientais	342	54,4 %
Sanitárias/operacionais ¹	165	26,2 %
Sociais ¹	122	19,4 %
TOTAL	629	100 %

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

¹ O valor das densidades destas categorias foi obtido seguindo a análise apresentada nas Tabelas 15 e 16

$$NFM = \frac{NC_1 \cdot P_1CB + NC_2 \cdot P_2CB + NC_3 \cdot P_3CB}{P_1CB + P_2CB + P_3CB} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde,

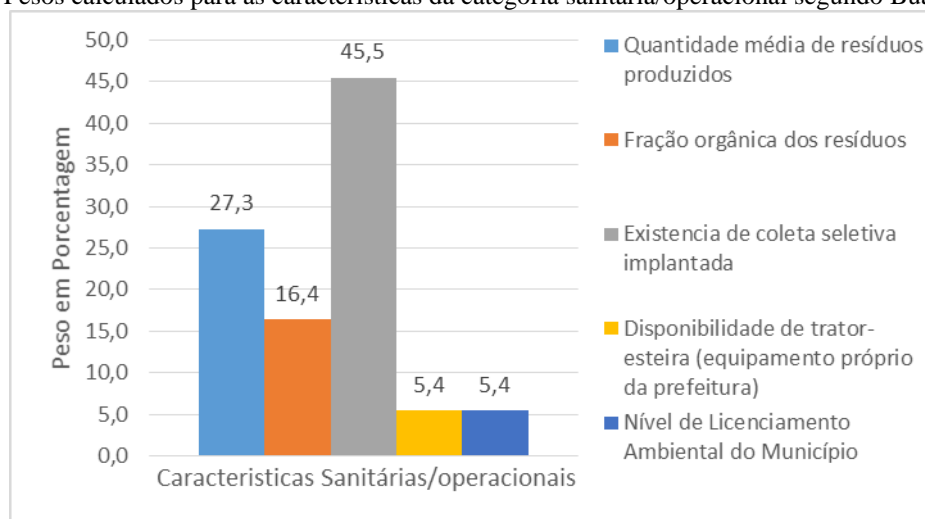
NFM: Nota Final do Município

NC₁, NC₂, NC₃: Nota atribuída a cada categoria analisada

P₁C, P₂C, P₃C: Peso, em percentual, atribuído às densidades de cada categoria, adaptado do método de Buarque (2003), conforme Tabela 17.

Os mesmos procedimentos de análise mostrados na Tabela 15 e na Tabela 16 foram aplicados para as demais categorias (sanitária/operacional e social) e os resultados estão apresentados na Figura 14.

Figura 14 - Pesos calculados para as características da categoria sanitária/operacional segundo Buarque (2013)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

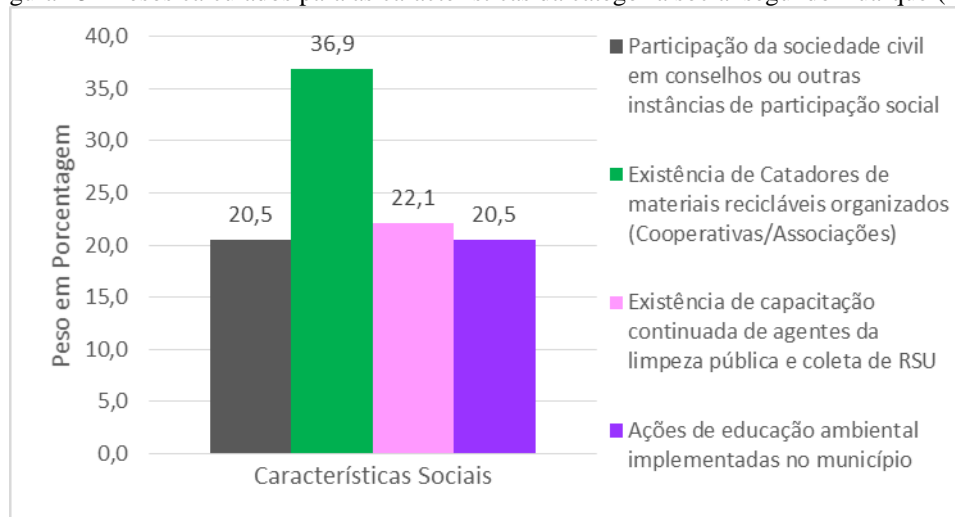
De acordo com a Figura 14, para a categoria sanitária/operacional, a existência de coleta seletiva implantada no município recebeu o maior peso em relação às demais

características. Isto porque esta é uma variável que interfere diretamente na operação do aterro, geração de lixiviados e biogás e, por consequência, no modelo a ser escolhido. Ações de destinação final de resíduos, como a coleta seletiva, reduzem o volume dos resíduos que serão enviados ao aterro, possibilitando aumento da vida útil e tempo de operação de cada célula.

Outras características sanitárias/operacionais que receberam destaque foram: a quantidade média de resíduos produzidos diariamente e a fração orgânica/percentual de matéria orgânica.

O resultado da redefinição dos pesos para as características da categoria social está apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Pesos calculados para as características da categoria social segundo Buarque (2013)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Observa-se na Figura 15, que as características de maiores pesos estão relacionadas à existência de catadores de materiais recicláveis organizados (Cooperativas/Associações) e à capacitação continuada dos agentes de limpeza pública e coleta dos resíduos, consideradas como as que mais interferem na operacionalização de um aterro sanitário de pequeno porte.


Conforme visto na Tabela 17, houve uma hierarquização das categorias de interesse da pesquisa, em função das densidades calculadas de acordo com a proposta de Buarque (2013).

As características da categoria do meio físico e fatores ambientais são as que possuem maior peso e são, também, as características que independem do controle e decisão administrativos, porque estão relacionadas com os aspectos da natureza. A vantagem de atribuir maior peso a esta categoria está no fato de haver garantias de não indicação de uma técnica mais simples, caso um município apresente excelentes características sanitárias/operacionais e sociais, mas possua condições ambientais frágeis e desfavoráveis. Assim, essas características terão maior peso na decisão quanto ao método de ASPP.

A Figura 16 apresenta a versão final da matriz de avaliação em planilha do Microsoft Excel. Nela, as notas são definidas pela metodologia proposta por May (2008), os pesos são resultantes da análise de Impacto, Intensidade e Incerteza proposta por Buarque (2003), com a inserção das Equações 03 e 04 nas respectivas células.

Figura 16 – Versão final da Matriz elaborada para avaliação de modelos de ASPP

MATRIZ PARA AVALIAÇÃO DE MODELOS SIMPLIFICADOS DE ATERROS SANITÁRIOS APLICAVEL A MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE

 Preencher dados apenas nas células amarelas

CATEGORIA AMBIENTAL: CARACTERÍSTICAS	RESPOSTA	NOTA*	PESO**	Nota Final da categoria
Tipo de Solo predominante	Selecione	-	13	-----
Classe dos solos do Municípios, segundo a EMBRAPA	Selecione	-	8	
Balanço hídrico do Município	Selecione	-	37	
Profundidade do lençol freático	Selecione	-	22	
Classificação tipologia Climática	Selecione	-	13	
Existência de solos cársticos no município	Selecione	-	7	

CATEGORIA SANITÁRIA/OPERACIONAL: CARACTERÍSTICAS	RESPOSTA	NOTA*	PESO**	Nota Final da categoria
Quantidade média de resíduos produzidos por dia	Selecione	-	27	-----
Fração orgânica dos resíduos	Selecione	-	16	
Existe de coleta seletiva implantada	Selecione	-	45	
Disponibilidade de trator-esteira (equipamento próprio da prefeitura)	Selecione	-	5	
Nível de Licenciamento Ambiental do Município	Selecione	-	5	

CATEGORIA SOCIAL: CARACTERÍSTICAS	RESPOSTA	NOTA*	PESO**	Nota Final da categoria
Grau de envolvimento e participação da sociedade civil em conselhos ou outras instâncias de participação social	Selecione	-	20	-----
Existência de Catadores de materiais recicláveis organizados (Cooperativas/Associações)	Selecione	-	37	
Existência de capacitação continuada de agentes da limpeza pública e coleta de lixo	Selecione	-	22	
Ações de educação ambiental implementadas no município	Selecione	-	20	

* Fonte: May (2008)

** Fonte: Adaptado de Buarque (2003)

Média Final -----

O modelo de ASPP mais indicado para o Município é:

Peso das Características		
Características	Resultado	Peso
Ambientais	342	54
Sanitárias/Operacionais	165	26
Sociais	122	19
Total:	629	100

4.4.2 Discussão dos resultados obtidos com o método de Buarque (2003) na Matriz de avaliação de modelos de ASPP

Para avaliar o resultado obtido com a versão final da matriz, na qual os pesos foram definidos após adaptação do método de Buarque (2003), repetiu-se a simulação inicialmente feita para os Municípios de Cocos, Maraú e Igaporã, utilizando os mesmos dados e informações do Quadro 12. Para efeito de comparação, a Tabela 18 apresenta os modelos indicados pelas versões inicial e final da matriz elaborada.

Tabela 18 - Indicação de modelos de ASPP aos municípios estudados: resultados da versão inicial e final da matriz de avaliação

Município	Versão inicial da matriz: NFM	Versão inicial da matriz: Modelo de ASPP indicado	Versão final da matriz: NFM	Versão final da matriz: Modelo de ASPP indicado
Igaporã	6,83	Aterro Simplificado (CONDER)	8,35	Aterro em Valas (CETESB)
Cocos	4,36	Aterro Manual (CEPIS)	4,92	Aterro Manual (CEPIS)
Maraú	3,36	Aterro Manual (CEPIS)	2,42	Aterro Sustentável (PROSAB)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Na Tabela 18, observa-se que a ordem das notas finais permaneceu as mesmas para os municípios, sendo a maior nota obtida por Igaporã e a menor, por Maraú. Entretanto, o valor dessas notas se enquadra em intervalos diferentes na hierarquização dos modelos, fazendo com que diferentes modelos tenham sido indicados nas versões inicial e final da matriz, para dois dos três municípios testados.

Os ajustes valorizaram as características que mais interferem na implantação e operacionalização do aterro, implicando em alterações da Nota Final do Município (NFM) e na classificação da faixa de pontuação dos modelos.

Para o Município de Igaporã, a versão final da matriz recomenda a adoção da técnica Aterro em Valas (CETESB). Devido às condições ambientais do Município, com balanço hídrico negativo e lençol freático profundo (maior peso na Figura 13) e, às suas atividades de coleta seletiva (maior peso, na Figura 14), a nova matriz considerou possível um modelo de ASPP ainda mais simples, cuja compactação ocorre apenas com o nivelamento manual da massa de resíduos. Com isso, o custo operacional se torna menor do que para o Aterro Simplificado (CONDER), indicado pela versão inicial da matriz. Observando a Figura 15, a existência de catadores, que possui maior peso entre as características da categoria social, também contribuiu para o aumento da NFM.

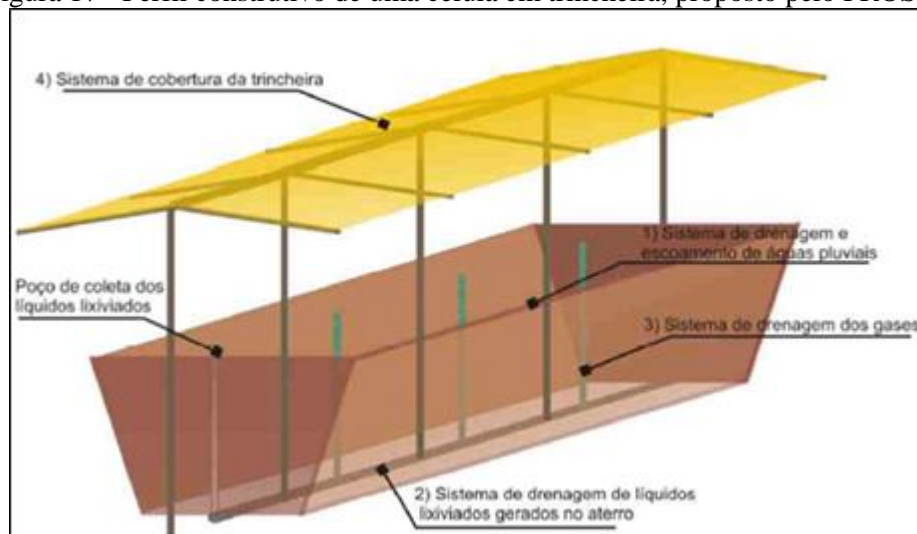
Para o Município de Cocos, ficou mantida a indicação do Aterro Manual proposto pelo CEPIS. Apesar de possuir balanço hídrico negativo, característica com maior peso na versão final da matriz (Figura 13), apresenta, no entanto, diversas características da categoria do meio físico e fatores ambientais (maior peso, segundo a Tabela 17) desfavoráveis, conforme citado anteriormente. Por isso, a manutenção da indicação da técnica permanece coerente.

A análise individual de cada característica, quanto aos aspectos de impacto, intensidade e incertezas, que permitiu graduar melhor os pesos, produziu resultados mais seguros quanto ao cumprimento de normas e requisitos ambientais.

Para Marauá, o resultado apontado pela versão final da matriz, alterou a indicação inicial, exigindo maior rigidez na escolha da técnica de ASPP ao indicar o Aterro Sustentável do PROSAB. Este se mostra mais adequado, porque reduz a interferência do balanço hídrico positivo, que tende a introduzir maior quantidade de água de chuva no aterro, e do lençol freático pouco profundo (3,75 m), confirmando o que mostra a Figura 13.

O modelo do PROSAB é mais rígido, em comparação com a técnica de aterro do CEPIS, pois valoriza as características da categoria sanitária/operacional, como atividades de compostagem e reaproveitamento de material reciclado. As diferenças construtivas mostram que o modelo do PROSAB poderá garantir maior salubridade sanitária e ambiental, pois admite impermeabilização complementar e drenagem de efluentes, utiliza um telhado permanente, que cobre toda a trincheira em operação, protegendo-a da incidência direta da precipitação pluviométrica, como mostra a Figura 17. Este mecanismo contorna a situação do Município de Marauá, que possui balanço hídrico positivo e tendência a elevada infiltração, e reduzirá o volume de líquidos lixiviados (chorume) produzidos.

Figura 17 - Perfil construtivo de uma célula em trincheira, proposto pelo PROSAB



Fonte: PROSAB, 2003.

A técnica de aterro do PROSAB, segundo orientações do manual técnico do modelo, dá, ainda, muita ênfase a ações paralelas à operação do aterro: desenvolvimento de estratégias de educação ambiental para a população atendida, controle e participação social nas fases prévia e pós instalação do aterro, capacitação continuada dos operadores, coleta seletiva e compostagem orgânica. Neste sentido, para o Município de Maraú, a indicação do modelo de ASPP do PROSAB é mais coerente do que o do CEPIS.

A maior e melhor diferença apresentada pela matriz final foi a redução da Nota Final do Município (NFM), quando as características ambientais são desfavoráveis. O peso maior na característica do meio físico e fatores ambientais, em comparação às demais em análise, se constitui em uma segurança de que uma técnica mais simplificada não seja indicada, caso as condições legais e do meio ambiente sejam desfavoráveis. Este aspecto é muito importante, porque as características ambientais não são passíveis de ser controladas, enquanto que as demais poderão ser ajustadas.

Assim sendo, a metodologia de definição de pesos da proposta de Buarque (2003), adaptada à temática de disposição final de resíduos sólidos, para compor a versão final da matriz se mostrou mais apropriada em detrimento da primeira.

Salienta-se, no entanto, que as escalas de baixo (1), médio (3) e alto (5), atribuídas aos aspectos de Impacto, Incerteza e Intensidade, podem se configurar como uma análise subjetiva, mesmo tendo sido embasadas em referencial teórico e normas. Por isso, é recomendada uma validação das escalas atribuídas, para reduzir a eventual subjetividade da versão final da matriz.

Uma forma de validação poderá ser realizada, empregando métodos e técnicas de avaliação qualitativa de dados, por meio da pesquisa de opinião de especialistas da área da engenharia, gestão e manejo de RSU.

O presente trabalho se diferencia dos demais, por apresentar um instrumento de decisão para a escolha do modelo de ASPP que seja o mais indicado ao município, considerando as características e limitações locais e sem restrição de aplicação quanto à região geográfica. Aplicada em etapa prévia à escolha de áreas para implantação do aterro, a matriz elaborada resulta na indicação da técnica de ASPP que garanta simplicidade operacional, sem abrir mão do atendimento mínimo das exigências sanitárias e da legislação ambiental brasileira.

Ressalta-se, entretanto, que é preciso ponderar e realizar uma análise crítica sobre as informações secundárias disponíveis nos órgãos e nos planos como PMGIRS, PMSB, para que se possa garantir o resultado adequado com a aplicação da matriz elaborada.

É necessário também, que a matriz seja implementada, no sentido de qualificar melhor as respostas quanto ao tempo de existência de coleta seletiva no município, por exemplo, bem como sobre o tipo de educação continuada praticada, o compromisso da prefeitura com a gestão do RSU. Os municípios que possuem apelo turístico, certamente estarão mais empenhados com ações voltadas ao tema.

5 CONCLUSÕES

Os desafios inerentes à gestão de resíduos sólidos em municípios de pequeno porte, constituíram o ponto de partida para a elaboração de uma matriz capaz de recomendar modelos de ASPP, considerando as especificidades locais.

Salienta-se que nem todos os modelos de aterros de pequeno porte atendem as especificidades ambientais da área onde se pretende instalá-los, sobretudo aqueles que dispensam alguns dos elementos construtivos (drenagem de percolado, impermeabilização, etc). Uma vez que, para implantação destes modelos mais flexíveis, o volume produzido de chorume precisa estar dentro da capacidade de suporte e autodepuração do solo, para que não haja prejuízos ambientais significativos.

Pela análise dos modelos apresentados neste estudo, o Aterro Sustentável proposto pela PROSAB é o que possui a melhor simplificação sem abrir mão dos mecanismos de minimização dos impactos ao meio ambiente e à saúde pública. No entanto, os demais modelos estudados, que optaram por condicionantes menos rígidos e com menor custo operacional, também podem ser aplicados, desde que haja condições favoráveis e que não implique em riscos de contaminação ambiental.

A matriz proposta neste trabalho poderá auxiliar na avaliação das condições do meio ambiente, dos fatores que interferem na operacionalização e nos pré-requisitos legais para implantação do aterro. Possuindo uma abordagem que permite mensurar as condições favoráveis e desfavoráveis do município, a matriz atende ao objetivo proposto ao recomendar o modelo que melhor atende às particularidades e fragilidades do ambiente.

Destaca-se que a aplicação da matriz é uma etapa anterior à escolha da área para implantação do ASPP, por isso, foram excluídas as características que são específicas do terreno a ser implantado o aterro, uma vez que apenas após os estudos geotécnicos da área escolhida será possível obter estes dados. Neste sentido, para conduzir à indicação do método que melhor se adapta a realidade local, foram consideradas apenas as características genéricas comuns a todo território municipal.

Na versão inicial da matriz, cujos pesos atribuídos eram estáticos dentro de uma mesma categoria, os resultados mostraram pouca diferença entre as notas dos três municípios analisados, mantendo um equilíbrio na avaliação. Em contrapartida, na versão final da matriz, que apresenta a estimativa do peso de cada característica de acordo com o grau de importância que possui, percebe-se que há uma valorização tanto das características favoráveis quanto desfavoráveis, na composição da Nota Final do Município (NFM), aspecto esse positivo pois

promove uma avaliação individualizada e compatível com a importância das características estudadas.

Desta forma, a versão final da matriz sempre apresentará valores diferentes em comparação com a versão inicial, ora resultando em uma NFM maior, se as condições forem favoráveis, ora apresentando uma NFM menor em situações desfavoráveis. Isso porque a versão final da matriz elaborada apresenta como diferencial o reconhecimento das características, que mais impactam a operacionalização do aterro. O peso maior atribuído às características mais importantes acentua a escolha do aterro em maior ou menor grau de exigência do modelo.

As versões inicial e final da matriz produzida mostraram resultados coerentes quanto à indicação dos modelos de ASPP. No entanto, a versão final, que considerou o método proposto por Buarque (2003) na definição do peso de cada característica, se mostrou mais apropriada. A fragilidade da versão inicial da matriz está relacionada ao peso adotado a partir de uma classificação genérica, conforme Tabela 12, onde características com diferentes impactos e graus de importância receberam igual peso.

Na matriz final, a análise individual e mais detalhada de cada característica, considerando Impacto, Intensidade e Incerteza, produziu maior segurança quanto ao cumprimento de normas e requisitos ambientais e proporcionou uma avaliação justa quanto à importância de cada uma. Os resultados da aplicação da matriz final mostraram que a atribuição de maior peso para as características da categoria do meio físico e fatores ambientais, assegura a não indicação de uma técnica mais simplificada, quando as condições legais e do meio ambiente são desfavoráveis.

A versão final pode ser replicada nos municípios, desde que haja validação dos pesos atribuídos. Salienta-se que as escalas consideradas para a Intensidade, Incerteza e Impacto (1, 3 ou 5) podem se configurar em subjetividade na determinação dos pesos. Portanto, é necessário submetê-las a um processo de avaliação qualitativa de dados, para reduzir a subjetividade do método.

É necessário maior detalhamento e ensaio de sensibilidade da matriz, a partir da variação da graduação das notas, tal qual foi executado por este trabalho em relação aos pesos.

Reforça-se que as experiências pessoais de trabalho de campo na área de saneamento e manejo de RSU, em vários municípios de diferentes portes e regiões do Estado da Bahia, evidenciam a coerência dos pesos adotados neste trabalho, resultantes das densidades das características que mais interferem na escolha do modelo de ASPP.

Considerando as limitações dos municípios selecionados neste trabalho, evidenciadas por suas condições do meio físico e fatores ambientais, sanitárias/operacionais e sociais, a técnica de ASPP recomendada ao Município de Igarorã é o Aterro em Valas proposto pela CETESB. Para o Município de Cocos, o modelo proposto pelo CEPIS, denominado de Aterro Manual, é o que mais atende as particularidades do município. E por fim, para o Município de Maraú, sendo viável a implantação de um ASPP em seu território, a recomendação é que se adote um modelo de aterro nos moldes da proposta do Aterro Sustentável (PROSAB). Estas foram as recomendações propostas pela versão final da matriz.

Recomenda-se que as indicações de ASPP dadas a estes municípios pela matriz elaborada não sejam generalizadas, como referência a outros municípios de portes semelhantes. Isso porque as recomendações são o resultado de uma combinação de características, cuja alteração em qualquer uma delas poderá implicar em mudanças na NFM e, conseqüentemente, no modelo indicado.

Por ser de fácil operação, a matriz elaborada poderá ser adotada pelos órgãos públicos municipais como instrumento de planejamento de manejo de resíduos sólidos. A aplicação é ainda recomendada para uso, pelos Ministérios Públicos Ambientais dos Estados, como meta dos Termos de Ajuste de Conduta – TAC, acordados com os municípios para a erradicação dos vazadouros a céu aberto (lixões).

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As recomendações para trabalhos futuros são:

- Incrementar, na matriz elaborada, a análise da dimensão econômica, permitindo avaliar os custos de implantação e operação de cada modelo.
- Submeter os pesos, definidos pelo método de Buarque (2003) na versão final da matriz, a uma validação por meio da avaliação qualitativa de dados, assegurando a participação de especialistas da área da engenharia, gestão e manejo de RSU.
- Aplicar a matriz em outros municípios de diferentes regiões do país, replicando o instrumento de análise desenvolvido por esta pesquisa, de modo a avaliar a coerência dos resultados e a pertinência das notas e pesos definidos em cada característica.
- Realizar análise de sensibilidade da matriz, buscando graduar melhor as notas, principalmente para as características que podem ser controladas.
- Incrementar, na matriz elaborada, o detalhamento e qualificação das respostas para as características referentes às categorias sanitárias/operacionais e sociais.

REFERÊNCIAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo, novembro de 2019.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Recomendações para a gestão de resíduos sólidos durante a Pandemia de coronavírus (covid-19)**. São Paulo, 2020.

ALZAMORA, B. R. **Análise da cobrança por serviços de limpeza pública: exemplos internacionais e o caso de Belo Horizonte**. 2019. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13896. **Aterros de resíduos não perigosos** – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro. 1997. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15849: **Resíduos sólidos urbanos – Aterros Sanitários de pequeno porte**. Rio de Janeiro, 2010.

BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. (1999). **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC; USP

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 248p

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico...e dá outras providências**. Publicado no *Diário Oficial da União - DOU* de 16/07/2007.

BRASIL. Lei Federal nº 14.026, DE 15 DE JULHO DE 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico... a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos...e dá outras providências**. Publicado no *Diário Oficial da União - DOU* de 8.1.2007 e retificado em 11.1.2007.

BRASIL. Mensagem nº 497, de 19 de novembro de 2015. **Veta, por inconstitucionalidade, o Projeto de Lei de Conversão nº 17, de 2015 que altera as Leis... e 12.305, de 2 de agosto de 2010; e dá outras providências**. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação**. Brasília, 2012.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. Resolução CONAMA 404/2008. **Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 de novembro de 2008.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010.

BRASIL. **Regulamenta a Lei nº 13.979, de 6 de fevereiro de 2020, para definir os serviços públicos e as atividades essenciais decorrente do coronavírus**. Decreto nº 10.282, de 20 de março de 2020. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010.

BUARQUE, S. C. **Metodologia e Técnicas de Construção de Cenários Globais e Regionais**. Texto para discussão Nº 939, IPEA – Brasília, fevereiro de 2003.

CAMPOS, H. K. T. **Renda e evolução da geração *per capita* de resíduos sólidos no Brasil**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 171-180, jun. 2012. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522012000200006&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 23 jul. 2020.

CAMPOS, L.R. **Aterro sanitário simplificado: Instrumento de análise de viabilidade Econômico-financeira, considerando Aspectos ambientais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) -Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

CASTILHOS JÚNIOR, A. B. *et al.* (Org.) **Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades**. Rio Janeiro: RiMa: ABES, 2002.

CEPIS/OPS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente/ Organización Panamericana de la Salud. **Resíduos sólidos municipales. Guia para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Programa de Salud Ambiental**. Serie Técnica nº 28. Washington D. C., 2002.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Aterros sanitários em valas, apostilas ambientais**, São Paulo, 1997.

CONDER. Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia. **Projeto, concepção e manual de operação de aterros sanitários manuais** - modelo CONDER, Salvador, 2002.

CONDER. Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PGIRS do Município de Maraú**. Tomo I, Volume I. Maraú, 2012.

CORREA, J.; LANÇA, S. S. B. **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários**. Guia do profissional em treinamento. Cátedra da Unesco de educação à distância. Minas Gerais: Sigma, 2008.

COSTA, S. A. B; CÔRTEZ, L. S; NETTO, T. C; FREITAS JUNIOR, M. M. **Indicadores em saneamento: avaliação da prestação dos serviços de água e de esgoto em Minas Gerais**. Revista da Universidade Federal de Minas Gerais, v. 20, p. 334, 2014.

CDSAS. Consorcio de Desenvolvimento Sustentável do Alto Sertão. **Diagnóstico dos resíduos sólidos: Projeto sertão sustentável: priorizando a vida**. CDSA. Caetité, 2015.

CPRM. Serviços Geológico do Brasil. CARVALHO, Luiz Moacyr de; RAMOS, Maria Angélica Barreto (Org.). **Geodiversidade do estado da Bahia: levantamento da**

Geodiversidade. Salvador: CPRM, 2008. 172 p. il. color. Acompanha 1 DVD. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.

CREA-PR – Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura do Paraná. **Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos.** Serie de Publicações Temáticas. Curitiba, 2009.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Serviço de Produção de Informação – SPI, Brasília, DF, 1999.

FARIAS, R. S. S. **Perspectivas e limites da Lei de Diretrizes Nacionais de Saneamento Básico: um estudo sobre a aplicação dos principais instrumentos e determinações da lei nº 11.445/07, nos municípios da região metropolitana de Belém-Pará.** 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FIUZA, J. M. de S., J. M. Santos, D. M. L. **Aterro sanitário é opção para pequenos municípios.** Saneamento Ambiental. São Paulo. Ano XIV, n.109.Set/Out 2004.

FIUZA, J. M. de S; FONTES, M. T.; CRUZ, C. S. **Nova Tendência de Disposição Final de Resíduos Sólidos no Estado da Bahia: Aterro Sanitário Simplificado.** In: Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, VI, 2002, VITÓRIA, *Anais...* Rio de Janeiro: ABES: ANDIS, 2002.

FIÚZA, J. M. S.; OLIVERIA, L. T. **Matriz Interativa para escolha locacional de aterro sanitário.** Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais, Foz do Iguaçu, p. 1754-1756, 1997.

GAIO, A.; MARASCHIN, L. U. de S; CARDOSO, C.R. **Os aterros sanitários de pequeno porte e o licenciamento ambiental simplificado: A (in) constitucionalidade da resolução CONAMA 404/2008 e da Resolução CEMA/PR 094/2014.** XXII Congresso Nacional Do Ministério Público. Belo Horizonte, 2017.

GOEZ, L. L. **Avaliação de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Senador Canedo em Goiás.** 2015. 169 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, GOIÂNIA, 2015.

GOMES, L. P.; MARTINS, F. B. **Projeto, implantação e operação de aterros sustentáveis de resíduos sólidos urbanos para municípios de pequeno porte.** In: CASTILHO JUNIOR, A. B. (Org.) Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 51- 102.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Perfil dos Municípios Brasileiros 2010.* Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000.** Rio de Janeiro, 2002.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Balanco Hídrico por período.** Disponível em <http://www.inmet.gov.br/webcdp/mma/mma.php>. Acessado em dezembro de 2019.

IWAI, C.K. **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas e do solo em áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte: aterro sanitário em valas.** 2012. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública. 2012.

JARAMILLO, J. **Guia para El diseño y operacion de rellenos sanitários manuales. Residuos Solidos Municipales de Salud Ambiental.** Série Técnica n. 28. OPAS, 1991.

LANGUE, L.C.; SIMÕES, G.F.; FERREIRA, C.F.A. **Aterro sustentável: um estudo para a cidade de Catas Altas, MG.** In: CASTILHOS JUNIOR, A. B. Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades. Rio de Janeiro, ABES, Projeto PROSAB, p. 143-197. 2003.

LEALDINI, M. L. C.; ZAINE, J. E. **Crítérios geoambientais aplicados à seleção de áreas para a disposição de resíduos sólidos urbanos no município de Estiva Gerbi (SP).** HOLOS Environment (Online), v. 8, p. 1/1, 2008.

MAIA, C. V. de A; BATISTA, L. J. R; LIMA, J. G. A. **Análise da prestação municipal de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em municípios do nordeste brasileiro.** Análise, v. 38, n. 08, 2017.

MAY, M. S. S. **Contribuição para construção de instrumento para análise e avaliação de aterros simplificados de resíduos sólidos urbanos para Municípios de Pequeno Porte.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica. 2008.

MINISTÉRIO DA TRANSPARÊNCIA E CONTROLADORIA-GERAL DA UNIÃO – CGU. **Relatório de Avaliação por Área de Gestão Nº 9 Resíduos Sólidos.** Brasília – DF, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA/SRHU. **Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos.** Brasília – DF, 2008.

MONTEIRO, J. H. R. P.; ZVEIBIL, V. Z. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.** IBAM, Rio de Janeiro, 2001.

NASCIMENTO, M. L. da S. *et al.* **Proposição de uma matriz ponderada para suporte na tomada de decisão aplicada a uma fábrica do setor automobilístico na cidade de Manaus-AM.** In: Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, 2017, São Cristóvão. Anais eletrônicos... São Cristóvão: DEPRO/UFS, 2017, p. 616-629.

NASCIMENTO, V. F. *et al.* **Evolução e desafios no gerenciamento de resíduos urbanos no Brasil.** Rev. Ambient. Água, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 889-902, dezembro de 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2015000400889&lng=en&nrm=iso>. Acesso em dezembro de 2019.

OAKLEY, S.M.; JIMENEZ, R. **Sustainable sanitary landfills for neglected small cities in developing countries: The semi-mechanized trench method from Villanueva, Honduras.** Waste Manag. 2012, 32, 2535–2551.

OLIVEIRA, F. J. S; JUCA, J. F. T. **Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos.** Eng. Sanit. Ambiente. Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p. 211-217, Sept. 2004 .

OPAS. **Relatório de Avaliação Regional dos Serviços de Manejo de Resíduos Sólidos Municipais na América Latina e no Caribe.** Washington, D.C, 2005.

PAIVA, I. E. P de. **Aterro sanitário em município de pequeno porte: estudo do potencial de aplicação de tecnologias simplificadas na região do semi-árido baiano.** Bahia. 2004, 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) -Universidade Federal da Bahia, Salvador.

PAIVA, I. E. P de; ZANTA, V. M. **Aterro sanitário em municípios de pequeno porte: estudo do potencial de aplicação de tecnologias simplificadas na região do semi-árido baiano.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande/MS, 2005.

PERALTA, L R; ANTONELLO, I T. **O desafio enfrentado pelos municípios de pequeno porte para atender à política nacional de resíduos sólidos: o uso do consórcio intermunicipal.** Anais do XI-ENANPEGE. Presidente Prudente – SP, 2015.

PEREIRA, T. S. T; HELLER, L. **Planos municipais de saneamento básico: avaliação de 18 casos brasileiros.** Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 20, n. 3, p. 395-404, Sept. 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522015000300395&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 22 Set. 2020.

PISA. Programa IFBA Saneando a Bahia. **Módulo C: Diagnóstico Técnico-Participativo do PMSB de Cocos.** Cocos, 2019.

PISA. Programa IFBA Saneando a Bahia. **Módulo C: Diagnóstico Técnico-Participativo do PMSB de Igaporã.** Igaporã, 2019.

PISA. Programa IFBA Saneando a Bahia. **Módulo C: Diagnóstico Técnico-Participativo do PMSB de Maraú.** Maraú, 2019.

PROSAB. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte.** Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

PUGLIESI, E.; *et al.* **Gestão de resíduos sólidos e a pandemia covid-19: (des)preparo para enfrentamento da crise.** In COVID-19: crises entremeadas no contexto de pandemia (antecedentes, cenários e recomendações). São Carlos: UFSCar/CPOI, 2020.

RÖBEN, E. **Diseño, Construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales.** DED, Municipio de Loja - Equador. 2002.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. **Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.6, p.133-137, 1998.

SANTIAGO, L. S; DIAS, S. M. F. **Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos**. Eng. Sanit. Ambiente, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, pág. 203-212, junho de 2012.

SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Mapas temáticos Físico Ambientais: Tipologia Climática**. Salvador: SEI, 2014. Disponível em <https://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/tipologia_climatica_segundo_thornthwaite_e_mather_2014.pdf>. Acessado em: Dezembro de 2019.

SEMA. Secretaria Estadual de Meio Ambiente da Bahia. Plataforma de Mapas dos Municípios: **Gestão Ambiental Compartilhada**. Disponível em <<http://www.meioambiente.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=163>>. Acessado em: Dezembro de 2019.

SILVEIRA, L. R da. **Desafios do manejo de resíduos sólidos: a Gestão de seis aterros sanitários Simplificados no estado da Bahia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) -Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico dos serviços de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos – 2018**. Brasília: Ministério das Cidades, 2019.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico dos serviços de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos – 2017**. Brasília: Ministério das Cidades, 2018.

SOPHOCLEOUS, M. A. **The impact of small Kansas landfills on underlying aquifers—Modeling and risk assessment (abs.)**: Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology, Proceedings, Cancun, Mexico, Electronic Proceedings on CD, 2001.

SOPHOCLEOUS, M. A., Stadnyk, N. G., and M. Stotts. **Modeling Impact of Small Kansas Landfills on Underlying Aquifers**. Journal of Environmental Engineering, v. 122, no. 12, 1996.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1)

VACCARI, M., Vinti, G., Tudor, T. **An Analysis of the Risk Posed by Leachate from Dumpsites in Developing Countries**. Environments 5 (9), 99, 2018.

VITAL, M. H. F, Ingouville, M. & Pinto, M. A. C. **Estimativa de investimentos em aterros sanitários para atendimento de metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos entre 2015 e 2019**. BNDES – Biblioteca Digital, 2014.

ZANON, T. **Fatores e critérios a serem observados na seleção de áreas para aterros sanitários**. Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública. Revista Limpeza Pública, pg. 18 – 29. ABLP, 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Versão final da Matriz aplicada ao Município de Cocos/Ba

MATRIZ PARA AVALIAÇÃO DE MODELOS SIMPLIFICADOS DE ATERROS SANITÁRIOS APLICAVEL A MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE

Preencher dados apenas nas células amarelas

CATEGORIA AMBIENTAL: CARACTERÍSTICAS	SELECIONE	NOTA*	PESO**	Nota Final da categoria
Tipo de Solo predominante	Arenoso	1	13	6,8
Classe dos solos do Municípios, segundo classificação dos solos	Vertissolo, Neossolo, Argissolo ou Outros	1	8	
Balanco hídrico do Município	Negativo	10	37	
Profundidade do lençol freático	Profundidade maior ou igual a 9 m	10	22	
Classificação tipologia Climática	Sub-úmido ou Sub-úmido seco	5	13	
Existência de solos cársticos no município	Positivo	1	7	

CATEGORIA SANITÁRIA/OPERACIONAL: CARACTERÍSTICAS	SELECIONE	NOTA*	PESO**	Nota Final da categoria
Quantidade média de resíduos produzidos por dia	De 6 a 15 T/dia	5	27	2,6
Fração orgânica dos resíduos	MO>30%	1	16	
Existe de coleta seletiva implantada	Não	1	45	
Disponibilidade de trator-esteira (equipamento próprio da prefeitura)	Não	1	5	
Nível de Licenciamento Ambiental do Município	Nível III	10	5	

CATEGORIA SOCIAL: CARACTERÍSTICAS	SELECIONE	NOTA*	PESO**	Nota Final da categoria
Grau de envolvimento e participação da sociedade civil em conselhos ou outras instâncias de participação social	Nível de participação social alto	10	20	2,8
Existência de Catadores de materiais recicláveis organizados (Cooperativas/Associações)	Inexistência de Cooperativas/Associações	1	37	
Existência de capacitação continuada de agentes da limpeza pública e coleta de de RSU	Inexistência ou baixa frequência de capacitação	1	22	
Ações de educação ambiental implementadas no município	Inexistente	1	20	

* Fonte: May (2008)

** Fonte: Adaptado de Buarque (2003)

Média Final	4,92
--------------------	-------------

O modelo de ASPP mais indicado para o Município é:

Aterro Manual (CEPIS/OPS)

APÊNDICE B - Versão final da Matriz aplicada ao Município de **Igaporã/BA****MATRIZ PARA AVALIAÇÃO DE MODELOS SIMPLIFICADOS DE ATERROS SANITÁRIOS APLICAVEL A MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE**

Preencher dados apenas nas células amarelas

CATEGORIA AMBIENTAL: CARACTERÍSTICAS	SELECIONE	NOTA*	PESO**	Nota Final da categoria
Tipo de Solo predominante	Argiloso	10	13	9,3
Classe dos solos do Municípios, segundo classificação dos solos	Vertissolo, Neossolo, Argissolo ou Outros	1	8	
Balanço hídrico do Município	Negativo	10	37	
Profundidade do lençol freático	Profundidade maior ou igual a 9 m	10	22	
Classificação tipologia Climática	Árido ou Semi-árido	10	13	
Existência de solos cársticos no município	Negativo	10	7	

CATEGORIA SANITÁRIA/OPERACIONAL: CARACTERÍSTICAS	SELECIONE	NOTA	PESO	Nota Final da categoria
Quantidade média de resíduos produzidos por dia	Até 5 T/dia	10	27	8,0
Fração orgânica dos resíduos	MO>30%	1	16	
Existe de coleta seletiva implantada	Sim	10	45	
Disponibilidade de trator-esteira (equipamento próprio da prefeitura)	Não	1	5	
Nível de Licenciamento Ambiental do Município	Nível III	10	5	

CATEGORIA SOCIAL: CARACTERÍSTICAS	SELECIONE	NOTA	PESO	Nota Final da categoria
Grau de envolvimento e participação da sociedade civil em conselhos ou outras instâncias de participação social	Nível de participação social alto	10	20	6,2
Existência de Catadores de materiais recicláveis organizados (Cooperativas/Associações)	Existência de Cooperativas/Associações	10	37	
Existência de capacitação continuada de agentes da limpeza pública e coleta de RSU	Inexistência ou baixa frequência de capacitação	1	22	
Ações de educação ambiental implementadas no município	Inexistente	1	20	

* Fonte: May (2008)

** Fonte: Adaptado de Buarque (2003)

Média Final	8,35
--------------------	-------------

O modelo de ASPP mais indicado para o Município é:

Aterro em valas (CETESB)

APÊNDICE C - Versão final da Matriz aplicada ao Município de **Marau/BA****MATRIZ PARA AVALIAÇÃO DE MODELOS SIMPLIFICADOS DE ATERROS SANITÁRIOS APLICAVEL A MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE**

Preencher dados apenas nas células amarelas

CATEGORIA AMBIENTAL: CARACTERÍSTICAS	SELECIONE	NOTA*	PESO**	Nota Final da categoria
Tipo de Solo predominante	Siltoso	5	13	2,2
Classe dos solos do Municípios, segundo classificação dos solos	Vertissolo, Neossolo, Argissolo ou Outros	1	8	
Balanço hídrico do Município	Positivo	1	37	
Profundidade do lençol freático	Profundidade menor que 6 m	1	22	
Classificação tipologia Climática	Super-úmido ou Úmido	1	13	
Existência de solos cársticos no município	Negativo	10	7	

CATEGORIA SANITÁRIA/OPERACIONAL: CARACTERÍSTICAS	SELECIONE	NOTA	PESO	Nota Final da categoria
Quantidade média de resíduos produzidos por dia	De 6 a 15 T/dia	5	27	2,6
Fração orgânica dos resíduos	MO>30%	1	16	
Existe de coleta seletiva implantada	Não	1	45	
Disponibilidade de trator-esteira (equipamento próprio da prefeitura)	Sim	10	5	
Nível de Licenciamento Ambiental do Município	Nível I e II	1	5	

CATEGORIA SOCIAL: CARACTERÍSTICAS	SELECIONE	NOTA	PESO	Nota Final da categoria
Grau de envolvimento e participação da sociedade civil em conselhos ou outras instâncias de participação social	Nível de participação social alto	10	20	2,8
Existência de Catadores de materiais recicláveis organizados (Cooperativas/Associações)	Inexistência de Cooperativas/Associações	1	37	
Existência de capacitação continuada de agentes da limpeza pública e coleta de RSU	Inexistência ou baixa frequência de capacitação	1	22	
Ações de educação ambiental implementadas no município	Inexistente	1	20	

* Fonte: May (2008)

** Fonte: Adaptado de Buarque (2003)

Média Final	2,42
--------------------	-------------

O modelo de ASPP mais indicado para o Município é:

Aterro Sustentável (PROSAB)